

Linee Guida
Valutazione di Rischio
art. 7 D.M. 3 Agosto 2005

Gruppo di Lavoro
“Tavolo Tecnico”
Regione Puglia - ARPA Puglia - Province

INDICE

1.	Introduzione	3
2.	Documentazione necessaria.....	3
3.	Modalità di effettuazione e predisposizione della valutazione di rischio.....	4
4.	Scenari di applicazione della AdR.....	6
5.	Scelta dei parametri	6
5.1	Criterio per la stima dei parametri sito-specifici.....	6
5.2	AdR con approccio Probabilistico - Metodo Monte Carlo.....	7
6.	Caratterizzazione della sorgente discarica	8
6.1	Storia della discarica e generalità.....	9
6.2	Caratteristiche geometriche della discarica	9
6.3	Tipologia e caratteristiche dei rifiuti	9
6.4	Caratteristiche del percolato.....	11
6.5	Caratteristiche del biogas.....	13
6.6	Caratteristiche delle barriere di rivestimento.....	14
6.7	Caratteristiche del sistema di gestione del percolato.....	15
6.8	Caratteristiche del sistema di gestione del biogas.....	15
6.9	Infiltrazione efficace	16
7.	Caratterizzazione dei percorsi e delle possibili vie di esposizione.....	16
7.1	Caratteristiche della zona non satura di terreno	16
7.2	Caratteristiche dell'acquifero	18
7.3	Caratteristiche dell'atmosfera.....	19
8.	Caratterizzazione dei bersagli e dei recettori.....	20
8.1	Caratteristiche delle acque superficiali	20
8.2	Caratteristiche dei pozzi di approvvigionamento idrico	21
8.3	Caratteristiche degli ambienti indoor	22
9.	Riepilogo parametri	23
10.	Calcolo della esposizione.....	29
11.	Calcolo del Rischio	30
12.	Software consigliati	33
12.1	Biogas.....	34
12.2	Dati meteorologici nel software GasSim.....	35
12.3	Percolato.....	36

1. Introduzione

I criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica sono indicati nel *DM 3 Agosto 2005* che, in particolare, indica, nelle Tabelle 2, 5 e 6 i *limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discariche*, rispettivamente, *per rifiuti inerti, non pericolosi, pericolosi*.

Al fine di poter derogare ad alcuni dei suddetti parametri, l'art. 7 dello stesso decreto istituisce le *sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi* ed in particolare al comma 1 c prevede che, nel rispetto dei principi stabiliti dal *D.Lgs. 36/03*, le autorità territorialmente competenti possono autorizzare, anche per settori confinati, le seguenti sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi:

- a) *discariche per rifiuti inorganici a basso contenuto organico o biodegradabile;*
- b) *discariche per rifiuti in gran parte organici da suddividersi in discariche considerate bioreattori con recupero di biogas e discariche per rifiuti organici protrattati;*
- c) *discariche per rifiuti misti non pericolosi con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici, con recupero di biogas.*

I criteri di ammissibilità per le sottocategorie di discariche di cui al comma 1, vengono individuati dalle autorità territorialmente competenti in sede di rilascio dell'autorizzazione. I criteri sono stabiliti, caso per caso, tenendo conto delle caratteristiche dei rifiuti, della valutazione di rischio con riguardo alle emissioni della discarica, dell'idoneità del sito e prevedendo deroghe per specifici parametri. A titolo esemplificativo e non esaustivo i parametri derogabili sono DOC, TOC e TDS.

Il presente documento intende fornire delle indicazioni per la applicazione dell'Analisi di Rischio sito specifica, conforme ai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche (Rev.0 Giugno 2005 – APAT), al fine di ottenere una deroga sui limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discarica.

Scopo della valutazione è fornire, in termini previsionali, la misura del rischio e dell'impatto ambientale attesi, a seguito delle modifiche qualitative del flusso dei rifiuti in ingresso, sulle diverse componenti ambientali, rispetto alla situazione originaria.

2. Documentazione necessaria

La documentazione tecnica a corredo della richiesta di autorizzazione o di riclassificazione di una discarica in sottocategoria deve contenere i seguenti elementi tecnici:

- indagine della struttura geologica, con particolare riferimento alle caratteristiche della formazione geologica naturale, delle caratteristiche idrogeologiche e geomeccaniche del sito;
- modalità di realizzazione della barriera artificiale di sconfinamento necessaria a garantire requisiti di permeabilità e spessore richiesti dal D.Lgs 36/2003;
- modalità tecniche di realizzazione del fondo e delle pareti della discarica;
- stima delle concentrazioni di inquinanti nelle sorgenti “percolato” e “biogas” con l’utilizzo di adeguati modelli di stima;
- descrizione del sistema di drenaggio, estrazione, controllo e gestione del percolato;
- descrizione dei sistemi di captazione, estrazione, controllo e gestione del biogas, ove prodotto;
- descrizione dei presidi ambientali;
- modalità di gestione operativa;
- modalità di gestione post-operativa;
- modalità di ripristino dell’area.

3. *Modalità di effettuazione e predisposizione della valutazione di rischio*

La valutazione di rischio deve essere predisposta, per quanto possibile, in conformità ai “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*” di APAT (giugno 2005).

In particolare dovrà essere sviluppato un Modello Concettuale del Sito (MCS) attraverso l’identificazione e la caratterizzazione dei seguenti elementi:

- sorgente di contaminazione “discarica” con riferimento alle emissioni della stessa nell’ambiente, ossia percolato e biogas;
- percorsi e vie di propagazione degli inquinanti;
- bersagli/recettori.

La caratterizzazione della sorgente discarica, ossia del percolato e del biogas prodotti dall’ammasso rifiuti, deve essere effettuata sulla base dei dati storici ricavati dalle misure eseguite nell’ambito del monitoraggio dell’impianto (cfr. par. 5.1).

Dovranno essere puntualmente descritte le modalità tecniche di realizzazione del fondo e delle pareti dei singoli lotti della discarica, con riferimento agli strati di impermeabilizzazione, nonché ai sistemi di drenaggio e captazione di percolato e biogas.

Relativamente alla componente percolato, gli inquinanti indicatori da prendere in esame nell’analisi coincidono in linea generale proprio con i parametri di cui è stata richiesta la deroga ai limiti di accettabilità del *D.M. 3 agosto 2005*.

Per quanto riguarda il parametro TDS (Solidi Totali Disciolti), potranno essere utilmente presi a riferimento, in sostituzione dello stesso, i parametri cloruri e solfati;

la misura di cloruri e solfati si ritiene opportuna dal momento che il *D.M. 3 agosto 2005* prevede la possibilità di servirsi dei valori limite del parametro TDS proprio in alternativa ai valori limite di cloruri e solfati.

Relativamente al parametro DOC, invece, potranno essere presi in considerazione i composti più significativi ad esso correlati e presenti nel percolato in concentrazioni rilevanti ai fini della valutazione.

Qualora cioè si richieda l'innalzamento del limite per il DOC, si dovrebbe effettuare una valutazione del rischio per tutte le sostanze organiche inquinanti (presenti nella Banca Dati ISS-ISPEL) che contribuiscono alla formazione del parametro DOC, e per ognuna di esse, colcolato l'indice di rischio R o l'Hazard Quozient HQ (a seconda che la sostanza sia cancerogena o non cancerogena), verificare che non siano superati i limiti imposti dal *D. Lgs. 152/2006*.

Si consiglia di determinare gli analiti negli eluati secondo quanto previsto della norma UNI 10802:2004.

Per la determinazione del DOC, invece, si consiglia di applicare la norma UNI EN 1484:1999.

Per quanto riguarda la componente biogas, invece, si può ragionevolmente supporre che il parametro DOC, quale indice del contenuto di sostanza organica nel rifiuto, sia direttamente correlato alla quantità del biogas prodotto e, quindi, indirettamente alle concentrazioni di metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂) che lo compongono.

Una valutazione della produzione di questi gas può dare anche delle utili indicazioni sul contributo delle emissioni della discarica all'effetto serra, in ottemperanza a quanto indicato nel citato manuale di APAT (*"Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche"* - giugno 2005).

Per quanto riguarda il percolato, il calcolo del rischio ad esso associato potrà essere ristretto, in prima battuta, alla valutazione dei possibili impatti sulle matrici ambientali (acque superficiali e sotterranee) in termini di contaminazione delle stesse, ossia di superamento delle concentrazioni limite fissate dalla normativa per i singoli inquinanti. Si assume, in altri termini, di stimare indirettamente l'esposizione dell'uomo alla contaminazione mediante la valutazione della vulnerabilità dei recettori ambientali direttamente interessati dalle emissioni della discarica.

Qualora risultino, sulla base delle simulazioni effettuate nell'analisi, rischi non accettabili in una delle componenti ambientali, si dovrà calcolare anche il rischio sulla salute umana relativamente agli effetti tossici (cancerogeni e non cancerogeni), ove accertati, associati all'esposizione alle sostanze esaminate.

I valori limite di concentrazione da prendere in esame per il calcolo del rischio sulle componenti ambientali sono quelli più restrittivi riportati nella normativa vigente in materia di bonifiche di siti inquinati e di qualità delle acque destinate al consumo umano; per i parametri per i quali non esistono limiti di legge di riferimento nel nostro Paese, si potrà far riferimento, per analogia, ai limiti stabiliti in altri Paesi dell'Unione

Europea (ad es. per il molibdeno, la Germania prevede un limite di 50 µg/l nelle acque sotterranee).

Per quanto riguarda, invece, il biogas e le altre emissioni gassose, in assenza di valori limite di concentrazione per la qualità dell'aria (ad eccezione del *D.M. 2 Aprile 2002, n. 60* quale recepimento della *Direttiva 1999/30/CE* concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle ed il piombo e della *Direttiva 2000/69/CE* relativa al valore limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio), si dovrà direttamente calcolare il rischio sulla salute umana relativamente agli effetti tossici (cancerogeni e non cancerogeni), ove accertati, associati all'esposizione alle sostanze esaminate.

Si dovrà utilizzare tale approccio per tutti i composti, compresi quelli per i quali esiste in normativa un valore limite di qualità dell'aria ambiente, anche in caso di non superamento di tale valore limite.

4. Scenari di applicazione della AdR

Le fasi di:

1. caratterizzazione della sorgente,
2. calcolo degli effetti di migrazione dei contaminanti attraverso i percorsi di esposizione nelle diverse matrici ambientali,
3. calcolo del rischio,

devono essere condotte facendo riferimento sia allo scenario dei limiti fissati dal *D.M. 3 agosto 2005*, sia allo scenario dei limiti richiesti in deroga, al fine di valutare l'incremento di rischio per la salute umana e per l'ambiente dovuto all'innalzamento dei suddetti limiti.

5. Scelta dei parametri

5.1 Criterio per la stima dei parametri sito-specifici

Durante la fase di caratterizzazione della sorgente e di creazione del Modello Concettuale del Sito (MCS), l'individuazione dei parametri sito-specifici, necessari per l'elaborazione della valutazione del rischio, deve essere effettuata non sulla base di una unica analisi, misurazione o indagine, bensì facendo riferimento alle serie storiche delle misurazioni effettuate ai fini del monitoraggio ambientale (previsto nel *Piano di Sorveglianza e Controllo* di cui all'art. 8, comma 1 del *D.Lgs. 36/03* e condotto durante tutta la vita della discarica con modalità e frequenze indicate nella tabella 2 dell'allegato 2 dello stesso decreto).

Questo, in particolare, è richiesto per i parametri da individuare su base sito-specifica relativi a:

- caratteristiche geometriche della discarica;

- tipologia e caratteristiche dei rifiuti;
- caratteristiche del percolato e dei potenziali contaminanti in esso presenti;
- caratteristiche del biogas e delle emissioni gassose;
- infiltrazione efficace;
- caratteristiche dell'acquifero;
- caratteristiche del percorso in atmosfera (dati meteorologici).

L'elaborazione statistica dei dati ed il calcolo dei parametri di input devono essere effettuate, conformemente a quanto riportato nei *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche"* (Rev. 0 – Giugno 2005, APAT), secondo il seguente criterio:

- se il numero di dati disponibili è inferiore a 10 ($N < 10$), non si impiega la metodologia probabilistica, ma va selezionato un unico valore, naturalmente più conservativo, coincidente con il valore massimo o minimo a seconda del parametro in esame;
- se il numero di dati disponibili è maggiore o uguale a 10 ($N \geq 10$), allora si sceglie tra le due alternative:
 - 1) adottare l'approccio Monte Carlo e quindi fornire i risultati in termini di probabilità di accadimento (metodologia consigliata, vedi par. successivo);
 - 2) scegliere un unico valore rappresentativo di tutto il set di dati sulla base delle seguenti considerazioni:
 - se il valore minimo è maggiormente conservativo, si seleziona come valore rappresentativo il Lower Confidential Limit al 95% (LCL95%);
 - se il valore massimo è maggiormente conservativo, si seleziona come valore rappresentativo l'Upper Confidential Limit al 95% (UCL95%);

Per il calcolo di tali due valori rappresentativi (LCL95% e UCL95%), il documento *"Criteri Metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"* (Rev. 2 – Marzo 2008, APAT) suggerisce l'utilizzo del software gratuito ProUCL ver. 3.0 e 4.0.

La documentazione inerente le prove sito-specifiche effettuate dovrà essere allegata alla relazione contenente l'analisi di rischio.

5.2 AdR con approccio Probabilistico - Metodo Monte Carlo

Come riportato nel documento *"Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche"* di APAT (giugno 2005), nel caso di discariche, la scelta di determinare un unico valore per ogni parametro in gioco (accettabile, talvolta, per i siti contaminati) risulta estremamente ed eccessivamente conservativa.

Ciò in riferimento all'enorme quantità e variabilità dei parametri che contraddistinguono la sorgente, variabilità che è evidente sia dal punto di vista

spaziale, in riferimento all'eterogeneità che caratterizza un ammasso di rifiuti, sia dal punto di vista temporale, in riferimento ai fenomeni di produzione delle emissioni.

A causa di tale incertezza, anziché scegliere un unico valore per ogni parametro in gioco, si consiglia l'adozione di un approccio probabilistico per la trattazione dei dati e l'applicazione del metodo Monte Carlo per la risoluzione dei calcoli.

Questa procedura consente, infatti, di tener conto delle incertezze derivanti dal comportamento e dalla natura della sorgente discarica, nonché dal modello con cui si schematizza la realtà, sulla base di una metodologia di elaborazione statistica codificata ed organica.

Il metodo Monte Carlo, a partire dai parametri di esposizione definiti mediante opportune funzioni di distribuzione probabilistiche (PDF - Probability Density Function), consente di ottenere una funzione di distribuzione probabilistica del rischio. Essendo un metodo statistico iterativo basato su estrazioni casuali, è possibile che il numero di iterazioni svolte non sia sufficiente a garantire che la curva generata rispetti l'andamento ideale che si otterrebbe con infinite iterazioni. Per ovviare a questo problema, in genere è sufficiente svolgere tra le 1.000 e le 10.000 iterazioni. Per verificare la stabilità basta aumentare il numero di iterazioni svolte.

L'applicazione di tale metodo va effettuata:

- per tutti quei parametri di cui si disponga di una serie numerosa ($N \geq 10$) di misure dirette;
- in linea generale, ogni qualvolta i valori ottenuti con una AdR risultano prossimi ai valori di accettabilità (i dati sono insufficienti per prendere una decisione).

Entrambi i software specifici per l'AdR applicata alle discariche (*GasSim* e *LandSim*) sono in grado di utilizzare questa metodologia di calcolo.

Una esaustiva illustrazione del Metodo Monte Carlo è riportata nell'Appendice M del documento "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*" di APAT (revisione 2, marzo 2008).

6. Caratterizzazione della sorgente discarica

Nell'ambito dell'analisi di rischio, la discarica viene considerata una sorgente primaria di emissioni, liquide e gassose, quali potenziali contaminanti e quindi sorgenti secondarie, che possono avere una probabilità più o meno alta di provocare un rischio nell'uomo e nelle matrici ambientali coinvolte. La sorgente viene, pertanto, analizzata in relazione alle caratteristiche quali-quantitative delle tipologie di rifiuti abbancati e delle principali emissioni, percolato e biogas, nonché alle proprietà strutturali e funzionali dei sistemi per il contenimento ed il controllo di tali emissioni.

Nel presente paragrafo si riportano tutti i parametri necessari ad una corretta ed esaustiva caratterizzazione della sorgente discarica.

Di ciascun parametro si riportano informazioni, unità di misura e necessità di una misura *sito-specifica*, di utilizzo di valori di default o di reperimento di dati di letteratura.

6.1 Storia della discarica e generalità

I dati storici necessari, ovviamente sito-specifici, sono: durata della gestione operativa, periodo di chiusura, durata della gestione post-operativa, suddivisione in lotti e sub-lotti, informazioni storiche sui suoli e altre attività precedenti alla discarica.

6.2 Caratteristiche geometriche della discarica

Superficie del fondo: valore sito-specifico, espresso in m², dell'impronta areale del fondo della discarica.

Superficie sommitale: valore sito-specifico, espresso in m², dell'area esposta alla infiltrazione meteorica.

Profondità dell'invaso rispetto al piano campagna: valore sito-specifico, espresso in m, dello spessore compreso tra il piano di posa dell'impermeabilizzazione del fondo ed il piano campagna.

Volume totale (o capacità autorizzativa): valore sito-specifico, espresso in m³, del volume netto di rifiuti abbancabili.

6.3 Tipologia e caratteristiche dei rifiuti

Tipologie dei rifiuti: informazioni sito-specifiche sulla suddivisione del flusso dei rifiuti per macrocategorie (domestici, commerciali, ospedalieri, industriali, inerti da costruzione o demolizione, rifiuti da riciclaggio, rifiuti da impianti di trattamento o recupero).

Flusso di rifiuti: valori sito-specifici (ovvero, per le previsioni future, desunti dai dati di progetto o dagli strumenti di pianificazione del settore rifiuti) dei quantitativi annuali di rifiuti in ingresso alla discarica durante la sua coltivazione.

Composizione merceologica: informazione sito-specifica della composizione di dettaglio dei flussi di rifiuti, solitamente espressa in percentuale sul peso totale.

Spessore dei rifiuti (dr): valore sito-specifico, attuale e finale, espresso in m, dell'altezza dei rifiuti (distanza tra il piano di posa e la quota di colmo dei rifiuti), variabile temporalmente e spazialmente.

Densità di abbancamento (γ): valore sito-specifico, espresso in t/m^3 , del peso dell'unità di volume dei rifiuti abbancati, determinata mediante la seguente formula:

$$\gamma = \Delta M / \Delta V$$

dove ΔM è la variazione di massa di rifiuti entrati nella discarica tra il tempo t_1 ed il tempo t_2 , e ΔV è l'associata variazione di volume misurata attraverso rilievi topografici della superficie della discarica

Porosità efficace (θ): parametro adimensionale che indica la percentuale dei vuoti sul totale presenti nell'ammasso rifiuti in cui può essere contenuta acqua libera di circolare; essendo tale parametro notevolmente influenzato dall'elevato grado di eterogeneità caratteristico dei rifiuti, è opportuno reperire dati di letteratura, forniti in funzione della tipologia dei rifiuti o della classificazione della discarica. Si consiglia di indicare un range di valori possibili, meglio descritti da una distribuzione di probabilità (Metodo Monte Carlo).

Capacità di campo (θ_r camp): percentuale della quantità di acqua che permane quando tutta l'acqua gravitazionale è defluita. Si consiglia di indicare un range di valori possibili, meglio descritti da una distribuzione di probabilità (Metodo Monte Carlo).

Contenuto di umidità (M_r): valore sito-specifico (ovvero calcolato mediante opportuni modelli che richiedono altre informazioni sui rifiuti) del volume di acqua presente nel volume di rifiuti abbancati.

Si dovranno prelevare per ogni postazione di sondaggio, due campioni di rifiuto con sistema a carotaggio continuo a secco, preservando il campione ed effettuando le determinazioni in laboratorio.

Si consiglia di indicare un range di valori possibili, meglio descritti da una distribuzione di probabilità (Metodo Monte Carlo).

Conducibilità idraulica: valore sito-specifico della velocità (m/s) di infiltrazione dell'acqua nell'ammasso dei rifiuti.

A titolo esemplificativo, considerata l'eterogeneità del deposito da investigare, le prove per la sua determinazione devono essere eseguite nel foro di sondaggio eseguendo le determinazioni con spaziatura verticale di 5m. In pratica si prescrive di interrompere la perforazione ogni 5m per l'esecuzione della prova, avendo cura di isolare il tratto del foro non interessato dall'analisi ed assicurando il minimo disturbo al riempimento circostante. Le prove possono essere condotte a carico idraulico costante, ovvero a carico idraulico variabile, secondo le modalità raccomandate dall'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.).

Data la tipologia del deposito da investigare, si dovrà assolutamente evitare il danneggiamento dello strato impermeabile alla base del corpo di discarica. Pertanto, prima di effettuare le prove, dovrà essere nota con precisione la posizione del fondo del bacino rispetto alla locale superficie topografica.

Saranno ammesse anche altre metodologie per la determinazione di tale parametro, purché tecnicamente valide.

E' opportuno non indicare un unico valore, ma un range di variazione a seconda delle tipologie di rifiuti considerate.

Costanti di biodegradazione della materia organica: indicano la quantità di materia organica che si degrada in funzione del tempo e della capacità di biodegradazione. Utilizzare i valori di letteratura riportati nella Tabella 6 pag. 44 del documento "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche" predisposto da APAT (giugno 2005).

6.4 Caratteristiche del percolato

Per quanto attiene il percolato sarà necessario effettuare una caratterizzazione chimica, finalizzata alla definizione delle concentrazioni di tutti gli inquinanti presenti, al fine di ottenere i dati di input per la modellizzazione del trasporto, attraverso lo strato impermeabile di fondo. Nella seguente tabella sono indicati i composti da determinare sul percolato. Per alcune classi di composti sono specificati gli analiti minimi da determinare per ciascuna classe.

Parametri	Note
pH	
temperatura	
Conducibilità elettrica	
Ossidabilità Kubel	
BOD ₅	
TOC	
Ca, Na, K	
Cloruri	
Solfati	
Fluoruri	
Fe, Mn, As, Cu, Cd, Cr totale, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Mg, Zn, V	
Cianuri	
Azoto ammoniacale, nitroso e nitrico	
Composti organoalogenati	Sostanze definite nella Tabella 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 dal 54 al 57)
Fenoli	Sostanze definite nella Tabella 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 dal 69 al 72)
Pesticidi fosforati e totali	
Solventi organici aromatici	Sostanze definite nella Tabella 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 dal 24 al 28)
Solventi organici azotati	
Solventi clorurati	Sostanze definite nella Tabella 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 dal 39 al 53)
IPA	Sostanze definite nella Tabella 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 dal 29 al 38)

I parametri necessari ad una corretta ed esaustiva caratterizzazione del percolato sono i seguenti:

Parametri fisici del percolato: valori sito-specifici di pH, conducibilità elettrica, potenziale redox.

Concentrazione iniziale delle specie chimiche nel percolato (C_0^L): dati sito-specifici del percolato campionato ed analizzato; concentrazioni dei contaminanti espresse in mg/l.

Coefficienti di ripartizione (K_d , K_{ow} , K_{oc}): esprimono il rapporto tra le quantità di sostanze presenti nelle varie fasi. Qualora non sia possibile determinare il valore del coefficiente di ripartizione solido/liquido K_d sulla base del “*Manuale per la determinazione sperimentale del coefficiente di ripartizione solido-liquido ai fini dell’utilizzo nei software per l’applicazione dell’analisi di rischio*”, definito congiuntamente da APAT ed ISS, si consiglia di trascurare cautelativamente l’effetto del ritardo nella migrazione e porre il *Fattore di ritardo* $R=0$.

Fattore di ritardo: indica il ritardo del fronte di soluto trasportato da una fase liquida, a causa della ripartizione del soluto tra fase liquida e fase solida. Per il calcolo di tale fattore far riferimento alle prescrizione dei “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Coefficiente di decadimento del primo ordine (λ): parametro che indica la quantità di materia organica che si degrada nei percorsi attraversati. E’ espresso in giorno^{-1} . E’ possibile porre $\lambda \neq 0$ solo se si hanno a disposizione valori aggiornati ed accreditati, altrimenti si consiglia di porre $\lambda = 0$.

Costante di lisciviazione (κ , m , c): indica la quantità (kg/l) di specie non volatile liscivata dal rifiuto solido nel percolato liquido. Per il calcolo far riferimento ai “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”, pag. 50.

Costante di dimezzamento: indica la quantità (anni^{-1}) di specie volatile liscivata dal rifiuto solido nel percolato. Utilizzare il valore più conservativo pari a $0,1 \text{ anni}^{-1}$.

Reference Dose: utilizzare i valori riportati nella Banca dati ISS/ISPESL “Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti” aggiornati al maggio 2009 e disponibili sul sito www.apat.gov.it.

Slope Factor: utilizzare i valori riportati nella Banca dati ISS/ISPESL “Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti” aggiornati al maggio 2009 e disponibili sul sito www.apat.gov.it.

6.5 Caratteristiche del biogas

Per il biogas sarà necessario determinare, oltre al metano, i composti in traccia necessari alla modellazione del trasporto verso i recettori.

L'elenco dei parametri da individuare è riportato nel par. 11.

Non essendo ancora definito un metodo ufficiale per la determinazione delle emissioni diffuse di metano, può essere presa in considerazione una recente normativa tecnica dell'Agenzia per l'Ambiente Inglese (EA Environmental Agency): "*Guidance for monitoring Landfill Gas Surface Emissions*". Tale documento fornisce le linee guida per la misura del flusso massico di metano (in mg/m² s).

I punti di campionamento idonei per la quantificazione del termine sorgente dei composti in traccia sono:

- la linea principale di adduzione del biogas al sistema di combustione,
- i singoli pozzi di raccolta biogas,
- i punti di monitoraggio nel corpo rifiuti o sulla superficie del corpo rifiuti.

Poiché si richiede, inoltre, di quantificare il flusso emissivo di metano secondo la direttiva inglese, che prevede la misura dalla superficie del corpo rifiuti, potrebbe essere conveniente utilizzare gli stessi punti di campionamento anche per la determinazione dei composti organici in traccia.

I parametri necessari ad una corretta ed esaustiva caratterizzazione del biogas sono i seguenti.

Concentrazione delle specie chimiche presenti nel biogas captato (C^{FB}_0): dati sito-specifici del biogas campionato ed analizzato.

Peso molecolare del generico gas: espresso in unità chimiche di massa (u.c.m.) e riportato in letteratura.

Coefficiente di diffusione in aria del generico gas: indica la tendenza di un composto ad essere trasportato in atmosfera, riportato in letteratura.

Costante di Henry del generico gas: espresso in atm/mol, riportato in letteratura e nel documento "*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*", Tabella 12 pag. 57.

Viscosità del generico gas: esprime in g/cm s la resistenza interna della massa aeriforme, riportata in letteratura.

Coefficiente di decadimento del primo ordine (λ): parametro che indica la quantità di materia organica che si degrada nei percorsi attraversati. E' espresso in giorno⁻¹. E'

possibile porre $\lambda \neq 0$ solo se si hanno a disposizione valori aggiornati ed accreditati, altrimenti si consiglia di porre $\lambda = 0$.

Reference Dose: utilizzare i valori riportati nella Banca dati ISS/ISPESL "Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti" aggiornati al maggio 2009 e disponibili sul sito www.apat.gov.it.

Slope Factor: utilizzare i valori riportati nella Banca dati ISS/ISPESL "Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti" aggiornati al maggio 2009 e disponibili sul sito www.apat.gov.it.

6.6 Caratteristiche delle barriere di rivestimento

Superficie coperta della discarica: valore sito-specifico dell'area (mq) provvista di copertura definitiva.

Superficie scoperta della discarica: valore sito-specifico dell'area (mq) sprovvista di copertura definitiva.

Materiali: informazioni sito-specifiche sul tipo di materiale, naturale (terreno, ghiaia, ecc.) o artificiale.

Spessore (d_j): valore sito-specifico, espresso in cm, dell'altezza di ciascuno strato.

Conducibilità idraulica (K_j): valore sito-specifico, espresso in cm/s, relativo a ciascuno strato.

Densità (ρ): valore riportato in letteratura, espresso in cm/s, e relativo a ciascuno strato.

Contenuto di umidità (θ_j): valore riportato in letteratura relativo a ciascuno strato; è il volume d'acqua presente nell'unità di volume dello strato.

Dispersività longitudinale ($\alpha_{x,i}$): indica la natura dispersiva del moto, espresso in cm, va determinato mediante la relazione di Xu e Eckstein (1995). Confrontare a tal proposito i "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche", pag. 65.

Fattore di ritardo (R): tiene conto di vari processi fisico-chimici di riduzione della quantità contaminante. Per il calcolo di tale fattore far riferimento alle prescrizioni dei "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche".

Coefficiente di decadimento del primo ordine (λ): parametro che indica la quantità di materia organica che si degrada nei percorsi attraversati. E' espresso in giorno⁻¹. E'

possibile porre $\lambda \neq 0$ solo se si hanno a disposizione valori aggiornati ed accreditati, altrimenti si consiglia di porre $\lambda = 0$.

Densità dei difetti (numero/ha): le informazioni sulle discontinuità presenti nella geomembrana possono essere introdotte come distribuzioni di probabilità delle stesse, indicando la probabilità di avere un certo numero di buchi, fori o strappi per ettaro di superficie dello strato sintetico con una probabile estensione. Fare riferimento ai valori riportati nella Tabella 15 pag. 67 dei “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Area dei difetti (mq): fare riferimento ai valori riportati nella Tabella 15 pag. 67 dei “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

6.7 Caratteristiche del sistema di gestione del percolato

Le principali informazioni sito-specifiche riguardanti il sistema di gestione del percolato, utili ai fini della valutazione del rischio associato al percolato stesso, sono:

- spessore dello strato di drenaggio;
- tipologia e granulometria del materiale drenante;
- pendenza dello strato drenante verso il pozzo di raccolta;
- numero, posizione e configurazione delle tubazioni di drenaggio;
- caratteristiche geometriche delle tubazioni di drenaggio;
- numero posizione e tipologia dei pozzi di raccolta;
- caratteristiche geometriche dei pozzi di raccolta;
- livello di percolato sul fondo.

6.8 Caratteristiche del sistema di gestione del biogas

Le principali informazioni sito-specifiche riguardanti il sistema di gestione del biogas, utili ai fini della valutazione del rischio associato al biogas stesso, sono:

- posizione e raggio di influenza di pozzi e tubazioni;
- caratteristiche geometriche di pozzi e tubazioni;
- efficienza di captazione di pozzi e tubazioni;
- numero di torce/motori;
- date di inizio e fine attività;
- caratteristiche geometriche del condotto in uscita dei fumi;
- portata di biogas combusto e/o trattato;
- capacità minima, massima e nominale;
- temperatura di combustione;
- rapporto aria/combustibile;
- efficienza di distribuzione del gas nelle torce/motori.

6.9 Infiltrazione efficace

Il calcolo della infiltrazione efficace I_{ef} deve essere effettuato utilizzando la procedura riportata sui “*Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*” pag. 72.

Ai fini del calcolo devono essere utilizzati dati meteorologici sito-specifici, così come riportato nei “*Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio alle discariche*”, Appendice 1.

I dati pluviometrici, su base ventennale, sono rilevati dalla rete idro-meteorologica della Regione Puglia (Settore Protezione Civile).

L’infiltrazione efficace in presenza di copertura superficiale $I_{ef\ cop}$ deve essere calcolata utilizzando i coefficienti riduttivi riportati nella Tabella 18 pag. 73 dei “*Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio alle discariche*”.

7. Caratterizzazione dei percorsi e delle possibili vie di esposizione

In questo paragrafo si riportano tutti i parametri necessari ad una corretta ed esaustiva caratterizzazione dei percorsi e delle possibili vie di esposizione: zona di terreno insatura, acquifero, atmosfera.

Di ciascun parametro si riportano informazioni, unità di misura e necessità di una misura *sito-specifica*, di utilizzo di valori di default o di reperimento di dati di letteratura.

7.1 Caratteristiche della zona non satura di terreno

Soggiacenza della falda (L_{GW}): valore sito-specifico, espresso in cm, della distanza tra il piano campagna e la superficie piezometrica.

Franco della falda (d_{ff}): valore sito-specifico, espresso in cm, della distanza tra il piano di posa della discarica e la superficie piezometrica.

Spessore della frangia capillare (h_{cap}): spessore, espresso in m, della zona di sottosuolo in cui avviene la transizione tra il terreno saturo e il non saturo. Si può far riferimento ai valori riportati in Tabella 3.1-2 pag. 30 dei “*Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*” di APAT (revisione 2, marzo 2008).

Spessore della zona non satura (h_v): distanza tra il piano campagna e il top della frangia capillare

$$(h_v = L_{GW} - h_{cap})$$

Granulometria: distribuzione delle particelle del terreno in base al loro diametro, da determinare su base sito-specifica.

Densità del suolo (ρ_s): valore sito-specifico della massa volumica apparente.

Porosità totale ($\theta_{T \text{ unsat}}$): volume dei vuoti presenti all'interno del volume totale di terreno. Per la sua determinazione si può fare riferimento alle Tabelle 26-27 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche".

Porosità efficace ($\theta_{e \text{ unsat}}$): valore sito-specifico del volume dei vuoti idraulicamente connessi presenti all'interno del volume totale di terreno.

Contenuto volumetrico di acqua (θ_w): valore sito-specifico del volume di acqua presente nell'unità di volume del suolo.

Contenuto volumetrico di aria (θ_a): volume di aria presente nell'unità di volume del suolo. Per la sua determinazione si può fare riferimento alle Tabelle 26-27 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche".

Contenuto volumetrico di acqua e di aria nella frangia capillare ($\theta_{w \text{ cap}}, \theta_{a \text{ cap}}$): rapporto tra volume di acqua (aria) presente nel suolo e volume dei vuoti. Per la sua determinazione si può fare riferimento alla Tabella 27 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche".

Coefficiente di dispersività longitudinale ($\alpha_{x \text{ unsat}}$): quantifica i fenomeni dispersivi del moto, va determinato mediante la relazione di Xu e Eckstein (1995). Confrontare a tal proposito i "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche", pag. 115.

Conducibilità idraulica verticale a saturazione ($K_{\text{sat(insaturo)}}$): valore sito-specifico, espresso in cm/s, che rappresenta la capacità del terreno di un dato spessore di lasciarsi attraversare da acqua per unità di superficie.

Frazione di carbonio organico nel terreno (f_{oc}): valore sito-specifico della quantità di carbonio organico presente nel totale della matrice solida del terreno non saturo.

Per tener conto anche degli effetti della migrazione laterale di biogas di discarica, bisogna determinare in maniera sito-specifica i seguenti parametri della zona non satura di terreno:

- *Spessore dei rifiuti insaturi rispetto al piano campagna*: distanza tra il piano campagna e il livello di percolato nella discarica;
- *Permeabilità del suolo non saturo*: capacità del terreno di un dato spessore di lasciarsi attraversare.

7.2 Caratteristiche dell'acquifero

Direzione di flusso: informazione sito-specifica circa la direzione principale di scorrimento delle acque sotterranee.

Spessore dell'acquifero (d_{sw}): valore sito-specifico dell'altezza di acquifero compresa tra la superficie piezometrica libera e il limite inferiore dell'acquifero.

Spessore della zona di mescolamento (δ_{gw}): valore sito-specifico dello spessore del pennacchio di contaminante nella sua immissione in falda.

Estensione della discarica in direzione parallela (W) ed ortogonale (S_w) al flusso di falda: parametri sito-specifici, la cui conoscenza richiede la determinazione della direzione di flusso della falda.

Gradiente idraulico (i): valore sito-specifico del rapporto tra la differenza di carico idraulico di due punti posti lungo la direttrice di flusso della falda e la loro distanza.

Porosità totale ($\theta_{T\ sat}$): far riferimento a quanto detto per la porosità totale del terreno non saturo.

Conducibilità idraulica a saturazione (K_{sat}): valore sito-specifico, espresso in cm/s, che rappresenta la capacità del terreno di un dato spessore di lasciarsi attraversare da acqua per unità di superficie.

Velocità di Darcy (v_{gw}): $v_{gw} = K_{sat} \times i$

Velocità effettiva (v_e): $v_e = v_{gw} / \theta_{T\ sat}$

Coefficienti di dispersività longitudinale (D_x), trasversale (D_y) e verticale (D_z): far riferimento a quanto riportato nei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche" pag. 122.

Parametri chimici dell'acquifero: valori sito-specifici di pH e potenziale redox.

Frazione di carbonio organico (f_{oc}): quantità di carbonio organico presente nel totale della matrice solida del terreno non saturo. Si può assumere un valore conservativo pari a 0,001.

Fattore di ritardo (R): indica il ritardo del fronte di soluto trasportato da una fase liquida, a causa della ripartizione del soluto tra fase liquida e fase solida. Per il calcolo di tale fattore far riferimento alle prescrizione dei "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche".

Coefficiente di decadimento del primo ordine (λ): parametro che indica la quantità di materia organica che si degrada in funzione del tempo e della concentrazione inizialmente presente. E' espresso in giorno⁻¹. E' possibile porre $\lambda \neq 0$ solo se si hanno a disposizione valori aggiornati ed accreditati, altrimenti si consiglia di porre $\lambda = 0$.

Nella seguente tabella si riporta, per i principali parametri da determinare su base sito-specifica relativi al terreno insaturo e all'acquifero, il numero minimo di campioni per la determinazione.

Parametri da determinare su base sito-specifica	Numero minimo di campioni per determinazione parametri
Densità terreno insaturo	3
Granulometria terreno insaturo	3
Frazione carbonio organico terreno insaturo	3
Porosità efficace terreno insaturo	3
Contenuto umidità terreno insaturo	3
Conducibilità idraulica terreno insaturo	3
Conducibilità idraulica terreno saturo	3

7.3 Caratteristiche dell'atmosfera

Temperatura atmosferica: valore sito-specifico, espresso in °C, si assumono i valori medi annuali determinati mediante un'elaborazione dei dati giornalieri e/o mensili.

Gradiente termico verticale ($i_{T\ air}$): valore sito-specifico, espresso in °C/m, esprime la variazione della temperatura in funzione dell'altezza.

Densità dell'aria (ρ_{air}): si assumono i valori, sito-specifici, medi annuali determinati mediante un'elaborazione dei dati giornalieri e/o mensili.

Direzione e velocità del vento (U_{air}): valori sito-specifici, pari ai valori medi annui nell'area di interesse.

Classi di stabilità di Pasquill: far riferimento a quanto riportato nei "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche", pag. 133.

Altezza della zona di miscelazione in aria (δ_{air}): porzione di atmosfera a diretto contatto con la superficie terrestre, al cui interno avvengono intensi fenomeni di rimescolamento convettivo. Si può assumere pari a 200cm.

Coefficienti di dispersione trasversale (σ_y) e verticale (σ_z): quantificano i fenomeni diffusivi; si può far riferimento alla Tabella 35 e Figura 7 pag. 138 dei "Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche".

Estensione della discarica in direzione parallela (W') ed ortogonale (S'_w) alla direzione prevalente del vento: parametri sito-specifici, la cui conoscenza richiede la determinazione della direzione prevalente del vento.

Area della discarica rispetto alla direzione prevalente del vento (A'): $A' = W' \times S'_w$

Tempo medio di durata dei flussi di vapore (τ): espresso in s, assumere pari alla durata di esposizione ED.

Portata di particolato emessa per unità di superficie (Pe): parametro espresso in g/cm^2 s.

Tipo di terreno superficiale e coefficiente di rugosità: utilizzare valori riportati nella Tabella 36 dei “Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche”.

Velocità di deposizione (v_{dep}): parametro che indica la quantità di materiale rimosso mediante deposizione secca, espresso in m/s.

Coefficiente di lavaggio (Λ): parametro che indica la quantità di materiale rimosso mediante deposizione umida, espresso in s^{-1} .

8. Caratterizzazione dei bersagli e dei recettori

In questo paragrafo si riportano tutti i parametri necessari ad una corretta ed esaustiva caratterizzazione dei bersagli e dei recettori: acque superficiali, pozzi di approvvigionamento idrica, ambienti indoor.

Di ciascun parametro si riportano informazioni, unità di misura e necessità di una misura *sito-specifica*, di utilizzo di valori di default o di reperimento di dati di letteratura.

8.1 Caratteristiche delle acque superficiali

Ubicazione rispetto alla discarica: informazioni sito-specifiche circa la posizione del corpo idrico e la sua distanza dalla discarica.

Larghezza del corpo idrico superficiale (W_{sw}): valore sito-specifico, espresso in m, della larghezza della sezione del corso d’acqua.

Sezione trasversale del corpo idrico (S_{sw}): valore sito-specifico, espresso in m^2 , della sezione ortogonale al verso di scorrimento del fiume.

Velocità dell'acqua del corso idrico (v_{sw}): valore medio sito-specifico, espresso in m/s.

Portata del corso idrico superficiale (Q_{sw}): valore sito-specifico espresso in m^3/d . si può far riferimento alla portata media annua o, in maniera più conservativa, alla portata massima registrata in un certo periodo.

Portata della falda che alimenta il corpo idrico superficiale (Q_{gw}): valore espresso in m^3/d ; far riferimento a quanto riportato nei “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Volume del corpo idrico per la miscelazione (V): valore sito-specifico, espresso in m^3 , del volume d'acqua all'interno del quale si ipotizza avvenga la miscelazione; far riferimento a quanto riportato nei “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Altezza idrometrica (b_{sw}): valore sito-specifico dell'altezza del pelo libero del fiume rispetto ad un determinato livello.

Spessore della falda che interseca il corpo idrico (d_{sw}): parametro sito-specifico, espresso in m, non necessariamente pari all'intera profondità della falda.

Larghezza del plume di falda (L_{reach}): valore sito-specifico, espresso in m, della larghezza del plume di falda nel punto in cui si interseca con il corpo idrico.

Potenziale idraulico del corpo idrico (h_{sw}): $h_{sw} = z + (v^2 / 2g)$

Potenziale idraulico della falda (h_{gw}): $h_{gw} = z + (p / \gamma) + (v^2 / 2g)$

Coefficiente di dispersione laterale (D_{ysw}): quantifica i fenomeni di mescolamento all'interno di un corso d'acqua; far riferimento a quanto riportato nei “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Concentrazione del contaminante a monte del punto di immissione del pennacchio (C_0): valore sito-specifico della concentrazione nel corpo idrico superficiale a monte del punto di immissione delle acque sotterranee.

Uso delle acque superficiali: informazioni sito-specifiche sulla tipologia di utilizzo delle acque superficiali: scopi ricreazionali, potabili, agricoli, ecc.

8.2 Caratteristiche dei pozzi di approvvigionamento idrico

Ubicazione rispetto alla discarica: informazioni sito-specifiche circa la posizione del pozzo in relazione alla direzione del deflusso sotterraneo.

Dati e generalità: informazioni sito-specifiche circa portata, età del pozzo, stato attuale, caratteristiche costruttive e schema di completamento del pozzo, tipo di captazione.

Uso delle acque sotterranee emunte: informazioni sito-specifiche sulla tipologia di utilizzo delle acque sotterranee: potabile, agricolo, industriale, ecc.

8.3 Caratteristiche degli ambienti indoor

Superficie delle fondazioni (A_b): valore sito-specifico, espresso in cm^2 , della superficie dell'edificio coinvolta nell'infiltrazione indoor dal suolo o da falda.

Spessore delle fondazioni (L_{crack}): valore sito-specifico, espresso in cm, dello spessore dello strato di separazione tra l'ambiente indoor e il suolo sottostante.

Perimetro delle fondazioni (X_{crack}): valore sito-specifico, espresso in cm, della lunghezza del perimetro della base dell'edificio.

Profondità delle fondazioni (Z_{crack}): valore sito-specifico, espresso in cm, della distanza tra il piano campagna e la base delle fondazioni.

Superficie delle mura laterali dell'edificio (A_m): valore sito-specifico, espresso in cm^2 , della superficie dell'edificio coinvolta nell'infiltrazione indoor dall'aria esterna, a meno della superficie delle aperture.

Superficie delle aperture dell'edificio (A_a): valore sito-specifico, espresso in cm^2 , della superficie dell'edificio che non è direttamente coinvolta nell'infiltrazione indoor dall'aria esterna.

Altezza dell'edificio (h): valore sito-specifico, espresso in cm, della superficie dell'altezza interessata dall'infiltrazione di contaminante dall'aria outdoor.

Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione (L_b): $L_b = V_b / A_b$

Distanza tra la sorgente di contaminazione e la base delle fondazioni (L_T): valore sito-specifico espresso in cm.

Frazione areale di fratture (η): $\eta = A_{\text{crack}} / A_b$; utilizzare il valore di default pari a 0,01

Contenuto volumetrico di acqua e di aria nelle fratture ($\theta_{w \text{ crack}}, \theta_{a \text{ crack}}$): quantità di acqua e aria presenti nelle fratture delle fondazioni/mura; utilizzare i valori di default:

$$\theta_{w \text{ crack}} = 0,12$$

$$\theta_{a \text{ crack}} = 0,26$$

Tasso di ricambio d'aria indoor (ER): parametro, espresso in s^{-1} , che indica la quantità di aria che viene scambiata tra ambienti indoor e outdoor; far riferimento ai valori di default riportati sui “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Permeabilità del suolo al flusso di vapore (K_v): parametro, espresso in cm^2 , che indica la capacità del suolo di farsi attraversare dal vapore; far riferimento ai valori di default riportati sui “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Permeabilità del materiale delle fondazioni/mura al flusso di gas (K_{crack}): parametro, espresso in cm^2 , che indica la capacità del materiale delle fondazioni/mura di farsi attraversare dal gas; far riferimento ai valori di letteratura.

Differenza di pressione tra aria outdoor e indoor (ΔP): far riferimento ai valori di default riportati sui “*Criteri metodologici per l'analisi assoluta di rischio applicata alle discariche*”.

Lunghezza caratteristica di suzione (l_s): parametro, espresso in cm, che indica la lunghezza per la quale si verifica il flusso di suzione.

Viscosità del vapore (μ_{air}): $\mu_{air} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-1} \text{ s}$

Tempo medio di durata dei flussi di vapore (τ): espresso in s, assumere pari alla durata di esposizione ED.

9. Riepilogo parametri

Nella seguente Tabella si riportano i parametri fin qui esaminati, necessari per effettuare una analisi di rischio ad una discarica, i relativi simboli e le unità di misura, l'eventuale necessità di effettuare misure su base sito-specifica, il valore di default consigliato e note aggiuntive.

Simbolo	Parametri	Unità di misura	Valore di default	Necessità di determinare valori sito-specifici	Note
Caratteristiche geometriche della discarica					
	Superficie del fondo	m ²		SI	
h_{cap}	Superficie sommitale	m ²		SI	
h_v	Profondità dell'invaso rispetto al piano campagna	m		SI	
D	Volume totale o capacità autorizzata	m ³		SI	
Tipologia e caratteristiche dei rifiuti					
	Tipologia di rifiuti			SI	
	Flusso di rifiuti			SI	
	Composizione merceologica			SI	
d_r	Spessore dei rifiuti (attuale e futuro)	m		SI	
γ	Densità di abbancamento	t/m ³		SI	
θ_r	Porosità efficace	adim			Non indicare un unico valore, bensì un range di valori possibili meglio descritto da una distribuzione di probabilità, al fine di una migliore rappresentatività delle condizioni reali. Utilizzare Metodo Monte Carlo
θ_{rcam}	Capacità di campo			SI	Non indicare un unico valore, bensì un range di valori possibili meglio descritto da una distribuzione di probabilità, al fine di una migliore rappresentatività delle condizioni reali. Utilizzare Metodo Monte Carlo
M_r	Contenuto di umidità			SI	Non indicare un unico valore, bensì un range di valori possibili meglio descritto da una distribuzione di probabilità, al fine di una migliore rappresentatività delle condizioni reali. Utilizzare Metodo Monte Carlo
K_r	Conducibilità idraulica	m/s		SI	Non indicare un unico valore, bensì un range di valori possibili meglio descritto da una distribuzione di probabilità, al fine di una migliore rappresentatività delle condizioni reali. Utilizzare Metodo Monte Carlo
K_{vel} K_{med} K_{len}	Costanti di biodegradazione della materia organica K _{vel} , K _{med} , K _{len}	anni ⁻¹	0,693 0,139 0,046		
Caratteristiche del percolato e dei potenziali contaminanti in esso presenti					
pH	pH			SI	
	Conducibilità elettrica			SI	
	Potenziale redox			SI	
C_o^L	Concentrazione iniziale nel percolato	mg/l		SI	
	Solubilità			SI	
	Costante di Henry			SI	
	Coefficienti di ripartizione K _d , K _{ow} , K _{oc}				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
R	Fattore di ritardo	adim	0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
λ	Coefficienti di decadimento del primo ordine	giorno ⁻¹	0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
kappa, m, c	Costante di lisciviazione (kappa, m, c)	kg/l			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
x	Costante di dimezzamento	anni ⁻¹	0,1		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
RfD	Reference Dose				Confronta Banca Dati ISS-ISPEL
SF	Slope Factor				Confronta Banca Dati ISS-ISPEL

Simbolo	Parametri	Unità di misura	Valore di default	Necessità di determinare valori sito-specifici	Note
Caratteristiche del biogas e delle emissioni gassose					
$C_{o,FB}$	Concentrazioni nel biogas captato	%(sul peso secco)		SI	
PM	Peso molecolare	u.c.m.			Confronta valori di letteratura
i	Coefficienti di diffusione in aria	adim			Confronta valori di letteratura
H	Costante di Henry (del generico gas)	atm/mol			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
μ_g	Viscosità del gas	g/cm s			Confronta valori di letteratura
λ	Costante di decadimento del primo ordine	giorno ⁻¹	0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
RfD	Reference Dose				Confronta Banca Dati ISS-ISPEL
SF	Slope Factor				Confronta Banca Dati ISS-ISPEL
Caratteristiche delle barriere di rivestimento					
	Superficie coperta della discarica	m ²		SI	
	Superficie scoperta della discarica	m ²		SI	
	Materiali			SI	
d_j	Spessore	cm		SI	
K_j	Conducibilità idraulica	cm/s		SI	
ρ_j	Densità di abbancamento	g/cm ³			Confronta valori di letteratura
θ_j	Contenuto di umidità				Confronta valori di letteratura
$\alpha_{x,i}$	Dispersività longitudinale	cm			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
R_j	Fattore di ritardo	adim	0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
λ_i	Coefficienti di decadimento del primo ordine	adim	0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
	Densità dei difetti	numero/ha	3 - 5		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
	Area dei difetti	m ²			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
Caratteristiche del sistema di gestione del percolato					
	Spessore strato di drenaggio			SI	
	Tipologia e granulometria del materiale drenante			SI	
	Pendenza dello strato drenante verso il pozzo di raccolta			SI	
	Numero, posizioni e configurazione delle tubazioni di drenaggio			SI	
	Caratteristiche geometriche delle tubazioni di drenaggio			SI	
	Numero, posizioni e configurazione dei pozzi di raccolta			SI	
	Caratteristiche geometriche dei pozzi di raccolta			SI	
	Livello del percolato sul fondo			SI	
Caratteristiche del sistema di gestione del biogas					
	Posizione e raggio di influenza			SI	
	Caratteristiche geometriche			SI	
	Efficienza di captazione			SI	
	Numero torce/motori			SI	
	Date di inizio attività e dismissione			SI	
	Caratteristiche geometriche del condotto di uscita dei fumi			SI	
	Portata biogas combisto/trattato			SI	
	Capacità minima, massima e nominale			SI	
	Temperatura di combustione			SI	
	Rapporto aria/combustibile			SI	
	Efficienza di distribuzione del gas nelle torce/motori			SI	
Infiltrazione efficace					
I_{ef}	Infiltrazione efficace in assenza di copertura superficiale	cm/anno		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
$I_{ef\ cop}$	Infiltrazione efficace in presenza di copertura superficiale	cm/anno		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)

Simbolo	Parametri	Unità di misura	Valore di default	Necessità di determinare valori sito-specifici	Note
Caratteristiche della zona non satura di terreno					
L_{gw}	Soggiacenza della falda	cm		SI	
d_{ff}	Franco della falda	cm		SI	
h_{cap}	Spessore della frangia capillare	m			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
h_v	Spessore della zona non satura	cm		SI	
	Granulometria	mm		SI	
ρ	Peso di volume o densità del terreno o massa volumica	g/cm^3		SI	
$\theta_{t\ unsat}$	Porosità totale				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
$\theta_{e\ unsat}$	Porosità efficace			SI	
θ_w	Contenuto volumetrico d'acqua			SI	
θ_a	Contenuto volumetrico d'aria				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
$\theta_{w,cap}$ $\theta_{a,cap}$	Contenuto volumetrico d'acqua e aria nella frangia capillare				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
K_{sat}	Conducibilità idraulica verticale a saturazione	cm/s		SI	
$\alpha_x\ unsat$	Coefficiente di dispersione longitudinale				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
f_{oc}	Frazione di carbonio organico			SI	
Caratteristiche dell'acquifero					
	Direzione di flusso			SI	
W	Estensione della discarica nella direzione del flusso di falda	m		SI	
S_w	Estensione della discarica in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda	m		SI	
d_{sw}	Spessore dell'acquifero	m		SI	
δ_{gw}	Spessore della zona di mescolamento	m			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
i	Gradiente idraulico	adim		SI	
$\theta_{t\ sat}$	Porosità totale				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
K_{sat}	Conducibilità idraulica a saturazione	cm/s		SI	
V_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
V_e	Velocità effettiva	cm/anno			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
$\alpha_x\ \alpha_y\ \alpha_z$	Coefficienti di dispersività longitudinale, verticale e trasversale				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
pH	pH			SI	
	Potenziale redox			SI	
f_{oc}	Frazione di carbonio organico		0,001		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
R	Fattore di ritardo		0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
λ	Coefficiente di decadimento del primo ordine (della generica specie chimica presente nel percolato)		0		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)

Simbolo	Parametri	Unità di misura	Valore di default	Necessità di determinare valori sito-specifici	Note
Caratteristiche del percorso in atmosfera					
T_{air}	Temperatura atmosferica	°C		SI	
$i_{t\ air}$	Gradiente termico verticale	°C/m		SI	
ρ_{air}	Densità dell'aria	g/cm ³		SI	
U_{air}	Direzione e velocità del vento			SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
	Classi di stabilità di Pasquill			SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione	cm	200		
$\sigma_y \sigma_z$	Coefficienti di dispersione trasversale e verticale	m			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
W'	Estensione della discarica nella direzione prevalente del vento	m		SI	
S_w'	Estensione della discarica nella direzione ortogonale a quella prevalente del vento	m		SI	
A'	Area della discarica	m ²		SI	
T	Tempo medio di durata dei flussi di vapore	sec	ED (Durata di esposizione)		
P_e	Portata di particolato emessa per unità di superficie	g/cm ² s		SI	
	Tipo di terreno e coefficiente di rugosità	m		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
Λ	Coefficiente di lavaggio	s ⁻¹			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
V_{dep}	Velocità di esposizione	m/s			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
Caratteristiche della zona non satura di terreno di migrazione laterale di biogas					
L_{qw}	Soggiacenza della falda	cm		SI	
	Spessore dei rifiuti insaturi rispetto al piano campagna			SI	
h_{cap}	Spessore della frangia capillare	m			
h_v	Spessore della zona non satura	cm		SI	
	Granulometria	mm		SI	
ρ	Peso di volume o densità del terreno o massa volumica	g/cm ³	1,7		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
θ_e	Porosità efficace				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
θ_w	Contenuto volumetrico d'acqua				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
	Permeabilità				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
θ_a	Contenuto volumetrico d'aria				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
$\theta_{w,cap}$ $\theta_{a,cap}$	Contenuto volumetrico d'acqua e aria nella frangia capillare				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
Caratteristiche delle acque superficiali					
	Ubicazione rispetto alla discarica			SI	
W_{sw}	Larghezza del corpo idrico superficiale	m		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
S_{sw}	Sezione trasversale del corpo idrico	m ²		SI	
V_{sw}	Velocità dell'acqua del corpo idrico	m/s		SI	
Q_{sw}	Portata del corpo idrico superficiale (nel caso di un fiume)	m ³ /d		SI	
Q_{gw}	Portata dell'acquifero che alimenta il corpo idrico superficiale	m ³ /d		SI	
V	Volume del corpo idrico per la miscelazione	m ³		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
b_{sw}	Altezza idrometrica	m		SI	
d_{sw}	Spessore della falda	m		SI	
L_{reach}	Larghezza del plume di falda	m		SI	
h_{sw}	Potenziale idraulico del corpo idrico	cm		SI	
h_{qw}	Potenziale idraulico della falda	cm		SI	
D_{ysw}	Coefficiente di dispersione laterale del corpo idrico superficiale	m/s			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
C_o	Concentrazione del contaminante a monte del punto di immissione del pennacchio	mg/l		SI	
	Uso delle acque superficiali			SI	

Simbolo	Parametri	Unità di misura	Valore di default	Necessità di determinare valori sito-specifici	Note
Caratteristiche dei pozzi di approvvigionamento idrico					
	Ubicazione rispetto alla discarica			SI	
	Dati e generalità			SI	
	Uso delle acque sotterranee emunte			SI	
Caratteristiche dell'esposizione umana negli ambienti indoor					
A_b	Superficie delle fondazioni	cm^2		SI	
L_{crack}	Spessore delle fondazioni	cm		SI	Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
X_{crack}	Perimetro delle fondazioni	cm		SI	
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm		SI	
A_m	Superficie delle mura laterali dell'edificio	cm^2		SI	
A_a	Superficie delle aperture dell'edificio (porte e finestre)	cm^2		SI	
h	Altezza dell'edificio	cm		SI	
L_b	Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione	cm		SI	
L_t	Distanza tra la sorgente di contaminazione e la base delle fondazioni	cm		SI	
η	Frazione areale di fratture	adim	0,01		Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
θ_{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	$cm^3(w)/cm^3(t)$	0,12		
θ_{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	$cm^3(a)/cm^3(t)$	0,26		
ER	Rapporto di ricambio di aria indoor	s^{-1}			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
K_v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm^2			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
K_{crack}	Permeabilità del materiale delle fondazioni/mura al flusso di gas	cm^2			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
ΔP	Differenza di pressione tra aria outdoor e indoor				Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
l_s	Lunghezza caratteristica di suzione	cm			Confronta "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche" (APAT)
μ_{air}	Viscosità del vapore	$g\ cm^{-1}\ s$	$1,81 \cdot 10^{-4}$		
T	Tempo medio di durata dei flussi di vapore	sec	ED (Durata di esposizione)		

10. *Calcolo della esposizione*

Il concetto di Esposizione è legato sia alla capacità di un inquinante di raggiungere il recettore (bersaglio) attraverso i possibili percorsi di migrazione, sia alla quantità effettiva di esposizione, cioè per quanto tempo, con che frequenza e con che concentrazione la sostanza considerata viene recepita dal bersaglio.

L'esposizione è dunque legata alle dimensioni della sorgente di contaminazione, alla concentrazione rappresentativa della sorgente, alla sua posizione nello spazio fisico, alla mobilità della sostanza, ai fattori ambientali che possono influenzare le modalità e le quantità con cui una sostanza raggiunge il bersaglio, nonché ad alcuni parametri specifici del bersaglio.

La AdR applicata alle discariche deve essere eseguita considerando tutti i percorsi di esposizione riportati dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche" (Revisione 0 Giugno 2005).

In particolare, per la sorgente di contaminazione **percolato**, dovranno essere prese in considerazione le seguenti modalità di esposizione:

- ingestione di acqua potabile da falda;
- inalazione di vapori outdoor da falda;
- inalazione di vapori indoor da falda;
- contatto dermico accidentale con acqua di falda;
- ingestione accidentale di acqua di falda.

Per la sorgente di contaminazione **biogas**, invece, dovranno essere prese in considerazione le seguenti modalità di esposizione:

- inalazione di vapori outdoor da atmosfera;
- inalazione di vapori indoor da atmosfera;
- inalazione di vapori indoor da suolo superficiale;
- inalazione di vapori outdoor da suolo superficiale;
- contatto dermico accidentale con suolo superficiale;
- ingestione accidentale di suolo superficiale;
- inalazione di polveri outdoor;
- inalazione di polveri indoor.

Nel calcolo della esposizione E devono essere utilizzati, come valori di default, i valori dei Fattori di esposizione indicati dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" (Revisione 2 Marzo 2008 – ISPRA).

Qualora si utilizzi un software con valori di default diversi da quelli di riferimento, gli stessi software dovranno essere modificati ed aggiornati in maniera tale che i Fattori di esposizione coincidano con quelli riportati nella Tabella 3.4-3 a pag. 108 dei suddetti *Criteri metodologici*.

11. Calcolo del Rischio

Il calcolo del rischio deve essere effettuato conformemente a quanto riportato dai manuali “*Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*” (Revisione 2 Marzo 2008 – ISPRA) “ e “*Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio alle discariche*” (Revisione 0 Giugno 2005).

In particolare, per le discariche che richiedono deroga ai parametri relativi ai criteri di ammissibilità riportati nel DM 03/08/05, ai sensi dell’art. 7 dello stesso decreto, gli inquinanti indicatori da prendere in esame nell’analisi coincidono in linea generale proprio con i parametri di cui è stata richiesta la deroga ai suddetti limiti di accettabilità.

Per quanto riguarda la sorgente di contaminazione **percolato** e nel caso di richiesta di deroga al parametro TDS (Solidi Totali Disciolti), l’analisi di rischio dovrà essere condotta considerando in sostituzione dello stesso i parametri cloruri e solfati.

Qualora si voglia richiedere deroga per il limite di accettabilità del parametro DOC, dovranno essere presi in considerazione i composti più significativi ad esso correlati e presenti nel percolato in concentrazioni rilevanti ai fini della valutazione.

Per quanto attiene, invece, la sorgente di contaminazione **biogas**, nel caso di richiesta di deroga al limite di accettabilità del parametro DOC, l’analisi di rischio dovrà essere condotta con riferimento alle concentrazioni dei composti in traccia presenti nel biogas.

Nella seguente tabella si riporta l’elenco dei parametri da individuare, con indicazione dei relativi metodi di campionamento ed analisi.

PARAMETRO	METODO
Clorometano	NIOSH 1001
1,1,1 - Tricloroetano	UNI 13528
1,1,2 - Tricloroetano	NIOSH 1003
1,2 - Dicloroetano	UNI 13528
1,2 - Dicloroetilene	NIOSH 1003
Benzilcloruro	NIOSH 1003
Clorobenzene	UNI 13528
Cloroformio	UNI 13528
Tetracloroetilene	UNI 13528
1,1 - Dicloroetano	NIOSH 1003
Tetracloruro di carbonio	UNI 13528
2 - Propanolo	UNI 13528
Etanolo	UNI 13528
Diclorometano	UNI 13528
Cloroetene	NIOSH 1007
1,2 - Dibromoetano	NIOSH 1008
Triclorotrifluoroetano	NIOSH 1020
Tricloroetilene	UNI 13528
1,3 - Butadiene	NIOSH 1024
Acetaldeide	NIOSH 1300
Acetone	UNI 13528
Cicloesanone	NIOSH 1300
Metilisobutilchetone	UNI 13528
2 - Esanone	NIOSH 1300
2 - Pentanone	NIOSH 1300
Diisobutilchetone	NIOSH 1300
2 - Butossietanolo	UNI 13528
1 - Butanolo	NIOSH 1405
Acetato di etile	UNI 13528
i-Butano	NIOSH 1500
Idrocarburi totali escluso il metano	NIOSH 1500
i-Esano	NIOSH 1500
i-Ottano	NIOSH 1500
i-Pentano	NIOSH 1500
n-Decano	UNI 13528
n-Eptano	UNI 13528
n-Esano	UNI 13528
n-Ottano	UNI 13528
n-Pentano	UNI 13528
n-Dodecano	UNI 13528
n-Undecano	UNI 13528
Benzene	UNI 13528
Etilbenzene	UNI 13528
m-, p-, o-Xilene	UNI 13528
Naftalene	UNI 13528
Stirene	UNI 13528

PARAMETRO	METODO
Toluene	UNI 13528
4-Etiltoluene	OSHA 07
α -Pinene	UNI 13528
Limonene	UNI 13528
Disolfuro di carbonio	NIOSH 1600
Acrilonitrile	UNI 13528
Piridina	NIOSH 1613
Metiliterbutiletere (MTBE)	UNI 13528
Metanolo	UNI 13528
2-Butanone	UNI 13528
Cloroetano	NIOSH 2519
Formaldeide	NIOSH 2539
Esanale	NIOSH 2539
Nonanale	NIOSH 2539
Valeraldeide	NIOSH 2539
Etantiolo	NIOSH 2542
Mercaptani	NIOSH 2542
Esaclorobutadiene	NIOSH 2543
Fenolo	NIOSH 2546
Benzo(a)pirene	NIOSH 5506
1,2,4-Triclorobenzene	NIOSH 5517
Glicole Etilenico	NIOSH 5523
Glicole Dietilenico	NIOSH 5523
Glicole Trietilenico	NIOSH 5523
1,3 Butilenglicole	NIOSH 5523
1,2 - Diclorobenzene	OSHA 07
1,3 - Diclorobenzene	OSHA 07
1,4 - Doclorobenzene	UNI 13528
Butilacetato	UNI 13528
1,2 - Dicloropropano	UNI 13528
Cicloesilbromuro	OSHA 07
Tetraidrofurano (THF)	UNI 13528
1- Pentene	OSHA CSI
2 - Etil - 1 - Esanolo	UNI 13528
3 - Metilpentano	UNI 13528
4 - Fenilcicloesene	OSHA CSI
Cianamide	OSHA CSI
Dicloroanilina	OSHA CSI
Dimetildisolfuro	OSHA CSI
n -Butano	OSHA CSI
Nonano	UNI 13528
1,2,4-Trimetilbenzene	UNI 13528
2,2,4-Trimetil-1,3-pentandiolo diisobutirrato (TXIB)	OSHA PV2002
1,3,5 - Trimetilbenzene	OSHA PV2091
Idrossitoluene butilato	OSHA PV2108

PARAMETRO	METODO
Cloruro di vinilidene	
n - Butil mercaptano	
Arsenico	
Acido butirrico	
Dimetilsofuro	
Butirrato di etile	
Furano	
Solfuro di diidrogeno	
Metantiolo	

Secondo quanto riportato nella circolare del Ministero dell’Ambiente, trasmessa il 2/07/09 a tutte le Regioni ed inoltrata alle Province della Puglia ed alla Direzione scientifica di ARPA Puglia, il calcolo del rischio potrà essere limitato alla sola valutazione degli impatti sulle matrici ambientali (acque superficiali e sotterranee). In tal caso, si dovrà confrontare nel punto di conformità per le acque sotterranee le concentrazioni derivanti dal modello di calcolo con i valori limite più restrittivi riportati nella normativa vigente in materia di bonifica siti inquinati e di qualità delle acque destinate al consumo umano.

Nel caso della sorgente **percolato**, quindi, si dovrà verificare se il rapporto tra concentrazione stimata nel punto di conformità (C_{POC}) nelle acque sotterranee ed il valore limite sopra definito è inferiore ad 1. Il punto di conformità per le acque sotterranee sarà posto al confine della discarica nel punto idrogeologicamente a valle della stessa.

Nel caso in cui l’autorità competente definisca valori di fondo antropizzato nelle acque sotterranee superiori ai valori limite definiti dalla normativa vigente in materia di bonifica siti inquinati e di qualità delle acque destinate al consumo umano, tali valori saranno utilizzati per il confronto con le concentrazioni stimate nel punto di conformità.

In caso di superamento del valore limite nel punto di conformità per le acque sotterranee o per la qualità dell’aria, si dovrà anche calcolare il rischio sulla salute umana relativamente agli effetti tossici (cancerogeni e non cancerogeni) associati all’esposizione alle sostanze considerate.

Per quanto riguarda, invece, il **biogas** e le altre emissioni gassose, in assenza di valori limite di concentrazione per la qualità dell’aria, si dovrà direttamente calcolare il rischio sulla salute umana relativamente agli effetti tossici (cancerogeni e non cancerogeni), ove accertati, associati all’esposizione alle sostanze esaminate.

12. Software consigliati

12.1 Biogas

Nell'ambito della procedura di analisi di rischio applicata alle discariche, tesa a calcolare il rischio indotto dalla sorgente di contaminazione **biogas** sui recettori umani ed ambientali, è consigliato l'utilizzo di uno dei software in commercio in grado di modellizzare e simulare il trasporto in atmosfera degli inquinanti che costituiscono il gas di discarica fino ai recettori.

Mediante l'utilizzo di tale software, deve essere possibile studiare gli effetti del biogas 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, sia la possibilità di 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.

Inseriti i dati di input (caratteristiche di lotti, copertura, barriere laterali, rifiuti, impianto di trattamento biogas, terreno ed edifici, concentrazione dei diversi gas nel biogas) il software scelto deve fornire i valori di:

- quantità di gas prodotto;
- presenza dei gas (misurata in unità odorimetriche OU/m³) a livello terra e in corrispondenza dei recettori;
- GWP (global warning potential) e ODP (ozone depletion potential) misurati per ciascun gas e complessivamente;
- concentrazione (mg/m³) delle diverse sostanze per passi di distanza predefinite;
- esposizione E (mg/kg d) per un determinato gas, anno e recettore.

Uno di questi, come riportato nei *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche"* (Revisione 0, Giugno 2005 - APAT) è *GasSim*. Tale software è nato 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.

Si consiglia di verificare la correttezza dei valori ottenuti, in particolare confrontando la presenza dei gas (OU/m³) e la concentrazione (mg/m³) delle diverse sostanze con *valori osservati*.

Se i valori calcolati dal software non coincidono con quelli misurati, è consigliabile misurare direttamente le concentrazioni al punto di esposizione C_{poe} , note le quali è possibile calcolare esposizione E e rischio R mediante le seguenti formule:

$$E = C_{poe} \times EM$$

$$R = E \times SF$$

per sostanze cancerogene

$$R = E / Rfd$$

per sostanze non cancerogene

dove:

EM = portata di esposizione
SF = Slope Factor
RfD = Reference Dose

12.2 Dati meteorologici nel software GasSim

Nella simulazione della dispersione atmosferica il software GasSim richiede l'introduzione dei dati meteo relativi alla zona di interesse. L'accuratezza dei dati meteorologici introdotti, ovviamente, si ripercuote nell'accuratezza di calcolo della modellazione.

I file necessari al software 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.

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, mentre il file PLF viene creato partendo da quest'ultimo.

Nel software sono presenti dei dati meteorologici relativi all'Inghilterra (Paese in cui è stato sviluppato GasSim).

L'utilizzatore italiano del programma deve importare un file SFC esterno contenente i dati meteo della zona d'interesse.

In Italia reperire i dati meteo in questo formato è difficile. Pur avendo a disposizione i dati meteo in formato ASCII, forniti dalle ARPA per ogni stazione meteo disposta sul territorio, non è facile convertirli utilizzando questa formattazione.

I dati italiani sono, cioè, incompatibili col software GasSim; 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.

12.3 Percolato

Nell'ambito della procedura di analisi di rischio applicata alle discariche, tesa a calcolare il rischio indotto dalla sorgente di contaminazione **percolato** sui recettori umani ed ambientali, è consigliato l'utilizzo di uno dei software in commercio in grado di 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.

Il software scelto deve utilizzare il metodo Monte Carlo per scegliere in maniera casuale dei valori fra quelli possibili delle distribuzioni di probabilità che accetta in ingresso.

Inseriti i dati di input riguardanti:

- percolato (concentrazioni dei contaminanti);
- infiltrazione;
- discarica (caratteristiche geometriche);
- rifiuti;
- sistema di drenaggio;
- impermeabilizzazione;
- terreno insaturo;
- via di fuga verticale
- acquifero.

il software scelto deve poter fornire output:

- a) di tipo chimico, ossia le concentrazioni (mg/l) dei vari contaminanti in prossimità di:
 - fonte;
 - base dello strato di argilla;
 - base della zona insatura;
 - base della via di fuga verticale;
 - punto di conformità.
- b) di tipo idraulico:
 - altezza di percolato sulla impermeabilizzazione (m);
 - perdite dell'impermeabilizzazione (l/g);
 - rapporto di diluizione;
 - flusso nell'acquifero (m³/anno)
 - flusso all'impianto di trattamento (l/g);
 - perdite superficiali (l/g)
- c) relativi al tempo di trasporto dell'inquinante al bersaglio.

Uno di questi è, come riportato nei *“Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche”* (Revisione 0, Giugno 2005 - APAT), *LandSim*, un

software sviluppato dalla Golder Associates su commissione dell' "Environmental Agency" inglese nel 1996.