

# DETERMINAZIONE E GESTIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA PER IL MONITORAGGIO DELLE DISCARICHE

RELAZIONI CON I SITI CONTAMINATI



Revisione 0  
Febbraio 2016

RECONnet  
Rete Nazionale sulla gestione e la  
Bonifica dei Siti Contaminati



## PREMESSA

---

*Nel presente documento sono presentati i contributi di due anni di lavoro del GdL **Interazione tra gestione delle discariche e normativa bonifiche** della rete RECONnet.*

### **Autori (in ordine alfabetico)**

Guida Agostini, Università di Roma “Tor Vergata”

Manuela Aloisi, ARPAE Emilia Romagna

Elisabetta Bemporad, INAIL

Paola Di Toppa, ISPRA

Andrea Forni, Ordine Ingegneri della Provincia di Bologna

Adele Lo Monaco, ARPAE Emilia Romagna (ex Arta Abruzzo)

Lucina Luchetti, Arta Abruzzo

Roberto Riberti, ARPAE Emilia Romagna

Andrea Sconocchia, Arpa Umbria

Iason Verginelli, Università di Roma “Tor Vergata”

Igor Villani, ARPAE Emilia Romagna

### **Coordinatori del gruppo di lavoro**

Andrea Forni, Ordine Ingegneri della Provincia di Bologna

Igor Villani, ARPAE Emilia Romagna

**RECONnet**, Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati

Viale del Politecnico, 1

00133 Roma

[www.reconnet.net](http://www.reconnet.net)

# INDICE

Premessa.....	2
Indice .....	3
1. Scopo del documento.....	5
2. Matrice acque sotterranee: definizione e gestione dei livelli di guardia .....	6
2.1. Inquadramento normativo .....	7
2.1.1 Estratto normativo Siti Contaminati.....	7
2.1.2 Estratto normativo discariche .....	8
2.2. Proposta di metodologia tecnica per determinare i livelli di guardia .....	11
2.2.1 Modello concettuale del sito .....	11
2.2.2 Scelta dei markers.....	12
2.2.3 Matrice di valutazione.....	15
2.2.4 Possibile piano di monitoraggio .....	20
2.3. Esempi di applicazione .....	21
2.3.1 Caso A (discarica su litologia a bassa permeabilità).....	21
2.3.2 Caso B (discarica su litologia ad alta permeabilità).....	24
2.4. Esempi di interprocedure AIA per la gestione dei superamenti dei limiti.....	28
2.4.1 Esempio n. 1 .....	28
2.4.2 Esempio n. 2 .....	29
2.5 Conclusioni .....	31
3. Matrice Aria: Definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera .....	32
3.1. Inquadramento normativo .....	32
3.1.1. Emissioni diffuse .....	33
3.1.2 Emissioni convogliate.....	33
3.2. Caratterizzazione del sito di discarica con riferimento alle emissioni.....	36
3.3. Individuazione degli inquinanti da monitorare .....	37
3.4. Definizione dei livelli di guardia aria ambiente.....	40
3.5. Verifica del rispetto dei limiti di guardia e piano d'azione .....	45
3.6. Criteri per la definizione dei limiti di guardia per il biogas (emissioni diffuse e migrazioni laterali).....	47
3.6.1 Emissioni diffuse del biogas dal corpo della discarica .....	48

3.6.2 Migrazioni laterali di biogas .....	51
3.7. Limiti di guardia per l'amianto .....	53
3.8. Esempio di applicazione (a cura di Arta Abruzzo) .....	54
BIBLIOGRAFIA.....	62

# 1. SCOPO DEL DOCUMENTO

---

Lo scopo del documento è quello di presentare alcuni aspetti nella gestione delle discariche in relazione anche alla normativa attualmente in vigore. All'interno del documento, sono state affrontate alcune tematiche in merito alle emissioni della discarica stessa, con particolare riferimento:

1. alla **matrice acque sotterranee**:

1.1. la connessione tra la normativa discariche e la normativa siti contaminati. Sono riportati, inoltre, degli esempi di interprocedure contenuti in AIA per le verifiche da eseguire in caso di superamento dei limiti normativi delle acque sotterranee (CSC) fissati dal Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06 (fatte naturalmente salve le relative procedure amministrative); in particolare la verifica è mirata ad accertare l'effettiva sussistenza di una potenziale contaminazione del sito e, soprattutto l'eventuale nesso causale con la discarica);

1.2. una proposta di metodologia tecnica per stabilire i livelli di guardia e di controllo nelle acque sotterranee. Questa metodologia può aiutare a comprendere se variazioni significative della qualità della falda, riscontrate dagli esiti delle attività di monitoraggio, siano effettivamente riconducibili alla discarica, evitando, in tal modo, l'attivazione di inutili procedure di bonifica (e i relativi impatti economici).

2. alla **matrice aria**:

2.1. la definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera della discarica facendo riferimento:

2.1.1. alle emissioni diffuse;

2.1.2. alle emissioni convogliate.

In merito a tale matrice è stato contemplato, nell'ultimo capitolo del documento, un caso applicativo.

## 2. MATRICE ACQUE SOTTERRANEE: DEFINIZIONE E GESTIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA

---

Variazioni significative della qualità della falda riscontrate dagli esiti delle attività di monitoraggio delle acque sotterranee nelle discariche, eseguito ai sensi della Direttiva 1999/31/CE, recepita dal D.Lgs. n° 36/03, possono indurre le autorità competenti e gli organi di controllo ad attivare inutilmente pesanti procedure di bonifica a cui si accompagnano elevati costi per i gestori e pesanti carichi di lavoro per gli Enti. È necessario quindi una strutturata metodologia di valutazione basata su approfondite conoscenze sito specifiche.

La valutazione dei dati di monitoraggio delle discariche assume quindi una importanza centrale per verificare gli effetti legati alla presenza dell'impianto di discarica sulla matrice acque sotterranee e per predisporre eventuali azioni di mitigazione per minimizzarne gli impatti.

Nella presente relazione si riporta una metodologia o procedura di valutazione per la gestione dei dati di monitoraggio delle acque sotterranee, tramite l'individuazione di markers sito-specifici, la definizione di soglie di guardia e di matrici di procedure di intervento.

Si evidenzia che tale metodologia è specifica per la valutazione di perdite di percolato dall'invaso di discarica: nel caso di eventuali contaminazioni delle acque di falda connesse a sorgenti diverse presenti nel sito di discarica (come ad esempio: aree deposito percolato, trattamento rifiuti, deposito materie prime e rifiuti prodotti, piazzola di lavaggio e manutenzione mezzi), si ritiene maggiormente appropriato procedere mediante gli approcci tradizionali.

Infine, si ricorda che la presente metodologia è da considerarsi di supporto e non sostitutiva al "piano di monitoraggio e controllo" e alle relative modalità di campionamento (set analitico e tempistiche minime) obbligatori previsti dal D. Lgs. n. 36/2003, sia in fase operativa che post operativa.

## 2.1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

### 2.1.1 Estratto normativo Siti Contaminati

La normativa sui siti contaminati è contenuta all'interno del Titolo V, Parte Quarta *Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati* del D.Lgs. n. 152/06 *Norme in materia ambientale*.

L'art.242, comma 1, DLgs 152/06 dispone che...

*“Al verificarsi di un **evento** che sia potenzialmente in grado di contaminare il sito, il responsabile dell'inquinamento mette in opera entro ventiquattro ore le misure necessarie di prevenzione e ne dà immediata comunicazione ai sensi e con le modalità di cui all'articolo 304, comma 2. La medesima procedura si applica all'atto di individuazione di contaminazioni storiche che possano ancora comportare rischi di aggravamento della situazione di contaminazione.”*

In particolare, l'ordinamento sui siti contaminati è legato al concetto di “evento” contaminante, con quasi uniche discriminanti la definizione di “potenzialmente contaminante”, se attuale, o “potenzialmente ancora in grado di aggravare la situazione”, se storico. Tale concetto si collega direttamente al principio di “chi inquina paga”, instaurando il paradigma giuridico “Evento contaminante - Responsabile dell'evento - Onere bonifica della contaminazione”.

Le altre generiche condizioni di “alterazione” delle matrici ambientali, comprese le contaminazioni storiche ormai “inattive”, sono da ricondursi ad altri ambiti tecnico-normativi, ad esempio:

- Abbandono di rifiuti art.192, D.Lgs. 152/06; qualora, a seguito della rimozione, avvio a recupero, smaltimento dei rifiuti abbandonati o depositati in modo incontrollato, si accerti il superamento dei valori di attenzione, si dovrà comunque procedere alla caratterizzazione dell'area ai fini degli eventuali interventi di bonifica e ripristino ambientale (art.239 , D.Lgs. 152/06);
- Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento (DLgs 30/2009);
- Normativa AIA parte II, Titolo III-bis, D.Lgs. 152/06;
- Normativa sulle discariche (DLgs 36/03);
- Piani regionali per l'inquinamento diffuso;
- Norme regionali su fondi naturali.

Si ricorda, inoltre, che come indicato all'interno del comma 2 del medesimo articolo, l'ingresso nella procedura amministrativa sancita dall'art. 242 è previsto qualora sia accertato il superamento delle CSC anche per un solo parametro.

Per procedere ai sensi del suddetto articolo deve sussistere in tutte le sue parti il paradigma prima citato ed è quindi fondamentale individuare con chiarezza cosa costituisca un “evento” e quali siano i criteri che definiscono i “rischi” di aggravamento

della contaminazione, altrimenti non sarebbe possibile identificare un responsabile e tantomeno attribuire un onere di ripristino. La norma fa ovviamente salve eventuali volontarietà a procedere nell'iter di bonifica da parte di soggetti terzi, ma per le pubbliche amministrazioni la volontarietà non si può svincolare dalla responsabilità in quanto, in sussistenza di un responsabile dell'inquinamento, la volontaria spesa di soldi pubblici, seppur a fini di interesse comune, potrebbe essere perseguita dalla Corte dei Conti come indebito investimento. Tali concetti sono in parte richiamati all'art. 239 del DLgs 152/06 in cui si specificano alcune esclusioni all'applicazione del Titolo V (Bonifica di Siti Contaminati):

*“2. Ferma restando la disciplina dettata dal titolo I della parte quarta del presente decreto, le disposizioni del presente titolo non si applicano:*

*a) all'abbandono dei rifiuti disciplinato dalla parte quarta del presente decreto. In tal caso qualora, a seguito della rimozione, avvio a recupero, smaltimento dei rifiuti abbandonati o depositati in modo incontrollato, si accerti il superamento dei valori di attenzione, si dovrà procedere alla caratterizzazione dell'area ai fini degli eventuali interventi di bonifica e ripristino ambientale da effettuare ai sensi del presente titolo*

*3. Gli interventi di bonifica e ripristino ambientale per le aree caratterizzate da inquinamento diffuso sono disciplinati dalle Regioni con appositi piani, fatte salve le competenze e le procedure previste per i siti oggetto di bonifica di interesse nazionale e comunque nel rispetto dei criteri generali di cui al presente titolo”.*

Come si legge al comma 2 lettera a, la presenza, e relativa rimozione, di rifiuti abbandonati non comporta l'automatica apertura di un procedimento di bonifica, ma necessita prima di verifiche di altro tipo (dal punto di vista amministrativo) richiamando la bonifica solo agli esiti degli accertamenti.

### **2.1.2 Estratto normativo discariche**

A livello nazionale, le discariche sono disciplinate dal D.Lgs. n. 36/2003, in recepimento della Direttiva 1999/31/CE che, per esplicita dichiarazione, costituisce anche un riferimento per l'applicazione delle Migliori Tecniche Disponibili di settore ai sensi del D.Lgs. n. 152/2006, Parte II (IPPC).

Per quanto attiene ai criteri di ammissibilità attualmente vige il DM 27/09/2010, recentemente modificato dal DM 24/06/2015 per rispondere ai rilievi mossi in sede comunitaria ai fini di un maggiore allineamento con la Decisione 2003/33/CE di riferimento.

Gli impianti di discarica, diversi dalle discariche abusive o dall'abbandono di rifiuti sopra discusso (sia ben chiaro), appartengono ad una tipologia di attività commerciale soggetta a specifici ordinamenti, assimilabili a qualsiasi altro tipo di attività produttiva. Per le discariche ancora attive, e per quelle più recenti, come appena accennato, vige

sia il DLgs 36/03 che la normativa AIA. La disciplina sulle bonifiche quindi dovrebbe intervenire esclusivamente in caso di incidenti che causano contaminazione delle zone circostanti l'impianto e comunque non rientranti nelle aree soggette al regime di gestione della discarica, cioè al verificarsi di quegli "eventi" richiamati nell'art.242. Il fatto che nell'attività si gestiscono rifiuti non è in sé un motivo di rischio maggiore o differente da impianti che trattano prodotti di altro genere, a volte anche molto più inquinanti, quindi, nel caso degli impianti di discarica, l'erroneamente automatico *link* "rifiuti-bonifica" è in realtà un falso ed errato collegamento poiché l'attività di gestione dei rifiuti va gestita con la disciplina dei rifiuti, salvo situazioni extradisciplinari. Questi criteri sono sintetizzati nel DLgs 36/03 all'allegato II par. 5.1:

*“Obiettivo del monitoraggio è quello di rilevare tempestivamente eventuali situazioni di inquinamento delle acque sotterranee sicuramente riconducibili alla discarica, al fine di adottare le necessarie misure correttive.”.*

E' chiaro che gli obiettivi del piano di monitoraggio e controllo non sono quelli di determinare in assoluto la qualità delle matrici circostanti l'area del sedime della discarica ma bensì quelli di individuare ed intercettare eventuali problemi all'impianto e porvi tempestivamente rimedio attraverso misure straordinarie già previste nel sistema di gestione.

La direttiva 1999/31/CE o "discariche" (allegato III, paragrafo 4 punto C), precisa in particolare che *“significativi effetti sull'ambiente (...) si sono verificati nelle acque freatiche quando un campione di acqua freatica rivela una variazione significativa della qualità dell'acqua”*, mentre il D.Lgs. n° 36/03, di recepimento della direttiva stessa (allegato II paragrafo 5.1), specifica che *“Obiettivo del monitoraggio è quello di rilevare tempestivamente eventuali situazioni di inquinamento delle acque sotterranee sicuramente riconducibili alla discarica, al fine di adottare le necessarie misure correttive.”.*

Il D.Lgs. 36/03 quindi, sembra prendere in considerazione solo situazioni di inquinamento in atto, ovvero superamenti delle attuali CSC previste dal D.Lgs. 152/06 mentre la Direttiva 1999/31 considera anche *“variazioni significative della qualità dell'acqua”*.

Si sottolinea comunque che per *“rilevare tempestivamente eventuali situazioni di inquinamento”*, è estremamente utile riconoscere *“variazioni significative della qualità dell'acqua”*, individuando come indicatori, sostanze che hanno le caratteristiche di essere:

- particolarmente abbondanti nel percolato
- e decisamente più mobili degli inquinanti che si desidera rilevare con tempestività.

La capacità di interpretare variazioni significative della qualità dell'acqua, assicura inoltre di distinguere eventuali plume di contaminazione *“sicuramente riconducibili alla discarica”* da plume generati da altre sorgenti di contaminazione evitando così di avviare

impropriamente procedure di bonifica che terminerebbero ovviamente con la fase di caratterizzazione.

Relativamente alle soglie, la direttiva prevede “...livelli di controllo stabiliti per ciascuno dei pozzi situati a valle. I livelli di controllo devono essere determinati in base alle variazioni locali della qualità delle acque freatiche”, lo stesso concetto è ribadito anche dal D.Lgs. n. 36/03 che stabilisce: “I livelli di controllo devono essere determinati in base alle variazioni locali della qualità delle acque freatiche”.

Si ritiene importante sottolineare che il rispetto da parte del Gestore di una procedura condivisa con gli Enti di controllo inserita nell’AIA, è a tutela del Gestore nell’eventualità di un caso di potenziale inquinamento generato dall’impianto di discarica.

Sulla base degli obiettivi del monitoraggio sarebbe quindi importante definire i criteri per determinare una situazione di inquinamento ed i criteri per collegare tale inquinamento alla discarica:

- Pare non opportuno lasciare tale discrezionalità alla procedura siti contaminati innescandola al superamento dei limiti di guardia o delle CSC. Entrare in un procedimento di bonifica solo per verificare la natura di un’anomalia risulta spesso inutilmente dispendioso ed eccessivamente vincolante.
- La creazione di un piano di monitoraggio e controllo (PMC) suppone l’esecuzione e la validazione di un quadro tecnico dell’area interessata sulla base del quale si determina in origine se il superamento di alcune CSC è indicativo di potenziale contaminazione o meno da parte della discarica. Una volta approvato il piano è implicito che nei punti di controllo dallo stesso contemplati al fine di confermare l’avvio del procedimento di bonifica, si seguirà la procedura ivi concordata.
- Esistono diversi casi di procedimenti di bonifica avviati nonostante l’esistenza di un PMC, cosa che spesso viene attribuita ad un gap nella norma di competenza. Un esempio di strategia volta a superare potenziali incongruenze (o anomalie) derivanti da un ingiustificato eccesso di cautela nell’interpretazione della norma, per gli impianti dotati di AIA, è quello di integrare nell’autorizzazione una endoprocedura tecnico-operativa atta ad effettuare le opportune verifiche all’interno delle competenze dell’AIA stessa, senza entrare nel complesso (ed inappropriato) regime siti contaminati. Si riportano al par. 2.3. alcuni esempi di endoprocedure in merito.

## 2.2. PROPOSTA DI METODOLOGIA TECNICA PER DETERMINARE I LIVELLI DI GUARDIA

Nel presente paragrafo si riporta una proposta di metodologia tecnica per determinare i livelli di guardia. Si evidenzia che l'approccio generale qui di seguito presentato deve essere necessariamente adattato al contesto sito-specifico in cui viene applicato.

In particolare, la procedura prevede le seguenti fasi:

- 1) **DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO** (v. par. 2.2.1) attraverso:
  - a. caratterizzazione del percolato;
  - b. caratterizzazione degli acquiferi (concentrazione di fondo)
  - c. ubicazione e descrizione delle possibili sorgenti di contaminazione e vie di migrazione
  
- 2) **SCELTA DEI MARKERS** (v. par. 2.2.2) tenendo conto delle seguenti caratteristiche e proprietà delle sostanze:
  - a. mobilità delle sostanze (valore del coefficiente di ripartizione  $K_d$ )
  - b. concentrazione differenziale percolato/falda
  - c. incorrelazione con altre sostanze individuate come marker
  
- 3) **MATRICE DI VALUTAZIONE** (v. par. 2.2.3) che si compone di:
  - a. calcolo soglie di controllo e di guardia;
  - b. criteri di valutazione;
  - c. matrice degli interventi.

Nei seguenti paragrafi si descrivono in dettaglio le fasi sopraindicate della metodologia in oggetto.

### 2.2.1 Modello concettuale del sito

La formulazione del MCS consiste nella caratterizzazione degli elementi principali che lo costituiscono ed in particolare:

- a) caratterizzazione del percolato (sorgente): prevede l'identificazione di sostanze presenti con una certa continuità nel tempo; tali sostanze sono da individuare come potenziali traccianti di eventuali perdite di percolato dal corpo della discarica e da comprendere in un profilo analitico da utilizzare per l'accertamento di eventuali situazioni di inquinamento causato da eventi "*sicuramente riconducibili alla discarica*";

- b) caratterizzazione degli acquiferi: consiste nella determinazione analitica delle medesime sostanze rilevate nel percolato. Se del caso, occorre inoltre determinare i valori di concentrazione di fondo da utilizzare in luogo delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), in caso di superamento dei limiti normativi in condizione di “bianco” (ante-operam o monte idrogeologico del sito impiantistico). In particolare, la caratterizzazione degli acquiferi deve riguardare la falda superficiale o prima falda che costituisce la prima componente ambientale ad essere interessata da eventuali dispersioni nel suolo di sostanze legate alla presenza di rifiuti e può essere in comunicazione con falde profonde di maggior pregio (acque idropotabili);
- c) vie di migrazione: prevede la determinazione di parametri sito specifici per analizzare la ripartizione degli inquinanti nel mezzo saturo e insaturo e conoscere, tramite modellizzazione, il tempo di arrivo al bersaglio (acquiferi vulnerabili).

Al fine della definizione del MCS, si ritiene di fondamentale importanza l'elaborazione di un modello idrogeologico sito-specifico di dettaglio per comprendere il reale percorso delle acque sotterranee e del trasporto di contaminanti; la progettazione del sistema di monitoraggio delle acque sotterranee che descrive gli impatti della discarica sull'ambiente circostante può essere realizzata solo a seguito della conoscenza approfondita della natura geologica e idrogeologica del suolo e del sottosuolo che definisca le condizioni idrodinamiche delle falde nell'intorno dell'impianto di discarica.

### 2.2.2 Scelta dei markers

I markers, per servire da “traccianti” nel percorso di migrazione tra sorgente e bersaglio, devono quindi soddisfare i requisiti richiesti dalle normative europea e nazionale, ovvero *rilevare tempestivamente situazioni di inquinamento sicuramente riconducibili alla discarica*.

Per la scelta dei markers, il primo aspetto da considerare è:

#### **a) mobilità delle sostanze (valore del coefficiente di ripartizione $K_d$ )**

La differente mobilità nel mezzo insaturo/saturo dei composti presenti nel percolato è inversamente proporzionale al valore di  $K_d$  (coefficiente di ripartizione della sostanza nel generico strato minerale). In caso di fuoriuscita di percolato, le prime sostanze che raggiungono il bersaglio sono quindi quelle che hanno un basso/nulla  $K_d$ , mentre valori alti di tale parametro indicano la tendenza del composto a legarsi alla matrice solida piuttosto che a restare in soluzione, aumentando quello che viene definito “fattore di ritardo”. Il coefficiente di ripartizione è un parametro sito-specifico e per alcuni parametri, ad es. i metalli, è fortemente influenzato dal pH del mezzo insaturo. Tra le sostanze con basso valore di  $K_d$ , troviamo gli anioni (es. cloruri, solfati, ammoniaca, nitrati, fosfati) e

alcuni cationi (es. potassio, sodio, magnesio). Tra le sostanze con Kd alto troviamo i metalli, come mostrato a titolo esemplificativo in tabella 2.1 (utilizzata in termini di valori di default nel software LandSim). Dalla stessa tabella emerge anche che per alcune sostanze il valore di Kd è nullo.

Tab. 2.1 – Esempio di valori del coefficiente di ripartizione (Kd) (Fonte: Manuale del software LandSim)

Species	Kd [l/kg]		Species	Kd [l/kg]	
	minimum	maximum		minimum	maximum
Ammoniacal_N	0.5	2	Manganese	3	810
Arsenic	25	250	Mercury	450	3835
Cadmium	1.6	1500	Nickel	20	800
Calcium	5	30	Nitrate	0	0
Chloride	0	0	Nitrate	0	0
Chromium	0	4400	Phosphate	0	0
Copper	40	27500	Potassium	0	0
Fatty acids	0	0	Sodium	0	0
Iron	1	40000	Sulphate	0	0
Lead	27	2.7e5	Zinc	1	600
Magnesium	0				

Da quanto sopra evidenziato, si evince che solo una piccola parte di tali sostanze obbligatorie ai sensi del D.Lgs. n° 36/03, può fornire informazioni su eventi di inquinamento riconducibili all'invaso della discarica in tempi brevi (le altre sostanze, caratterizzate da un Kd più elevato, daranno la stessa informazione ma solamente in tempi più lunghi).

Si ritiene, inoltre, utile limitare l'utilizzo di parametri non "percolato-specifici" come pH, conducibilità e COD, alle situazioni in cui sia possibile posizionare sensori immediatamente all'esterno di pacchetti di impermeabilizzazione per ottenere rilevazioni in continuo (*real time*).

Una volta individuati i potenziali markers, in base al valore di Kd, si va a verificare il rispetto dei seguenti requisiti: concentrazione differenziale e non-correlazione con altre sostanze.

### b) concentrazione differenziale percolato/falda

Il problema di dover accertare che una eventuale anomalia sia sicuramente riconducibile all'impianto di discarica, impone inoltre di dover selezionare sostanze che oltre ad essere presenti nel percolato (sorgente primaria di contaminazione), abbiano un elevato delta di concentrazione tra il percolato stesso e le acque sotterranee contenute negli acquiferi bersaglio. In figura 2.1, si riporta un esempio di concentrazione differenziale tra percolato e falda per i parametri ammoniaca, solfati e cloruri.

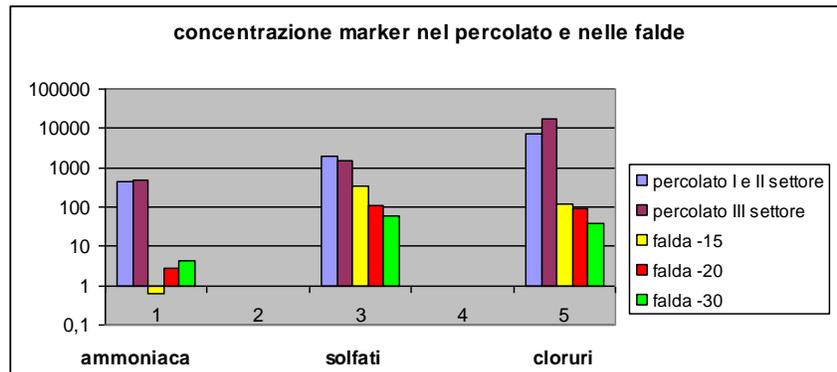


Fig. 2.1 - Istogramma con rappresentazione, in scala logaritmica, delle concentrazioni di percolato e falde relative al MCS di un sito di discarica per rifiuti speciali non pericolosi

### c) incorrelazione con altre sostanze individuate come marker

É importante verificare anche la sostanziale non-correlazione tra i potenziali markers, nella situazione di “bianco”; infatti, nel caso di parametri, la cui concentrazione nel tempo varia in modo coerente, questi fornirebbero una informazione ridondante e quindi fuorviante per il monitoraggio il cui scopo (come scritto sopra) è quello di verificare un aumento simultaneo dei markers che riconduca ad una sorta di impronta digitale/firma spettrale del percolato sorgente di contaminazione.

La correlazione tra i markers si calcola utilizzando l'indice di Pearson:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

dove:

$\sigma_{xy}$  è la covarianza tra x e y

$\sigma_x, \sigma_y$  sono le due deviazioni standard

Il coefficiente assume sempre valori compresi tra -1 e 1:  $-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$

se  $\rho_{xy} > 0$  le variabili x e y si dicono direttamente correlate, oppure *correlate positivamente*

se  $\rho_{xy} = 0$  le variabili x e y si dicono direttamente incorrelate

se  $\rho_{xy} < 0$  le variabili x e y si dicono inversamente correlate, oppure *correlate negativamente*.

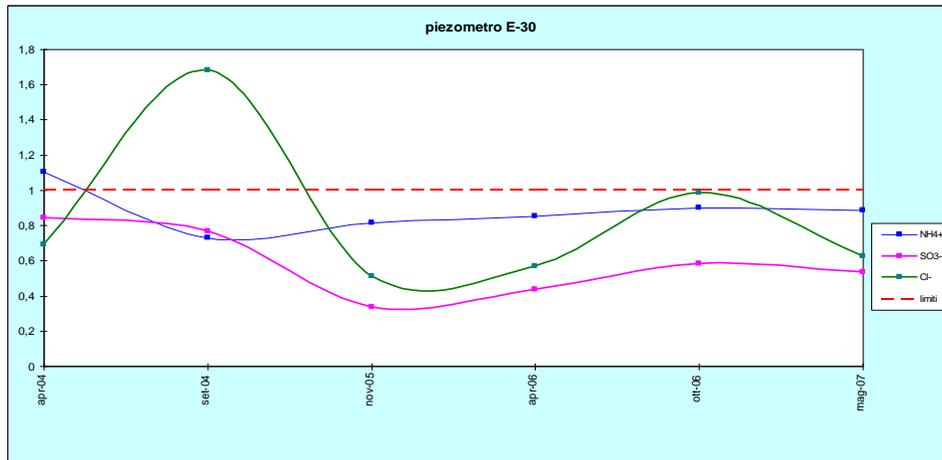


Fig. 2.2 - Rappresentazione della serie temporale di valori di concentrazione (normalizzati alle soglie) dei marker in un piezometro in condizioni di bianco.

In estrema sintesi i parametri da individuare come **markers** devono avere le seguenti caratteristiche:

- elevata mobilità nel mezzo saturo e insaturo (basso o addirittura nullo Kd);
- differenza di concentrazione tra percolato e acque sotterranee di almeno due ordini di grandezza;
- scarsa correlazione con gli altri traccianti del pacchetto, in condizione di bianco.

Si evidenzia, infine, che nella scelta dei marker occorre privilegiare, ove possibile, fra i parametri traccianti nel percorso di migrazione tra sorgente e bersaglio, le sostanze inquinanti persistenti, a tossicità elevata, cancerogene.

### 2.2.3 Matrice di valutazione

Dopo aver individuato le sostanze markers, occorre definire una procedura che permetta di valutare i dati ottenuti con il monitoraggio e definisca gli interventi necessari.

Vengono quindi definiti soglie, criteri ed azioni da inserire in una matrice di valutazione o di intervento che serva da sistema di supporto alle decisioni da adottare nei diversi scenari.

Per ciascun marker vengono definite due soglie: di *controllo* e di *guardia*. Le definizioni “controllo” e “guardia” sono riferite a diversi livelli di intervento che è necessario mettere in atto al superamento dei relativi valori<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> È possibile anche adottare un unico valore, sulla base del contesto nel quale viene applicata la procedura

Occorre, comunque, tenere in giusta considerazione la variabile temporale: difficilmente un evento significativo (non necessariamente una situazione di inquinamento) si manifesta in modo repentino (occorre tenere conto della mobilità delle sostanze). Bisogna, quindi, accertare che l'anomalia rilevata sia persistente.

Nella definizione di tali livelli, si considerano i dati del monitoraggio degli acquiferi e i relativi andamenti nel periodo di osservazione “*ante-operam*”.

### **a) calcolo delle soglie di controllo e di guardia**

#### livelli di controllo

Le soglie di controllo servono a rilevare in modo tempestivo situazioni potenzialmente anomale.

A partire dal set di dati a disposizione, si individua un *range* in cui le fluttuazioni dei valori di concentrazione dei markers siano ritenuti “normali”. Il *range* è individuato tenendo conto dei valori più frequenti e quindi con la massima probabilità di essere osservati. Si tratta di definire i margini all'interno dei quali le variazioni di concentrazione nelle acque sotterranee (dovute a fattori naturali o a pressioni antropiche estranee al sito in esame) possano essere considerate poco significative.

I valori più probabili vengono individuati sulla base della tipologia di distribuzione associata alla popolazione di provenienza:

- A) in caso di distribuzione normale o quantomeno simmetrica, il valore più probabile è la media;
- B) nel caso, invece, in cui la distribuzione sia asimmetrica, in luogo della media, occorre utilizzare la mediana, che ha inoltre il vantaggio di non subire gli effetti negativi di eventuali *outliers*.

Nella presente procedura, viene scelta come soglia di guardia, il margine superiore dell'intervallo di confidenza relativo all'indice di tendenza centrale più adeguato alla distribuzione.

Il margine superiore dell'intervallo di confidenza relativo all'indice di tendenza centrale più significativo per quel tipo di distribuzione (media o mediana), permette di individuare con un determinato livello di significatività, la presenza di situazioni anomale per il set di dati individuato.

La stima dell'indice, viene effettuata per intervallo, in modo che nella definizione del range ottenuto siano tenuti in considerazione i suddetti parametri:

- numerosità del set di dati;
- livello di confidenza;
- variabilità (solo nel caso della media).

Caso A)

Qualora la **distribuzione sia assimilabile alla normale o quantomeno simmetrica**, si utilizza come indice la media, utilizzando come stimatore il metodo parametrico:

$$me = \bar{X} \pm t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

dove:

$\bar{X}$  = media delle osservazioni

$t_{\alpha/2}$  = gradi di libertà alla probabilità  $\alpha$  in una distribuzione bilaterale

S = deviazione standard campionaria

n = numero di osservazioni

Caso B)

Se la **distribuzione è asimmetrica** occorre utilizzare come indice la mediana e come stimatore un metodo non parametrico perché con questa tipologia di distribuzione risulta più efficiente e spesso restituisce intervalli più ristretti che rispettano inoltre l'asimmetria della distribuzione.

Un metodo non parametrico per la stima dell'intervallo di confidenza della mediana è il T di Wilcoxon, basato sulle medie di Walsh ed i valori critici T di Wilcoxon.

Questo metodo consente di calcolare la tendenza centrale (come pseudo-mediana) e l'intervallo di confidenza ad una data probabilità.

Per set di dati con  $n > 30$  l'intervallo di confidenza per la mediana può essere calcolato con i "normal scores" con la seguente formula:

$$me = \frac{n+1}{2} \pm Z_{\alpha/2} * 0,5\sqrt{n}$$

dove:

n = numero di valori del dataset

$Z_{\alpha/2}$  è il valore di Z corrispondente alla probabilità  $\alpha$  in una distribuzione bilaterale: con  $\alpha = 0.05$  il valore  $Z_{\alpha/2}$  è pari a 1.96.

I valori dell'intervallo di confidenza della mediana sono quelli corrispondenti al rango calcolato con la formula.

Qualora non sia possibile stabilire a priori il tipo di distribuzione dei dati (simmetrica o asimmetrica), occorre confrontare i risultati ottenuti in termini di livello di confidenza. **Il metodo più efficiente è quello che restituisce l'intervallo più stretto a parità di livello di confidenza.**

Nella tabella seguente si riporta una sintesi di quanto sopra visto.

Tab. 2.2 – Metodo di calcolo delle soglie di controllo

Caso	Distribuzione	Indice da usarsi	Metodo stimatore
A	assimilabile alla normale o quantomeno simmetrica	Media	parametrico
B	asimmetrica	Mediana	non parametrico

Si evidenzia che la metodologia di calcolo sopraindicata è differente dalla metodologia utilizzata da ISPRA nel “*Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee*” – Aprile 2009 che stima le concentrazioni di fondo calcolando il 90°/95° percentile in quanto è differente la finalità: nel caso proposto da ISPRA, infatti, tale metodologia viene utilizzata per individuare i valori (superiori alle CSC) da utilizzare in luogo delle CSC nel caso in cui la maggior concentrazione di determinate sostanze sia causata da fattori naturali o da inquinamento diffuso.

### Soglie di guardia

Gli eventi significativi, nella maggioranza dei casi, dovrebbero essere evidenziati dalle soglie di controllo, mentre le soglie di guardia dovrebbero solo confermare una situazione di potenziale impatto.

Le soglie in questo caso vengono calcolate con criteri meno conservativi, quindi ci si sposta sensibilmente da quelli più probabili. Ad esempio:

- media + 1,645\*S (nel caso di distribuzione vicina alla normale  $\approx$  5% prob. di superamento) - distribuzione simmetrica;
- 90° o 95° percentile (con distribuzioni log-normali  $\approx$  10% o 5% prob. di superamento) - distribuzione asimmetrica;

dove:

S = deviazione standard campionaria

### **b) Criteri di valutazione**

Al fine di perseguire efficacemente l'obiettivo del monitoraggio, ovvero accertare l'esistenza di eventuali contaminazioni della falda dovute a perdite di percolato dal corpo della discarica, si ritiene **significativo considerare la variazione contemporanea dei marker individuati**. L'esperienza ha evidenziato la scarsa utilità di seguire le singole fluttuazioni di ogni marker, in quanto un'eventuale perdita di percolato provocherebbe l'innalzamento contemporaneo delle sostanze presenti in modo massiccio nel percolato (e tra queste i nostri “traccianti”), si ritiene quindi significativo considerare come “segnali rilevanti” solo incrementi di concentrazione simultanei e persistenti delle sostanze individuate come markers.

I criteri di valutazione delle soglie che permettono di individuare un evento significativo sono due:

1. contemporaneità della situazione di superamento delle soglie per tutti i markers individuati;
2. persistenza di tale situazione nel tempo.

Con questi criteri, possiamo ottenere uno strumento di valutazione sia sensibile che selettivo:

- **sensibile** perché il fatto di prendere in considerazione esclusivamente il superamento contemporaneo dei markers, permette di mantenere soglie molto basse ed in grado quindi di evidenziare tempestivamente situazioni anomale (evitando i falsi allarmi provocati dalle normali oscillazioni di concentrazione delle singole sostanze);
- **selettivo** perché la persistenza di un contemporaneo superamento delle soglie, evidenzia con elevata probabilità il “contributo” del percolato.

La normativa sottolinea l'importanza della tempestività nel rilevare anomalie significative, al fine di mettere in atto misure di precauzione e limitare quindi gli impatti. Come già descritto nei punti precedenti, nella valutazione di eventuali effetti significativi sicuramente riconducibili alla discarica, deve essere tenuto in giusta considerazione il fattore tempo.

In contesti caratterizzati da litologie a bassa permeabilità, ci si aspetta ovviamente un incremento graduale della concentrazione dei markers in falda, mentre è abbastanza improbabile rilevare sostanze, come i metalli pesanti, che a causa di un Kd più elevato sono caratterizzati da un alto valore del “fattore ritardo”.

Con litologie più permeabili (conducibilità idraulica pari a  $10^{-1} \div 10^{-3}$  m/s), ci si aspetta ovviamente che eventuali perdite di percolato possano evidenziarsi molto più rapidamente.

Queste due situazioni limite richiedono un sistema di supporto alle decisioni che permetta di graduare gli interventi a seconda della loro gravità. Se da un lato è inefficiente prevedere procedure di intervento finalizzate ad approfondire eventi poco significativi, dall'altro non è opportuno rallentare interventi che debbono essere messi in opera con urgenza.

### c) Matrice/Piano degli interventi

La matrice o piano di intervento individua le azioni da intraprendere nelle diverse situazioni di superamento dei livelli di controllo e/o allarme. Può essere sviluppata su due livelli di soglie consentendo di adeguare la celerità di intervento all'importanza dell'evento verificato (in termini di incremento di concentrazione dei markers). Avere 2 livelli di soglia permette di approfondire la conoscenza della situazione in essere nel caso del superamento della prima soglia e mettere in atto eventuali azioni solo al superamento della seconda soglia.

**Il superamento delle soglie sopra specificate deve avvenire contemporaneamente per tutti i marker individuati**, nel caso in cui il superamento sia limitato ad un numero di marker inferiori, non viene previsto alcun intervento<sup>2</sup>.

Tab. 2.3 – Matrice di intervento

soglie	1°superamento	2°sup.	3°sup.	4°sup.
<b>controllo</b>	ripetizione nel piezo entro xx gg	ripetizione nel piezo ogni xx gg fino al rientro soglie	Allargamento della verifica a tutti i piezometri e ripetizione ogni xx gg fino al rientro soglie	<b>piano di approfondimento</b>
<b>guardia</b>	ripetizione nel piezo entro xx gg	<b>piano di approfondimento</b>		

### 2.2.4 Possibile piano di monitoraggio

Come detto in premessa, si ricorda, comunque, che il monitoraggio periodico dei marker così ottenuti non può sostituirsi ai monitoraggi (parametri e tempistiche minime) obbligatori previsti dal D.Lgs. n. 36/2003 sia in fase operativa che post-operativa (si veda la tab. 1 e tab. 2 dell'allegato 2 al D.Lgs. in oggetto).

D'altro canto, comunque, l'utilizzo di tali marker può permettere l'adozione di tempistiche non eccessivamente stringenti sui parametri previsti dalla normativa vigente concentrando, tali obblighi normativi, su un numero ridotto di piezometri a valle, proprio per le motivazioni espresse precedentemente.

A mero titolo di esempio (si ricorda che qualsiasi decisione deve essere sempre contestualizzata nella situazione specifica), si riporta nello schema di seguito un possibile piano di monitoraggio delle acque sotterranee relativo a una discarica in fase operativa.

Tab. 2.4 – Esempio piano di monitoraggio acque sotterranee (fase operativa)

Parametri	Frequenza minima	Note
Marker	Mensile	Su tutti i piezometri
* Parametri fondamentali (tab. 1, allegato 2 del D.Lgs. n. 36/2003)	Trimestrale	Sui piezometri ritenuti maggiormente significativi (piezometri di valle)
Tutti gli altri parametri (tab. 1)	Annuale	

<sup>2</sup> cautelativamente si può comunque ipotizzare anche l'intervento nel momento in cui si evidenzia un superamento **persistente** per la maggioranza dei marker (ad es. 2 su 3)

Si evidenzia che per discariche collocate in aree ad elevata permeabilità, i monitoraggi delle acque sotterranee dovranno essere più approfonditi e frequenti rispetto al caso di impianti ubicati in aree con litologie impermeabili.

## 2.3. ESEMPI DI APPLICAZIONE

### 2.3.1 Caso A (discarica su litologia a bassa permeabilità)

Discarica per rifiuti non pericolosi su litologia a bassa permeabilità.

#### Fase 1 - Caratterizzazione percolato e falda(e) bersaglio

Nella tabella seguente vengono riportati, limitatamente a sostanze con basso Kd, i valori di concentrazione rilevati nella potenziale sorgente primaria di contaminazione (percolato) e nel ricettore (falda).

Vengono prese in considerazione le sostanze che presentano una concentrazione differenziale (percolato/falda) pari ad almeno un ordine di grandezza, quindi Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>.

Tab. 2.5 – Concentrazione nella falda e nel percolato espressa in mg/l

PARAMETRI	Percolato				Falda			
	MEDIA	MEDIANA	95°perc	max	MEDIA	MEDIANA	95°perc	max
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	437,7	425,0	745,5	764,0	4,4	4,8	7,3	7,8
PO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	2,9	0,8	12,6	27,0	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Cl <sup>-</sup>	7007,2	5580,0	11859,6	43650,0	38,9	27,5	95,8	229,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1935,2	1430,0	5572,5	7170,0	57,7	50,5	151,0	199,0

#### Fase 2 - Verifica della correlazione tra markers

Nella tabella seguente vengono riportati i valori del coefficiente  $\rho_{xy}$  per ogni coppia di markers

Tab. 2.6 – Valori del coefficiente  $\rho_{xy}$

	cloruri	solforati	ammoniaca
cloruri		-0,02	-0,14
solforati			-0,21
ammoniaca			

I valori evidenziano la sostanziale incorrelazione tra i markers, di conseguenza non c'è ridondanza di informazione, come si può notare anche nel grafico seguente ottenuto sulla base delle serie storiche dei vari piezometri.

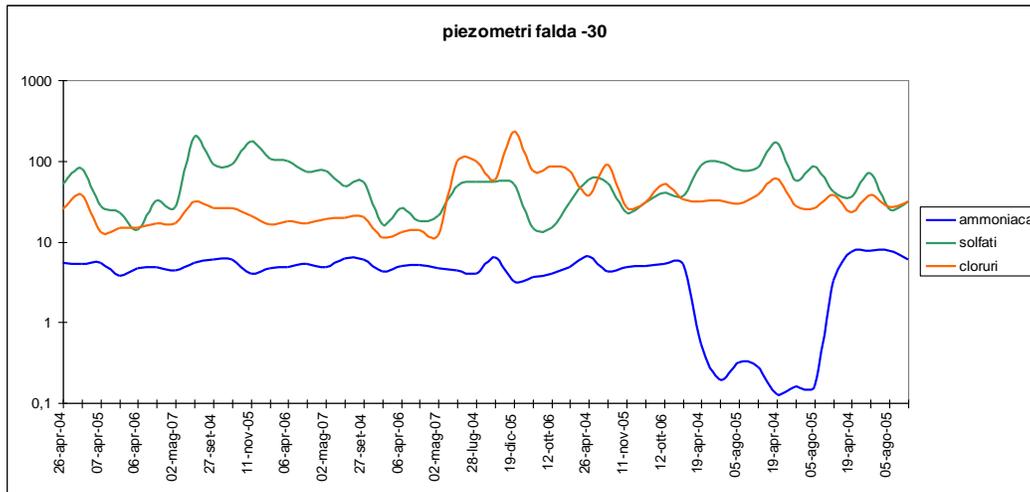
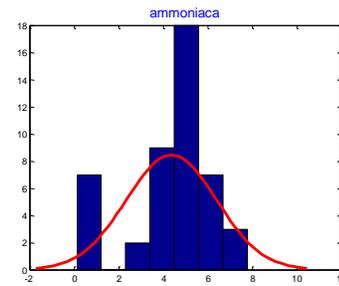
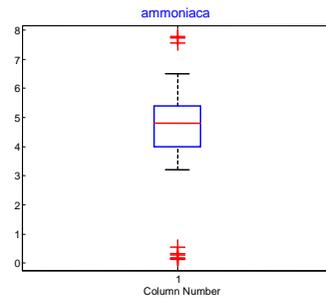


Fig. 2.3 - Andamento dei valori di concentrazione dei marker nei piezometri relativi alla falda confinata (mg/l)

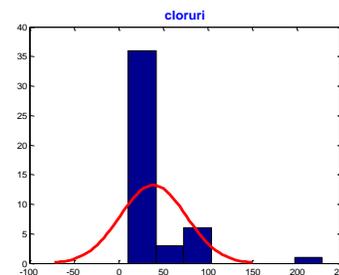
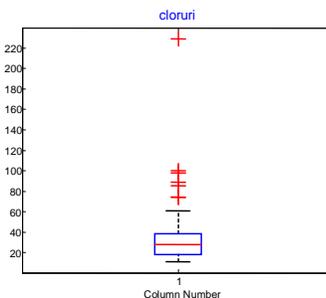
### Fase 3 - Calcolo delle soglie

Per selezionare il metodo statistico più efficace per il nostro scopo, osserviamo la distribuzione di frequenza dei set di dati relativi ai nostri markers.

media 4,4  
 mediana 4,8  
 asimmetria -0,9  
 min 0,1  
 max 7,8



media 38,9  
 mediana 27,5  
 asimmetria 3,4  
 min 11,0  
 max 229,0



media	58,3
mediana	50,5
asimmetria	1,6
min	14,0
max	199,0

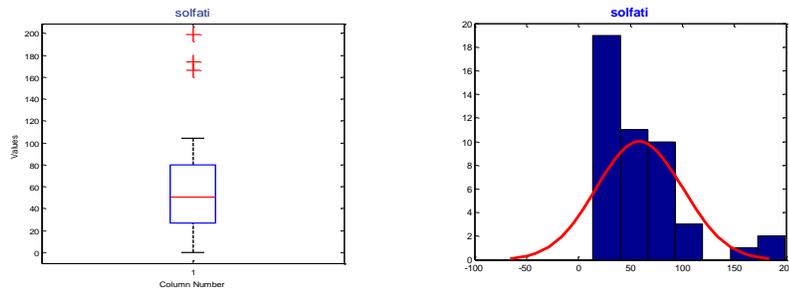


Fig. 2.4 - Distribuzione di frequenza dei set di dati dei markers (conc. in mg/l)

L'evidente asimmetria dei set di dati relativi ai markers individuati, rende opportuna la scelta di indici basati su percentili ed in particolare:

- l'intervallo di confidenza della mediana per le soglie di controllo;
- il 90° percentile per le soglie di guardia;

Il primo indice può essere calcolato con il metodo descritto al punto 2.2.3.a, in quanto disponiamo di un set di dati con una numerosità adeguata ( $n > 30$ ).

Con la formula dei "normal scores", calcoliamo quindi **il margine superiore dell'intervallo di confidenza della (pseudo)mediana.**

$$me = \frac{n+1}{2} \pm Z_{\alpha/2} * 0,5\sqrt{n}$$

otteniamo quindi i seguenti valori:

Tab. 2.7 – livelli di controllo e di guardia (mg/l)

	controllo	guardia
cloruri	32,0	79,5
solfati	58,0	97,5
ammoniaca	5,2	6,3

Per verificare la sostenibilità della metodologia (occorre raggiungere un compromesso tra sensibilità della metodologia e probabilità di un superamento contemporaneo delle tre soglie puramente "casuale"), verifichiamo quale sarebbe stato l'effetto del sistema di soglie in termini di onerosità di risorse per gestire il monitoraggio in un arco temporale di 10 anni (per un totale di n°223 campioni).

Nella tabella seguente viene evidenziato il numero dei singoli superamenti di soglia dovuta alla normale fluttuazione della concentrazione in falda delle sostanze nel tempo.

Tab. 2.8 – frequenza di superamento

	controllo	guardia
1 marker	119	55
2 markers	42	0
3 markers	1	0

Il grafico successivo rappresenta la serie temporale dei singoli superamenti e delle eventuali azioni che andrebbero intraprese applicando la matrice degli interventi descritta precedentemente.

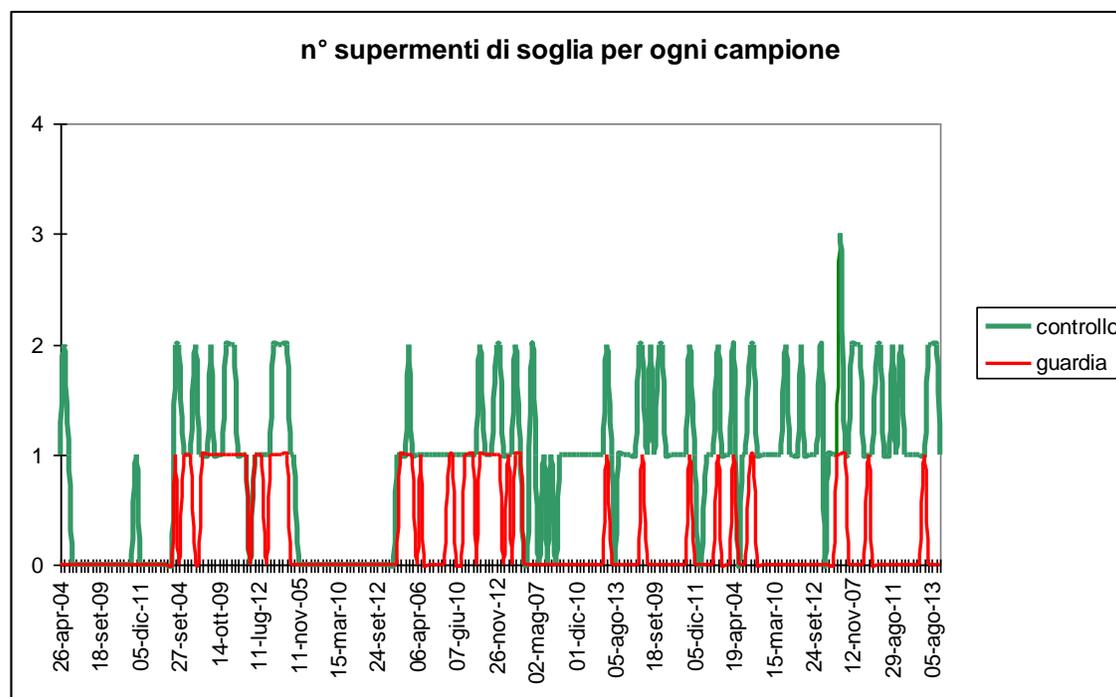


Fig. 2.5 – andamento dei superamenti delle soglie di controllo e di guardia

I tre superamenti contemporanei delle soglie di guardia avrebbero causato, in un arco temporale di 10 anni di monitoraggio (2004-2013), la necessità di ripetere il controllo una sola volta nel piezometro in cui questo evento si è verificato (ovviamente per effetto della casualità, dal momento che non è stato confermato dai campionamenti successivi).

### 2.3.2 Caso B (discarica su litologia ad alta permeabilità)

Discarica di rifiuti non pericolosi in cui la litologia prevalente della zona è caratterizzata da ghiaia con presenza di una debole matrice sabbiosa.

#### Fase 1 - Caratterizzazione percolato e falda(e) bersaglio

Nella tabella seguente vengono riportati, limitatamente a sostanze con basso  $K_d$ , i valori di concentrazione rilevati nella potenziale sorgente primaria di contaminazione (percolato) e nel ricettore (falda).

Vengono prese in considerazione le sostanze che presentano una concentrazione differenziale (percolato/falda) pari ad almeno un ordine di grandezza, quindi  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ .

Tab. 2.9 – Concentrazione nella falda e nel percolato espressa in mg/l

PARAMETRI	Percolato				Falda (monte)			
	MEDIA	MEDIANA	95°perc	max	MEDIA	MEDIANA	95°perc	max
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20,4	13,5	51,5	83,2	< l.r.	< l.r.	< l.r.	< l.r.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,1	2,4	3,2	3,5	49,5	49,5	60,0	66,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,9	0,7	1,9	2,0	47,5	47,5	58,8	64,9
Cl <sup>-</sup>	1663	1269	3147	3351	12,1	10,2	27,6	35,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	458,8	456,0	712,4	757,0	24,3	24,2	28,1	39,7
K <sup>+</sup>	58,0	33,0	138,5	220,0	2,0	1,9	2,5	5,8
Na <sup>+</sup>	739,3	760,5	1263,1	1306,0	10,0	8,1	11,9	72,0

### Fase 2 - Verifica della correlazione tra markers

Nella tabella seguente vengono riportati i valori del coefficiente  $\rho_{xy}$  per ogni coppia di markers

Tab. 2.10 – Valori del coefficiente  $\rho_{xy}$ 

	cloruri	solforati	sodio	potassio
cloruri	/	0,19	-0,05	-0,06
solforati		/	-0,02	-0,11
sodio			/	0,90
potassio				/

Il valore 0,90 evidenzia una forte correlazione tra sodio e potassio, quindi questi parametri sono condizionati dalle stesse variabili. Per evitare ridondanza di informazione deve esserne selezionato solo uno come marker.

Si sceglie di eliminare il potassio in quanto ha una minor concentrazione “differenziale” rispetto al sodio.

La correlazione tra sodio e potassio è visibile dal grafico sottostante, dove si riporta la media delle concentrazioni dei marker rilevati nei due piezometri di monte della discarica.

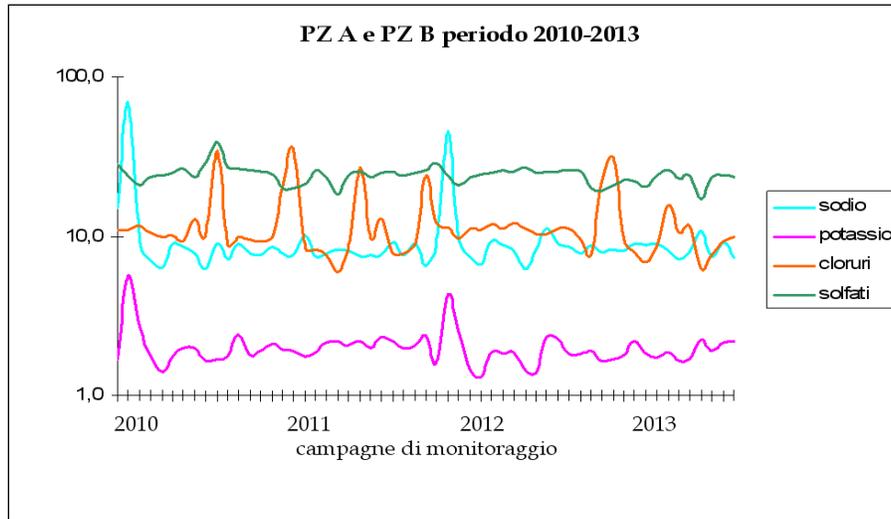
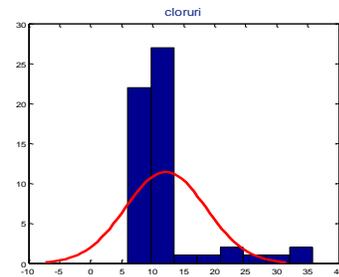
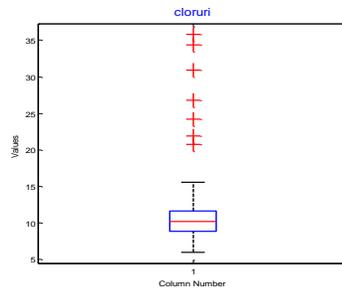


Fig. 2.6 - Andamento dei valori di concentrazione dei marker nei due piezometri a monte della discarica (mg/l)

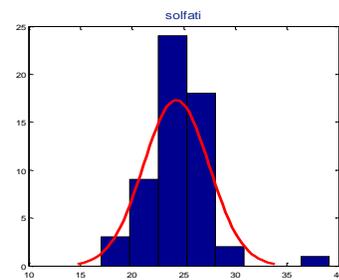
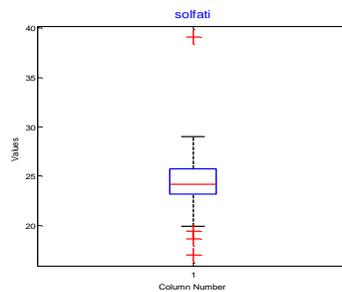
### Fase 3 - Calcolo delle soglie

Per selezionare il metodo statistico più efficace per il nostro scopo, osserviamo la distribuzione di frequenza dei set di dati relativi ai nostri marker.

media 12,1  
 mediana 10,2  
 asimmetria 2,4  
 min 5,0  
 max 35,5



media 24,3  
 mediana 24,2  
 asimmetria 1,4  
 min 16,0  
 max 39,7



media	21,2
mediana	24,2
asimmetria	-0,3
min	1,5
max	72,0

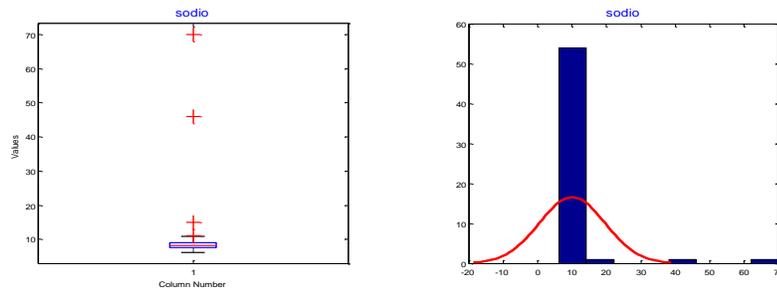


Fig. 2.7 - distribuzione di frequenza dei set di dati dei markers (mg/l)

L'evidente asimmetria dei set di dati relativi ai markers individuati, rende opportuna la scelta di indici basati su percentili ed in particolare:

- l'intervallo di confidenza della mediana per le soglie di guardia;
- il 90° percentile per le soglie di allarme;

Il primo indice può essere calcolato con il metodo descritto al punto 2.2.3.a, in quanto disponiamo di un set di dati con una numerosità adeguata ( $n > 30$ ).

Con la formula dei "normal scores", calcoliamo quindi **il margine superiore dell'intervallo di confidenza della (pseudo)mediana**.

$$me = \frac{n+1}{2} \pm Z_{\alpha/2} * 0,5\sqrt{n}$$

otteniamo quindi i seguenti valori:

Tab. 2.11 – livelli di controllo e di guardia (mg/l)

	<b>controllo</b>	<b>guardia</b>
cloruri	11,20	21,2
solfati	25,3	26,7
potassio	2,0	2,3

Per verificare la sostenibilità dello strumento individuato (occorre raggiungere un compromesso tra sensibilità dello strumento e probabilità di un superamento contemporaneo delle tre soglie puramente "casuale"), verifichiamo quale sarebbe stato l'effetto del sistema di soglie in termini di onerosità di risorse per gestire il monitoraggio. Nella tabella seguente viene evidenziata la frequenza dei singoli superamenti di soglia dovuta alla normale fluttuazione della concentrazione degli sostanze nel tempo.

Tab. 2.11 – frequenza di superamento

	<b>controllo</b>	<b>guardia</b>
1 marker	44	16
2 marker	17	2
3 marker	3	0

Il grafico successivo rappresenta la serie temporale dei singoli superamenti e delle eventuali azioni che andrebbero intraprese applicando la matrice degli interventi descritta precedentemente.

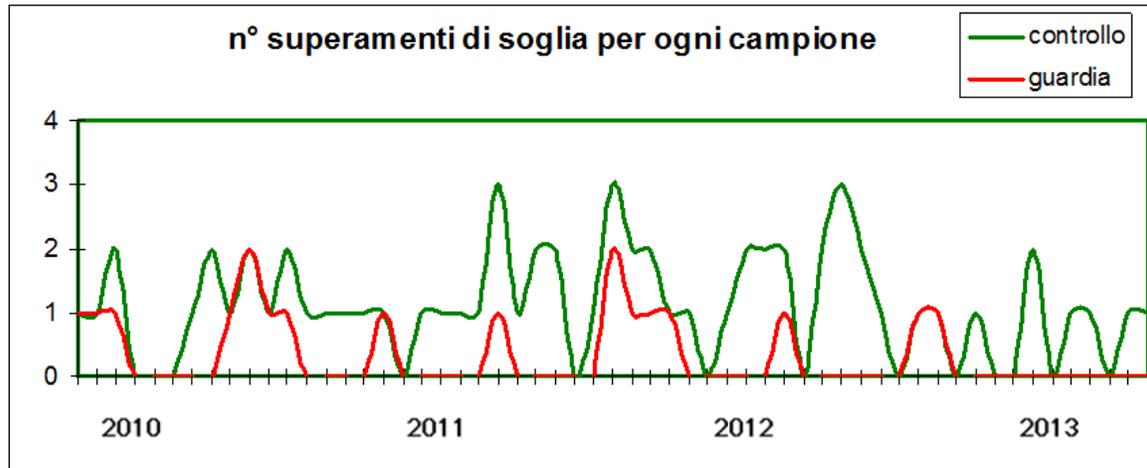


Fig. 2.8 – Andamento dei superamenti delle soglie di guardia e di allarme

I tre superamenti contemporanei delle soglie di controllo avrebbero causato, nel periodo di riferimento considerato (2010 -2013), la necessità di ripetere il controllo nei singoli piezometri che hanno evidenziato, per effetto della casualità, il superamento delle soglie di controllo.

## 2.4. ESEMPI DI INTERPROCEDURE AIA PER LA GESTIONE DEI SUPERAMENTI DEI LIMITI

### 2.4.1 Esempio n. 1

In caso di raggiungimento del livello di controllo e di guardia per le acque sotterranee anche per un singolo parametro, il Gestore è tenuto a utilizzare la seguente procedura, in modo da escludere che ciò non sia da imputare all'esercizio della discarica:

1. Al superamento dei livelli di guardia, anche per un solo parametro e in almeno uno dei piezometri di monitoraggio, il gestore dovrà svolgere una nuova analisi su tutti i piezometri, per i soli parametri che hanno superato i livelli di guardia (oltre a pH, temperatura)
2. Nel caso in cui i risultati delle nuove analisi di cui al precedente punto 1 NON confermino il superamento dei livelli di guardia, il Gestore dovrà inviare all'Autorità Competente, Provincia, Comune, ARPA e AUSL, una comunicazione, con allegate le copie di tali referti analitici

3. Nel caso in cui, invece, i risultati delle nuove analisi di cui al precedente punto 1 confermino il superamento dei livelli di guardia, anche per un solo parametro, il Gestore dovrà rifare una nuova analisi.
4. Nel caso in cui si registrino, per lo stesso parametro e nello stesso piezometro, 3 valori consecutivi superiori al livello di guardia, il Gestore dovrà inviare all'Autorità Competente, Provincia, Comune, ARPA e AUSL, un **piano di indagini tecniche** (p.e. indagini geoprobe) atte ad approfondire il quadro della situazione ambientale nell'intorno dei piezometri in cui è avvenuto il succitato trend di superamento dei livelli di guardia. Il suddetto piano, comprensivo di cronoprogramma dei lavori, dovrà essere approvato dalla Autorità Competente AIA, con eventuali prescrizioni.
5. I risultati derivanti dall'attuazione del piano di indagini, opportunamente validati dall'Autorità AIA, dovranno tenere in considerazione anche i seguenti elementi:
  - concentrazione del parametro nell'eventuale fonte, ovvero nel percolato;
  - concentrazione dei parametri in corrispondenza dei piezometri di monte "bianchi";
  - pH, temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua di falda;
  - livello di falda, gradiente e direzione della falda;dovranno essere inviati alle Autorità Competenti per le opportune valutazioni, e approvazione da parte della A.C. AIA,
6. Nel caso in cui i risultati delle indagini tecniche indichino una correlazione tra i valori degli inquinanti e l'attività di gestione della discarica, il gestore dovrà:
  - attivare immediatamente la procedura di bonifica per l'area esterna al corpo della discarica, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.,
7. Al superamento dei livelli di controllo, in 4 analisi trimestrali successive, anche per un solo parametro e in almeno uno dei piezometri di monitoraggio, si procederà come se vi sia stato il superamento dei livelli di guardia, di cui ai precedenti punti 2-6.

### 2.4.2 Esempio n. 2

Nel caso i controlli analitici periodici sulla falda rilevassero, su uno o più parametri guida, valori di inquinanti superiori ai livelli di guardia indicati nella medesima tabella, il personale addetto alla gestione della discarica provvederà ad eseguire le seguenti operazioni:

1. avvisare immediatamente il Responsabile Tecnico dell'impianto;
2. espurgo del piezometro/piezometri che hanno evidenziato l'anomalia;
3. ripetere immediatamente il controllo analitico sui piezometri interessati estendendo le analisi a tutti i parametri della Tabella sopraccitata;

4. analizzare la qualità dell'acqua di falda a monte, per la verifica di un eventuale inquinamento già presente a monte del sito;
5. ripetizione delle analisi entro una settimana, atte a confermare il trend del valore alterato;
6. nel caso di rientro del valore anomalo, l'anomalia sarà considerata chiusa;
7. nel caso dovesse confermarsi il valore anomalo dovrà essere valutata, mediante la rete di controllo esistente e nuove campagne di analisi, l'effettivo apporto inquinante originato dal corpo discarica in modo da escludere altre cause scatenanti il dato anomalo;
8. qualora si evidenziasse come causa dell'inquinamento in atto la discarica, verranno coinvolte le autorità competenti;
9. intervento di risanamento dell'area:

**Inquinamento puntuale (rilevabile in un solo piezometro):**

- eventuale intensificazione della frequenza di emungimento del percolato dal sottobacino nel quale si è verificata la perdita;
- spurgo in continuo del piezometro contaminato e stoccaggio dell'acqua contaminata in vasche (ad esempio quelle per l'accumulo del percolato), poi smaltita come rifiuto;
- monitoraggio chimico settimanale dei piezometri a valle mediante l'utilizzo di 2/3 parametri-spia, da determinarsi in funzione della tipologia di inquinamento.

**Inquinamento diffuso (in 2 o più piezometri):**

- eventuale intensificazione della frequenza di emungimento del percolato dal sotto-bacino nel quale si è verificata la perdita;
- studio idrogeologico e di modellazione della diffusione del contaminante al fine di valutare la necessità o meno di scavare nuovi pozzi a valle per creare una barriera idraulica;
- nel caso di portate significative di acqua contaminata prelevata, installazione di un impianto di depurazione in sito che tratti tali acque prima del loro scarico entro i limiti di legge nei fossi circostanti nel caso in cui la zona non sia servita da pubblica fognatura;
- monitoraggio chimico settimanale dei piezometri a valle mediante l'utilizzo di 2/3 parametri-spia, da determinarsi in funzione della tipologia di inquinamento.

## 2.5 CONCLUSIONI

La metodologia presentata consente di mettere a punto un sistema di supporto alle decisioni, per la gestione di eventi significativi sicuramente riconducibili a perdite di percolato dal corpo della discarica, che, oltre ad essere sensibile e tempestivo nel rilevare anomalie (valore delle soglie di un ordine di grandezza più basse rispetto a quelle normalmente impiegate in circostanze simili), consente un utilizzo razionale di risorse economiche, in quanto basato sul semplice controllo di pochi parametri (di norma pari a tre) selezionati in base alla mobilità degli stessi nel mezzo insaturo/saturo e alla significativa presenza nel percolato.

Questo ultimo aspetto, la “significativa” presenza nel percolato, è di particolare importanza per evitare di associare plume di contaminazione generati da sorgenti estranee all’impianto di discarica, e di attivare inutilmente eventuali procedimenti di bonifica, onerosi sia per il gestore dell’impianto che per gli enti di controllo.

La ricerca frequente di questi pochi parametri, nel rispetto delle periodicità minime e dei parametri fondamentali previsti dall’allegato 2 del D.Lgs. n. 36/2003, può permettere, come già scritto sopra, un risparmio da un punto di vista economico oltre che il miglioramento dell’efficacia e dell’efficienza del monitoraggio.

La caratterizzazione approfondita della/e falda/e bersaglio è, invece, necessaria per verificare l’eventuale presenza di concentrazioni di fondo naturale o antropizzato relativo a sostanze che essendo presenti anche nel percolato, potrebbero indurre a ipotizzare un inquinamento causato dalla discarica.

La procedura prevede che, quando si verificano eventi classificati come significativi (superamento contemporaneo e persistente di tutti markers), si attivi un approfondimento finalizzato a verificare l’esistenza di una situazione di potenziale contaminazione (confronto con le CSC del D.Lgs. n° 152/06). In questa fase è di fondamentale importanza essere già informati sulla presenza di eventuali concentrazioni di fondo che superano (come impatto generato dalla collettività indifferenziata) i valori tabellari del D.Lgs. 152/06, per evitare di attivare inutilmente procedure di bonifica.

Terminata la fase di caratterizzazione della/e falda/e in situazione di “bianco” (ante-operam), ha poco senso continuare a ricercare per 30-40 anni sostanze che, anche a seguito di fuoriuscita di percolato dal corpo della discarica, si manifesterebbero con grande ritardo rispetto alle sostanze “markers”. Oltre ad uno spreco di risorse economiche, l’analisi di sostanze poco “mobili” e quindi inutili per i fini del monitoraggio “ordinario”, può fornire informazioni fuorvianti che potrebbero indurre ad un abuso del principio di precauzione.

## 3. MATRICE ARIA: DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA E MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA

---

### 3.1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

La questione relativa alle emissioni gassose ed alla qualità dell'aria è trattata al punto 5.4 dell'allegato 2 al D.Lgs. n. 36/2003 in cui si prevede - per le discariche dove sono smaltiti rifiuti biodegradabili e rifiuti contenenti sostanze che possono sviluppare gas o vapori - un monitoraggio delle emissioni gassose (convogliate e diffuse) della discarica stessa, in grado di individuare anche eventuali fughe di gas esterne al corpo della discarica stessa, ovvero problematiche di intrusione di vapori che esponcano al rischio non soltanto i lavoratori della discarica, ma anche eventuali recettori esterni. In tali casi dovranno ovviamente essere adottate delle procedure di intervento da valutare caso per caso.

La disponibilità di una metodologia o procedura di valutazione per la gestione dei dati di monitoraggio del *soil gas* (es. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) e delle emissioni gassose da rifiuti nella zona d'influenza della discarica, la definizione di soglie di guardia e di matrici di procedure di intervento sono dunque necessarie al fine di prevenire l'attivazione di procedure inutilmente onerose e il verificarsi di condizioni a rischio esplosivo.

A questo proposito, **il Piano di Sorveglianza e Controllo di cui allo stesso allegato 2 del D.Lgs. n. 36/2003 deve definire livelli di guardia relativamente alla presenza del gas di discarica all'esterno della discarica, anche nel suolo e nel sottosuolo, nonché contenere un piano d'intervento da realizzare ed attivare in caso di superamento degli stessi.**

Il superamento dei livelli di guardia non configura generalmente una situazione di contaminazione del sito esternamente all'invaso della discarica, a meno che non sia accertato che dipenda dal deterioramento o danneggiamento del sistema barriera con percolazione in falda e migrazione di vapori da falda contaminata.

Si ricorda infine che, come per la matrice acque sotterranee, al fine di poter progettare il sistema di monitoraggio e definire il "Piano di monitoraggio e controllo" della matrice aria è necessario acquisire una serie di dati preliminari che riguardano almeno i seguenti aspetti:

- storia (quantità e tipo di rifiuti smaltiti, età, etc), estensione e profondità della discarica;
- caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del suolo e del sottosuolo;
- localizzazione di sottoservizi e strutture sotterranee che potrebbero costituire vie preferenziali di migrazione;

- meteorologia locale.

### 3.1.1. Emissioni diffuse

Secondo il punto 5.4 dell'allegato 2 al D.Lgs. n. 36/2003, i parametri di monitoraggio sul gas di discarica devono comprendere almeno CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, con regolarità mensile, altri parametri quali H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, polveri totali, NH<sub>3</sub>, mercaptani e composti volatili in relazione alla composizione dei rifiuti. Si deve provvedere, inoltre, a caratterizzare quantitativamente il gas di discarica.

Salvo una diversa prescrizione dell'Autorità di controllo, la qualità dell'aria ("immissioni gassose e pressione atmosferica"), con riferimento ai parametri sopra indicati, e la composizione del gas di discarica devono essere monitorate con frequenza mensile in gestione operativa e semestrale in fase post-operativa.

L'autorità di controllo stabilisce anche eventuali misure per l'identificazione di migrazioni del gas nel suolo e nel sottosuolo.

La valutazione dell'impatto provocato dalle emissioni diffuse della discarica deve essere effettuata con modalità e periodicità definite in sede di autorizzazione. Il numero e l'ubicazione dei siti di prelievo dipendono dalla topografia dell'area da monitorare. Di norma è opportuno prevedere almeno due punti di prelievo lungo la direttrice principale del vento dominante nel momento di campionamento, a monte e a valle della discarica.

Inoltre al punto 5.5 dello stesso allegato 2 al D.Lgs. n. 36/2003, si prevede per le discariche dove sono smaltiti rifiuti di amianto o contenenti amianto, l'utilizzo per il monitoraggio e controllo del parametro "concentrazione di fibre nell'aria". La frequenza delle misure viene fissata all'interno del piano di sorveglianza e controllo, per la valutazione dei risultati si deve fare riferimento al DM 06/09/1994, ed è prevista l'adozione di tecniche analitiche di MOCF (Microscopia Ottica in Contrasto di Fase).

Infine il punto 5.6 prescrive che la discarica sia dotata di una centralina per la rilevazione dei dati meteo climatici ed in particolare precipitazioni, temperatura (minima, massima, 14 h CET), direzione e velocità del vento, evaporazione e umidità atmosferica (14 h CET), salvo una diversa prescrizione dell'autorità di controllo, che può anche imporre per casi particolari la rilevazione in continuo, definendo altresì la modalità e la tipologia di misure.

### 3.1.2 Emissioni convogliate

Occorre tenere presente, con riferimento alle emissioni che, nelle discariche ove sia presente un impianto di recupero e combustione del biogas, l'attività dovrà essere inclusa nell'autorizzazione unica (art. 208 del D.Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii.), ovvero nel provvedimento di AIA (art. 29 sexies), quale attività di recupero R1. Tale operazione può essere effettuata anche in procedura semplificata nel rispetto del DM 05/02/1998 e ss.mm.ii. ed in questo caso il biogas (CER 190699) avviato alla combustione per il recupero energetico dovrà avere le caratteristiche tecniche definite dal punto 2.2

dell'Allegato 2-Suballegato 1 del DM 05/02/1998 e le emissioni dovranno rispettare i limiti definiti dall'Allegato 2-Suballegato 2 del citato DM 05/02/1998.

L'attività di recupero energetico del Biogas, in ottemperanza al DM 05/02/1998 allo stato dell'arte è consentita in impianti di conversione energetica di potenza termica nominale superiore a 0,5 MW che abbiano le caratteristiche definite dal punto 2.3 dell'Allegato 2-Suballegato 1 del DM 05/02/1998. Si precisa che gli impianti di combustione di biogas da discarica, con potenza termica nominale non superiore a 3 MW, sono esclusi dalle autorizzazioni alle emissioni in quanto impianti ed attività in deroga (art. 272 c. 1 e allegato IV alla parte V del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.), solo se l'attività di recupero è stata assoggettata alle procedure autorizzative semplificate. Per l'adesione alle procedure semplificate di cui agli artt. 214 e 216 del D.Lgs. 152/06 il biogas dovrà rispettare i limiti quantitativi massimi riportati nell'Allegato 4 Sub-allegato 2 del DM 05/02/1998. In caso contrario, ossia se l'attività non è assoggettabile alle procedure semplificate, l'AIA o l'autorizzazione unica dovrà ricomprendere l'autorizzazione alle emissioni in atmosfera alle condizioni sopra richiamate<sup>3</sup>.

Si richiamano inoltre il D.Lgs. n. 387/2003 e ss.mm.ii., il DM 10/09/2010 ed il D.Lgs. 28/2011, che includono tra le fonti rinnovabili il biogas da discarica ed ammettono ad incentivazione l'energia elettrica prodotta dalla sua combustione a seguito dell'ottenimento dell'autorizzazione unica di cui all'art. 12 del D.Lgs. n. 387/2003 e ss.mm.ii. oppure della Procedura Abilitativa Semplificata o PAS di cui all'art. 6 del D.Lgs. n. 28/2011.

Si evidenzia che l'attuale assetto normativo ambientale presenta un "vuoto" nel caso in cui il biogas da discarica che rispetti le caratteristiche qualitative definite dal punto 2.2 dell'Allegato 2-Suballegato 1 del DM 05/02/1998 non riesca ad alimentare impianti di potenza termica superiore a 0,5 MW.

In dette condizioni, infatti, non potrà essere autorizzata l'attività di recupero R1 ai sensi del DM 05/02/1998 e pertanto lo stesso biogas dovrebbe essere inviato allo smaltimento in torcia oppure si potrà decidere di cadere nel paradosso di modificare l'autorizzazione e di inquadrare l'attività di combustione del biogas quale attività di incenerimento rifiuti (D10) applicando i limiti emissivi del D.Lgs. n. 133/05 con tutti i limiti applicativi del caso. Con l'avvento del D.Lgs. n. 128/2010, che ha novellato la parte V del D.Lgs. n. 152/06 escludendo le torce dagli impianti ed attività in deroga, la termodistruzione del biogas di discarica in torcia dovrà essere soggetta ad autorizzazione. Pertanto, a causa del vuoto normativo generato dal combinato disposto del D.Lgs. n. 152/06 e del DM 05/02/1998, una possibile soluzione è quella di assimilare l'attività di termodistruzione del biogas in torcia ad attività di incenerimento D10 autorizzandola ai sensi del D.Lgs. n. 133/2005,

---

<sup>3</sup> Sia l'AIA che l'Autorizzazione unica dovranno comunque riportare le autorizzazioni alle emissioni in atmosfera e le modalità gestionali degli impianti. Nel caso in cui si ricada nella fattispecie di "impianto in deroga" comunque i provvedimenti autorizzativi (AIA o Autorizzazione unica) dovranno riportare le caratteristiche degli impianti ed i parametri emissivi da monitorare, le frequenze dei monitoraggi (autocontrolli) di regola annuali e le eventuali prescrizioni.

senza prevedere però alcun limite emissivo ma prescrivendo esclusivamente le modalità gestionali della torcia, tenendo presente che il D.Lgs. n. 133/05 nasce per la combustione di rifiuti solidi e liquidi in impianti dedicati e non per la combustione di rifiuti gassosi in motori endotermici o turbogas, come generalmente avviene per il biogas depurato, ma in particolari condizioni è stato esteso ai rifiuti gassosi con la sentenza della corte di giustizia europea 25/02/2010, causa C-209/08.

L'invio del biogas alla termodistruzione in torcia nelle condizioni anzidette, rappresenta una palese contraddizione con la normativa di incentivazione delle energie da fonti rinnovabili che viceversa non individua soglie minime per gli impianti ammessi all'incentivazione. Pertanto, è evidente che il vuoto legislativo creatosi non consente di fare dialogare le normative del settore energetico con quelle del comparto ambientale che rimane fermo a soluzioni tecnologiche ormai superate.

Nel caso di produzione di biogas da discarica che alimenta impianti di combustione di potenza termica inferiore a 0,5 MW, ciascuna Amministrazione, come anticipato, a causa del vuoto normativo rappresentato, individua il percorso più adatto alla situazione specifica decidendo di estendere l'applicazione delle condizioni dettate dal DM 05/02/1998, oppure decidendo di inquadrare la problematica nell'ambito del D.Lgs. n. 133/2005 con evidenti difficoltà operative.

**La tabella 3.1 sintetizza l'attuale inquadramento normativo per un impianto di produzione di energia elettrica da biogas di discarica a diverse potenze termiche.**

Per le discariche "vecchie" ovvero non adeguate al D.Lgs. n. 36/2003 e dunque chiuse, non sussisteva l'obbligo di utilizzazione energetica del biogas nel caso in cui venivano smaltiti rifiuti biodegradabili, se non praticabile, ma era comunque prescritta la torcia di sicurezza.

Tabella 3.1 – Inquadramento normativo per impianti di produzione di e.e. da biogas

Potenza termica	0 - ≤ 0,5 MW	> 0,5 - ≤ 3 MW	> 3 - ≤ 6 MW	> 6 MW
Procedimento autorizzativo  FER	D.Lgs 387/03 - DM 10/9/2010 D.Lgs 28/2011  Procedura autorizzativa Semplificata per impianti fino ad una potenza elettrica di 1 MWe	D.Lgs 387/03 - DM 10/9/2010 - D.Lgs 28/2011  Procedura autorizzativa Semplificata per impianti fino ad una potenza elettrica di 1 MWe  Autorizzazione Unica per impianti con potenza elettrica superiore ad 1 MWe	D.Lgs 387/03 - DM 10/9/2010 - D.Lgs 28/2011  Autorizzazione Unica	D.Lgs 387/03 - DM 10/9/2010 - D.Lgs 28/2011  Autorizzazione Unica

### 3. Matrice Aria: Definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera

Potenza termica	0 - ≤ 0,5 MW	> 0,5 - ≤ 3 MW	> 3 - ≤ 6 MW	> 6 MW
Procedimento autorizzativo ATTIVITA' DI RECUPERO ED EMISSIONI IN ATMOSFERA	Attività di recupero rifiuti R1? O SMALTIMENTO RIFIUTI D10?  VUOTO NORMATIVO	<p><b>Attività di recupero rifiuti</b> autorizzata in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>procedura semplificata Art 216 D.Lgs 152/06 e DM 05/02/98 (Rif q.tà all. 4 sub all.2)</li> <li>OPPURE</li> <li>Procedura ordinaria Art. 208 D.Lgs 152/06</li> </ul> <p><b>Emissioni</b> Si applica il combinato disposto del DM 05/02/98 e D.Lgs. 152/06 All. IV alla parte V lettera ee)</p>	<p><b>Attività di recupero rifiuti</b> autorizzata in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>procedura semplificata Art 216 D.Lgs 152/06 e DM 05/02/98 (Rif q.tà all. 4 sub all.2)</li> <li>OPPURE</li> <li>Procedura ordinaria Art. 208 D.Lgs 152/06</li> </ul> <p><b>Emissioni</b> Si applica DM 05/02/98</p>	<p><b>Attività di recupero rifiuti</b> autorizzata in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>procedura semplificata Art 216 D.Lgs 152/06 e DM 05/02/98 (Rif q.tà all. 4 sub all.2)</li> <li>OPPURE</li> <li>Procedura ordinaria Art. 208 D.Lgs 152/06</li> </ul> <p><b>Emissioni</b> Si applica il DM 05/02/98 con l'obbligo del monitoraggio in continuo delle emissioni</p>

### 3.2. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DI DISCARICA CON RIFERIMENTO ALLE EMISSIONI

L'inquadramento del sito con riguardo al biogas o ad altri gas che possono generarsi all'interno del corpo discarica dovrà includere:

a) la caratterizzazione del biogas da effettuarsi sulla base della natura dei rifiuti per identificare:

- ✓ presenza e quantità di composti in traccia che siano prodotti con una certa continuità nel tempo; tali sostanze sono da individuare come potenziali traccianti di eventuali perdite di biogas dal corpo della discarica e da comprendere in un profilo analitico da utilizzare per l'accertamento di eventuali situazioni di inquinamento causato da eventi "*sicuramente riconducibili alla discarica*" (il metano infatti potrebbe non essere sufficiente in quanto può essere presente anche per fenomeni naturali);
- ✓ il rapporto tra CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> da utilizzare come marker per stabilire se eventuali gas rinvenuti all'esterno della discarica siano assimilabili a quello prodotto in discarica ovvero provenienti da altre sorgenti. Da dati di letteratura per il biogas da discarica si rinviene un rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> variabile nelle quattro fasi evolutive della composizione del biogas nel tempo ed il *cui rapporto tipico di ogni discarica* è facilmente rinvenibile dal monitoraggio qualitativo mensile. Si riporta di seguito un range di variabilità per il rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> = 1,375÷1,800 desunto da dati di letteratura [1] e calcolabile dalla composizione tipica del biogas di discarica che

ha concentrazioni di CH<sub>4</sub> variabili nella misura di 55%÷65% e per il CO<sub>2</sub> variabili nel range 35%÷40%;

- b) la caratterizzazione del *soil-gas*: consiste nella determinazione analitica delle medesime sostanze presenti nel biogas. Se del caso, occorre inoltre determinare i valori di concentrazione di fondo da utilizzare per determinare un'alterazione della situazione preesistente. Per le discariche di nuova realizzazione è pertanto importante effettuare uno *screening* oltre che della qualità dell'aria anche per il *soil gas* nella fase *ante operam*;
- c) la caratterizzazione della qualità dell'aria nell'area di influenza della discarica, possibile sfruttando i dati storici della rete di rilevamento locale (stazioni generalmente censite sul SINANET<sup>4</sup> oppure sui siti delle ARPA locali); è necessario infatti considerare eventuali sovrapposizioni della discarica con altre fonti di inquinanti, ad es. il traffico veicolare o impianti industriali nelle vicinanze, ovvero identificare i dati meteo climatici caratteristici dell'area e le concentrazioni di fondo; per discariche già in esercizio ciò richiede una opportuna distribuzione spaziale oltre che temporale delle stazioni di rilevamento; ove i valori di fondo non siano disponibili o comunque misurabili con sufficiente accuratezza è possibile la determinazione di "traccianti" legati a specifiche tipologie di rifiuti e non emessi da altre fonti presenti nell'area e la valutazione dei rapporti di concentrazione, ovvero della distribuzione di contaminanti caratteristici di specifiche tipologie di rifiuti ("*fingerprint*");
- d) le vie di migrazione: prevede la determinazione di parametri sito specifici per verificare la ripartizione degli inquinanti (COV potrebbero provenire anche da eventuale falda contaminata oltre che da migrazione laterale dal corpo di discarica).

### 3.3. INDIVIDUAZIONE DEGLI INQUINANTI DA MONITORARE

La base di partenza è ovviamente costituita dalle sostanze previste dal D.Lgs. n. 36/2003, ovvero **CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, e H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, polveri totali, NH<sub>3</sub>, mercaptani, composti volatili** in relazione alla composizione dei rifiuti ed **amianto** per le discariche autorizzate per rifiuti che lo contengono (RCA).

Per quanto riguarda i composti volatili, si pone il problema della loro speciazione.

I fattori da tenere presente nella scelta degli inquinanti di interesse, oltre ovviamente alla composizione dei rifiuti, possono essere (adattamento ed integrazione da [2])

- tipologia di inquinanti (organici, inorganici, biologici);
- stato fisico dell'inquinante in aria (gassoso, liquido, solido);
- livello delle emissioni dell'inquinante presenti sia nel sito che all'esterno;
- livelli di qualità dell'aria nell'ambiente circostante ed eventuali fattori di pressione locali;

<sup>4</sup> <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/aria>

- disponibilità di tecniche standardizzate di campionamento ed analisi (il limite di quantificazione o LOQ dovrebbe essere almeno un ordine di grandezza inferiore rispetto al limite di guardia);
- omogeneità dei rifiuti abbancati.

Può essere utile ricordare che composti volatili sono generati non soltanto dai rifiuti biodegradabili, ma anche da altre tipologie di rifiuti a seguito di volatilizzazione diretta dai rifiuti che li contengono e/o altre reazioni chimiche, tra i rifiuti, tra i rifiuti ed eventuali contenitori (es. fusti o *big-bags*) o, ancora, tra i rifiuti ed eventuali infrastrutture all'interno del corpo discarica (ad es. fenomeni corrosivi su tubazioni di drenaggio del percolato o di captazione del biogas).

Nel caso di produzione di biogas, considerando che comunque anche ove presenti sistemi di captazione, l'efficienza di questi non è mai unitaria (variabile, su base temporale ed in funzione del grado di ingegnerizzazione della discarica, dal 55 al 91% [3]), per la composizione del biogas può essere presa a riferimento l'Appendice 4 del Manuale APAT, ora ISPRA [4], in cui risultano identificate ca. 550 sostanze in traccia appartenenti a diverse famiglie di composti, ma non essendo ovviamente sostenibile la ricerca di tutti, qui si è stralciata in tabella 3.2 la concentrazione media e variabilità dei composti rilevati in alcune discariche britanniche [5] ed in tabella 4.3 quella dei componenti del biogas con effetti cronici sulla salute umana (non esaustiva) di fonte US EPA [2]. Altri componenti significativi in termini d'impatto sono elencati dalla Wales EA [6].

Tabella 3.2 - Composizione media di vari composti in traccia del biogas [5]

Nome del composto	Gruppo chimico	Concentrazione mediana ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentrazione media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
1,1-Dicloroetano	Organici Alogenati	13,260	476,223	
Clorobenzene		11,880	246,589	
1,1,1-Tricloroetano		12,905	189,826	
Clorodifluorometano		11,570	167,403	
Tetracloroetene		16,640	112,746	
Cloroetano		5,190	77,867	
Cloroetene		5,600	64,679	
1,2-Diclorotetrafluoroetano		3,200	34,046	
cis-1,2-Dicloroetene		7,700	33,129	
Diclorofluorometano		3,500	20,131	
Diclorometano		1,240	19,054	
1,2-Dicloroetano		1,575	16,495	
Solfuro di idrogeno		Composti Solforati	2,833	134,233
Toluene		Composti Aromatici	11,995	86,221
Etilbenzene	6,480		37,792	
Xileni	4,700		23,900	
n-butano	Alcani	13,623	67,412	
n-esano		5,000	19,850	
n-nonano		8,120	19,015	
Monossido di carbonio		5,822	62,952	
$\alpha$ -pinene	Cicloalcani	9,300	33,248	
Butan-2-olo	Alcoli	5,400	18,704	
3-Metil-2-butanone	Chetoni	1,984	13,614	

Tabella 3.3 - Composizione di default dei componenti del biogas associati ad effetti cancerogeni o cronici non cancerogeni [2]

Nome del composto	Numero CAS	Peso Molecolare	Concentrazione di default AP-42 (ppmv)	Concentrazione 90° percentile (ppmv)
1,1-Tricloroetano	71-55-6	133,42	0,48	3,82
1,1-Dicloroetene	120-82-1	96,94	0,20	15,1
1,2-Dicloroetano	107-06-2	98,96	0,41	32,0
Acilonitrile	107-13-1	53,06	6,33	28,3
Benzene	71-43-2	78,11	11,1	92,6
Clorometano	56-23-5	153,84	0,004	0,22
Clorobenzene	108-90-7	112,56	0,25	9,92
Clorofluorocarburi (come diclorodifluorometano)	-	120,91	19,7	56,0
triclorometano (cloroformio)	67-66-3	119,39	0,02	2,11
Diclorobenzene	106-46-7	147,00	0,21	0,33
Diclorometano	75-09-2	84,94	14,3	45,6
Cloroetano	75-00-3	64,52	1,25	6,51
1,2-Dibromoetano	106-93-4	187,88	0,001	0,001
Solfuro di idrogeno	7783-06-4	34,08	35,5	81,3
Mercurio (totale)	7439-98-7	200,61	2,92E-04	0,001
Tetracloroetene (PCE)	127-18-4	165,83	3,73	15,1
Toluene	108-88-3	92,13	165	380
Tricloroetene (TCE)	79-01-6	131,38	2,82	7,88
Cloroetene (CVM)	75-01-4	62,50	7,34	18,6
Xileni (tutti)	133-20-7	106,16	12,1	77,9

### 3.4. DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI GUARDIA ARIA AMBIENTE

Lo scopo della definizione dei limiti di guardia ai sensi del D.Lgs. n. 36/2003 è individuare una presenza di biogas all'esterno della discarica. La definizione di limiti di guardia costituisce uno degli elementi per la riduzione ed il controllo del rischio ineliminabile (residuo) associato all'esposizione agli inquinanti presenti nel biogas.

Particolare attenzione andrà posta ai rischi per la sicurezza (incendio ed esplosione), soprattutto in presenza di spazi confinati o semi-confinati dove il biogas potrebbe accumularsi.

Per alcuni inquinanti i valori di riferimento ai fini della salvaguardia della salute umana e dell'ambiente nel suo complesso sono dettati dalla normativa sulla qualità dell'aria, D.Lgs. n. 155/2010, di attuazione della direttiva 2008/50/CE. Ovviamente questi valori sono finalizzati essenzialmente alla tutela della popolazione ed infatti il D.Lgs. n. 155/2010 esclude dalla definizione di "aria ambiente" quella presente nei luoghi di lavoro definiti dal D.Lgs. n. 81/2008, essendo questi già tutelati dallo stesso D.Lgs. n. 81/2008. In particolare il D.Lgs. n. 155/2010 si riferisce alle seguenti sostanze (si considerano soltanto quelle in fase gassosa e, per il particolato, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>)<sup>5</sup>:

- biossido di zolfo, biossido di azoto (valori limite, livelli critici e soglie di allarme);
- benzene, CO e PM<sub>10</sub> (valori limite);
- PM<sub>2,5</sub> (valore limite, valore obiettivo, obbligo di concentrazione dell'esposizione e obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione);
- ozono (valore obiettivo).

Sono disponibili in proposito numerosi esempi in AIA di discariche che utilizzano tali valori come **livelli di riferimento** per gli inquinanti di interesse.

Inoltre, nel 2000 l'OMS ha emanato la seconda edizione delle Linee Guida per la qualità dell'aria in Europa [7] che forniscono sia dei criteri di valutazione del rischio sanitario, che dei valori guida. Sono disponibili valori guida oltre che per gli inquinanti successivamente normati in ambito comunitario e sempre con riferimento agli inquinanti presenti in fase gassosa, anche per: Acrilonitrile, Disolfuro di Carbonio, 1,2-Dicloroetano, Diclorometano, Formaldeide, Stirene, Tetracloroetilene, Toluene, Tricloroetilene, Cloruro di vinile, H<sub>2</sub>S (Solfuro di Idrogeno) e vapori di mercurio.

Quindi, ove risulti opportuno monitorare tali inquinanti, i valori guida OMS ivi riportati possono essere presi a riferimento.

I citati valori di riferimento, sia normativi che forniti dall'OMS, sono riportati in Tabella 3.4.

<sup>5</sup> Non si considerano gli inquinanti normati sul PM<sub>10</sub> e, in generale, quelli non volatili, anche in virtù della presenza della copertura, giornaliera o definitiva, dei rifiuti abbancati. Il PM<sub>10</sub> ed il PM<sub>2,5</sub> sono comunque inclusi in quanto il D.Lgs. n. 36/2003 prevede, tra i parametri da monitorare, le polveri totali (ad oggi non più considerate dalla normativa sulla qualità dell'aria).

Tabella 3.4 – Valori di riferimento riconosciuti a livello europeo

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Valore obiettivo/limite/guida di qualità dell'aria per la protezione della salute umana [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					Riferimenti valori
		annuale	settimanale	giornaliero	orario	semiorario	
<b>Composti inorganici</b>							
Monossido di carbonio	630-08-0			1,0E+01 (8h)			D.Lgs. 155/2010 (direttiva 2008/50/CE)
Biossido di azoto	10102-44-0	4,0E+01			2,0E+02		
Biossido di zolfo	7446-09-5			1,25E+02	3,5E+02		
PM <sub>10</sub>		4,0E+01		5,0E+01			
PM <sub>2,5</sub>		2,5E+01					
Ozono	10028-15-6			1,2E+02 (8h)			
Disolfuro di carbonio	75-15-0					2,0E+01	WHO, 2000
Solfuro di idrogeno	7783-06-4			1,5E+02		7,0E+00	
Mercurio volatile	7439-97-6	1,0E+00					
<b>Aromatici</b>							
Benzene	71-43-2	5,0E+00					D.Lgs. 155/2010 (Dir. 2008/50/CE)
Stirene (2)	100-42-5		2,6E+02			7,0E+01	WHO, 2000
Toluene (2)	108-88-3		2,6E+02			1,0E+03	
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>							
1,2-Dicloroetano (3)	107-06-2			7,0E+02			WHO, 2000 (1)
Diclorometano (3)	75-09-2		4,5E+02	3,0E+03			
Cloruro di vinile	75-01-4	1,0E+00					
Tetracloroetilene (3)	127-18-4	2,5E+02					WHO, 2000 e 2010 (1)
Tricloroetilene	79-01-6	2,3E+00					
<b>Altri composti organici</b>							
Formaldeide	50-00-0					1,00E+02	WHO, 2000 e 2010 (1)
Acrilnitrile (4)	107-13-1	1,0E+00					WHO, 2000
(1) Per i composti cancerogeni si è riportato il valore associato a TR=1,0E-06 (2) Il valore semiorario corrisponde alla soglia odorigena (3) Il valore riportato è basato sugli effetti non cancerogeni. (4) In questo caso WHO fornisce un valore di concentrazione per cui TR=2,0E-05							

Inoltre, considerando che il superamento dei limiti di guardia in aria non è necessariamente indice di contaminazione del sito (il D.Lgs. n.152/2006 non definisce CSC per la matrice aria, che considera come via di esposizione), ma anzi è inteso ad intraprendere azioni preventive in tal senso, per le sostanze per cui non sia disponibile un valore di riferimento riconosciuto, ma siano disponibili parametri tossicologici inalatori consolidati, è comunque possibile valutare valori di riferimento a mezzo della procedura di analisi di rischio sanitario **in modalità inversa**, ossia partendo da un livello di rischio accettabile per la salute umana e selezionando il valore più conservativo tra quelli individuati per effetti cancerogeni e non cancerogeni, utilizzando le formule di seguito riportate [9]:

$$CR_{aria} \left[ \frac{\mu g}{m^3} \right] = \frac{TR}{EM \cdot SF} \times 10^3 \quad (\text{per effetti cancerogeni})$$

$$CR_{aria} \left[ \frac{\mu g}{m^3} \right] = \frac{THQ \cdot RfD}{EM} \times 10^3 \quad (\text{per effetti non cancerogeni})$$

Dove:

- TR ("Target Risk" [adim.]) rappresenta il valore soglia di rischio al di sotto del quale si ritiene tollerabile la probabilità incrementale di effetti cancerogeni sull'uomo.
- THQ ("Target Hazard Quotient" [adim.]) è il valore soglia di riferimento al disotto del quale si ritiene accettabile il rischio per la salute umana (popolazione e lavoratori) associato ad effetti non cancerogeni. I valori di accettabilità del rischio per la salute umana (popolazione e lavoratori) sono quelli stabiliti nel D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i..
- SF ("Slope Factor" [mg/kg d]<sup>-1</sup>) indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita per unità di dose, ed è un parametro tossicologico caratteristico della singola specie chimica
- RfD (Reference Dose [mg/kg d]) è la stima dell'esposizione media giornaliera che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita ed è anch'esso un valore caratteristico della singola specie chimica, in condizioni definite di esposizione
- EM rappresenta la portata effettiva di esposizione, ossia la quantità giornaliera di aria inalata per unità di peso corporeo, che può essere stimata a mezzo dell'espressione riportata nel Manuale APAT/ISPRA [4]:

$$EM_{inal} \left[ \frac{m^3}{Kg \times giorno} \right] = \frac{B_{air} \times EF_g \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365 \frac{giorni}{anno}}$$

Si ritiene, infatti, che la procedura di analisi di rischio sanitario sia applicabile in virtù dell'interazione tra i due ambiti normativi, che costituisce l'oggetto del presente documento ed esclusivamente al fine sopra richiamato, ovvero prevenire, ove possibile, l'attivazione di onerose procedure di bonifica, ove ciò non risulti necessario. Di seguito saranno poi forniti alcuni elementi che possano supportare la valutazione di tale necessità, in quanto come più volte ribadito il superamento episodico dei limiti di guardia in aria è certamente insufficiente.

Per i parametri tossicologici (SF e RfD) è possibile fare riferimento a banche dati accreditate a livello nazionale (es. Banca Dati ISS-INAIL<sup>6</sup>), mentre per i parametri espositivi si rimanda a quanto stabilito nello stesso Manuale APAT/ISPRA per i siti

<sup>6</sup> <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/siti-contaminati/analisi-di-rischio>

contaminati (rev. 2008), con riferimento ai recettori considerati (lavoratore o popolazione). Nel caso di presenza nell'area di influenza della discarica di recettori sensibili potrebbe risultare opportuna una maggiore contestualizzazione dei fattori espositivi, utilizzando come riferimento i parametri recentemente aggiornati dall'U.S. EPA [10]. Si ritiene comunque auspicabile che i valori dei fattori di esposizione siano quanto più possibile sito-specifici, in modo da permettere l'individuazione di target di concentrazione strettamente connessi con la realtà del sito di discarica in esame.

È comunque possibile anche fare riferimento ai DN(M)EL come definiti nell'ambito del Regolamento CE n. 1907/2006 e s.m.i. o REACH, nella valutazione della sicurezza chimica (*Chemical Safety Assessment – CSA*) per le sostanze prodotte o importate in quantitativi pari o superiori a 10 tonnellate all'anno, ovvero:

- *Derived no- effect level* (DNEL);
- *Derived Minimal Effect Level* (DMEL).

Il *Derived no-effect level* (DNEL) è il livello di esposizione alla sostanza sopra il quale l'uomo non dovrebbe essere esposto. Il DNEL misura il potenziale della sostanza di causare effetti avversi alla salute. Questo potenziale varierà in funzione del modello di esposizione della sostanza. Per ogni effetto sulla salute ed ogni relativo modello di esposizione è necessario stabilire un DNEL. I DNEL sono calcolati dividendo il valore del "*dose-descriptor*" con effetto sulla salute (N(L)OAE, *benchmark dose*, etc.) per un fattore di valutazione (*assessment factor* o AF).

Nel caso di sostanze con effetti cancerogeni genotossici non è possibile individuare alcun livello soglia di sicurezza e anche per i cancerogeni non genotossici si utilizzano modelli matematici dose-effetto sub lineari, ma non-soglia, ed è quindi improbabile che si riesca a dimostrare empiricamente l'esistenza di una soglia, quindi, qualsiasi dose, anche molto bassa, potrebbe presentare un rischio per lo sviluppo di effetti cancerogeni [11]. In tali casi, secondo il REACH, se i dati lo permettono, può comunque essere individuato un valore semi-quantitativo, noto come *Derived Minimal Effect Level* (DMEL). I valori DMEL rappresentano livelli di esposizione dove la probabilità che l'effetto identificato come avverso capiti in una popolazione sia sufficientemente basso da essere non preoccupante. I DMEL possono essere usati nel processo di caratterizzazione del rischio allo stesso modo dei DNEL, ma i "*dose-descriptor*" in tal caso rappresentano il livello di esposizione correlato ad un rischio relativo osservato nella popolazione esposta, rispetto quella non esposta [12].

In particolare si suggerisce di fare riferimento al target specifico "popolazione", per effetti a lungo termine sistemici (o locali se più cautelativi) per la via di esposizione inalatoria.

I valori di DN(M)EL ad oggi calcolati per le sostanze registrate sono disponibili sul database ECHA CHEM<sup>7</sup>.

Infine, nei casi in cui siano noti o siano determinabili e validabili dalle Autorità competenti, concentrazioni di fondo dell'area, così come definite nell'Allegato III del

<sup>7</sup> <http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/registered-substances>

D.Lgs. 155/2010, ed in particolare nei casi in cui siano presenti inquinanti in aria per cause strettamente legate alla realtà locale (es. traffico veicolare, aree fortemente antropizzate), è possibile assumere come livelli di guardia detti valori.

Si ritiene opportuno segnalare alcune problematiche relativamente ai valori di riferimento o livelli di guardia sopracitati (definiti in seguito con la sigla  $LG_{aria}$ ):

- è necessario prestare attenzione al periodo di riferimento temporale delle concentrazioni misurate in aria (definite in seguito anche con la sigla  $C_{aria}$ ), per definire modalità di campionamento che siano il più possibile rappresentative ai fini del confronto tra valore misurato e valore di riferimento;
- è opportuno evidenziare che i valori OMS per i tre inquinanti 1,2-Dicloroetano, Diclorometano e Tetracloroetilene, riportati in tabella 4.4 con nota (6) ed evidenziati con colore diverso, sono basati su effetti non cancerogeni, mentre i tre citati inquinanti sono classificati come cancerogeni sia dall'UE (cat. 1B o 2) che dall'IARC (cat. 2A o 2B). Quindi nel caso di situazioni specifiche (es. presenza di bersagli sensibili) è da valutarsi l'opportunità di considerare l'effetto cancerogeno delle suddette sostanze. In tali situazioni il confronto potrà essere effettuato in relazione al valore di fondo, ove rilevabile, o alla  $C_{aria}$  calcolata;
- per le sostanze per cui sono disponibili i livelli di fondo, ma non un valore di riferimento riconosciuto a livello nazionale o internazionale, è sempre consigliabile il confronto con il valore di  $LG_{aria}$  calcolato a mezzo della procedura di analisi di rischio sanitario in modalità inversa; in alcuni casi si potrebbe riscontrare un valore di fondo inferiore rispetto alla  $LG_{aria}$  calcolata; in tal caso il superamento del fondo non configura un rischio sanitario e si ritiene sufficientemente cautelativo assumere a riferimento la  $LG_{aria}$  calcolata;
- in considerazione dell'elevato livello di conservatività che la caratterizza la procedura utilizzata per definire i valori di riferimento **non** tiene conto degli eventuali effetti sinergici tra i diversi inquinanti; occorre quindi ricordare che, nel caso in cui si riscontri successivamente un'effettiva contaminazione del sito di discarica, la procedura di analisi di rischio per la modalità espositiva inalatoria dovrà valutare anche il rischio cumulato.
- nel caso in cui l'inquinante sia odorigeno, potrebbe risultare opportuno considerare la soglia olfattiva come **limite di guardia**, ovviamente se questa è inferiore alla soglia di rischio per la salute o la sicurezza, come del resto valutato dall'OMS stessa in riferimento al  $H_2S$  ed allo stirene (vedi nota 4 in Tabella 4.4) e come generalmente effettuato da diverse autorità competenti in sede autorizzativa, ad es. per l' $NH_3$  (soglia olfattiva 1-5 ppm, VLEP<sup>8</sup> 20 ppm);

<sup>8</sup> Valore Limite di Esposizione Professionale definito dal D.Lgs. n. 81/2008 sulle 8 ore

— nel caso in cui metodiche analitiche con limite di quantificazione (LOQ) appropriato ( $LOQ \leq 0,1 \cdot \text{limite}$ ) non risultino disponibili è opportuno che il metodo analitico sia comunque concordato con l'autorità competente e con l'ARPA/APPA ed il limite di guardia sia costituito dal limite di quantificazione (LOQ) del metodo.

La procedura sopra descritta per la definizione dei limiti di guardia, con riferimento anche agli inquinanti di interesse per la sicurezza, di cui si parlerà nei paragrafi successivi, è schematizzata in Figura 3.1.

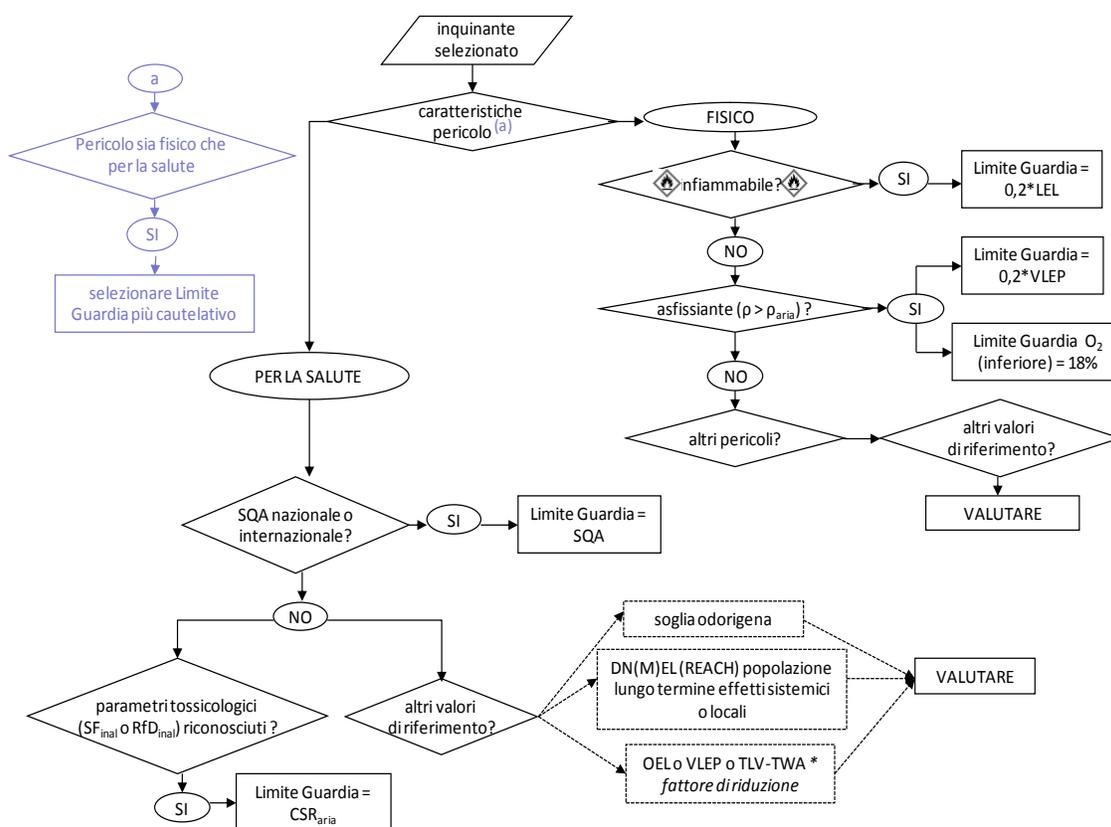


Figura 3.1 – Flow-sheet della procedura per la definizione dei limiti di guardia.

### 3.5. VERIFICA DEL RISPETTO DEI LIMITI DI GUARDIA E PIANO D'AZIONE

Una volta individuata di concerto con le autorità competenti un'adeguata distribuzione spaziale delle postazioni di misura, in funzione delle caratteristiche della discarica e del territorio circostante, è necessario identificare una procedura che consenta di valutare quando un superamento del limite di guardia si può ritenere significativo.

Per ciascuna postazione di misura sarà disponibile almeno un valore medio mensile, ragionevolmente riferito ad uno (o più) giorni di campionamento.

Se viene constatato un superamento è in generale consigliabile ripetere la misura e, se il superamento risulta confermato, confrontare tale valore con i dati delle postazioni di misura adiacenti e con i dati registrati in precedenza, ove possibile effettuando uno studio di distribuzione dei dati, al fine di comprendere le cause che hanno comportato tale superamento.

Ai fini del confronto con la  $C_{aria}$ , i dati analitici, ottenuti dalle attività di monitoraggio, devono essere espressi con lo stesso numero di cifre decimali della corrispondente  $C_{aria}$ . Nel caso in cui la  $C_{aria}$  venga individuata come valore di fondo o calcolato, i valori dovranno essere espressi in notazione scientifica ad un decimale. Per l'analisi del superamento rispetto al valore di  $C_{aria}$  si dovrà inoltre tenere conto dell'incertezza di misura.

Una delle azioni attivabili ai fini dell'identificazione delle cause di avvicinamento inaccettabile / superamento dei limiti di guardia è, ad esempio, una verifica della funzionalità e dell'integrità della rete di captazione (ad es. indici di efficienza sono:  $N_2 < 20\%$  e  $O_2 < 5\%$  [13]).

Attuate le dovute verifiche e, ove sia stato stabilito il nesso con eventuali anomalie nella gestione del sistema di captazione, trattamento e utilizzo del biogas o comunque della discarica, risolte le stesse anomalie, sarà certamente opportuno ripetere la misura nella/e postazione/i in cui si era rilevato il superamento dei limiti di guardia e nelle postazioni adiacenti. Nel caso di persistenza del problema, si consiglia di valutare, in base all'entità del superamento, se intensificare la frequenza del monitoraggio per continuare a valutare il trend, oppure attuare immediatamente un intervento di messa in sicurezza dell'area. Poiché il superamento dei livelli di guardia come già più volte ribadito non implica necessariamente una contaminazione del sito, tale intervento di messa in sicurezza non è detto che si configuri come MISE ai sensi del D.Lgs. n.152/2006, bensì può rientrare tra le misure che il datore di lavoro ha l'obbligo di attuare ai sensi del D.Lgs. n.81/2008 per il controllo delle situazioni di rischio in caso di emergenza. L'eventuale contaminazione del sito che configuri l'attivazione delle procedure previste dal D.Lgs. n.152/2006 potrà comunque essere accertata con le successive valutazioni.

E' certamente consigliabile la redazione di un piano d'azione che preveda diversi livelli di emergenza in funzione dell'entità dei superamenti. Alcune indicazioni in merito, con riferimento ai componenti con caratteristiche di pericolo per la sicurezza, sono fornite di seguito.

### 3.6. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEI LIMITI DI GUARDIA PER IL BIOGAS (EMISSIONI DIFFUSE E MIGRAZIONI LATERALI)

**Con riferimento a CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> considerando la loro classificazione in classi di pericolo esclusivamente fisico, il monitoraggio è evidentemente previsto per problemi di sicurezza, quindi i livelli di guardia corrispondono ai livelli necessari a garantire appunto la sicurezza.**

In particolare, per il CH<sub>4</sub> e l'H<sub>2</sub>, entrambi infiammabili, è opportuno considerare il **LEL** (limite inferiore di esplosività) pari, in condizioni di pressione 1 atm e temperatura 20°C, a 4,4% vol. generalmente arrotondato al 5% per il primo (CH<sub>4</sub>) e al 4% per il secondo (H<sub>2</sub>) [14].

In genere il livello che fa scattare la prima soglia di allarme si assume pari al 10% del LEL, cui corrisponderebbe un concentrazione di 0,5% vol o 5.000 ppm<sub>v</sub> (ca. 3 g/m<sup>3</sup>) per il CH<sub>4</sub> e 0,4% vol o 4.000 ppm<sub>v</sub> (0,34 g/m<sup>3</sup>) per l'H<sub>2</sub>; la U.K. EA [5], come del resto anche l'U.S. EPA [2], assumono come **limite di guardia** per il CH<sub>4</sub>, misurato ai pozzi di monitoraggio del biogas, il 20% del LEL, ovvero 10.000 ppm<sub>v</sub> pari all'1%.

L'U.K. EA [5] fornisce un'indicazione empirica su variazioni della pressione atmosferica critiche ovvero cadute di pressione di 0,5 kPa ogni 3h per almeno 3 h.

La variazione della pressione è un fattore molto importante per identificare la possibilità di migrazione del biogas nel sottosuolo ed in atmosfera ma non il solo parametro da valutare.

Si evidenzia infatti che la qualità delle misure può essere influenzata direttamente dalle condizioni meteorologiche che si presentano durante e precedentemente il periodo di monitoraggio e pertanto è necessario procedere alla verifica delle emissioni diffuse dal corpo di discarica quando:

- le condizioni di pressione barometrica siano nella media dell'area avendo cura di verificare che non vi siano cadute di pressione come sopra richiamato;
- la velocità del vento è inferiore a 3 m/s;
- non siano in corso eventi meteorici né siano occorsi nei giorni precedenti la misura.

Per la CO<sub>2</sub> si pone un problema di sicurezza in relazione alla sua densità superiore a quella dell'aria, che lo rende potenzialmente asfissiante (l'influenza sul LEL del metano, considerando che ne abbassa la pressione parziale in aria, è ovviamente in senso conservativo). Sia l'U.K. EA [5], che l'U.S. EPA [2] assumono come **valore di guardia** ai pozzi di monitoraggio l'1,5%, che l'UK giustifica come pari al 20% del loro limite di esposizione professionale (OEL pari a 6.000 ppm<sub>v</sub>, mentre in Italia il D.Lgs. n. 81/2008 e s.m.i. fissa il VLEP a 5.000 ppm<sub>v</sub>).

La stessa UK EA [5] prevede comunque, in relazione alla possibile migrazione del biogas, procedure **d'allertamento e verifica** (emergenza) nel caso di superamento del valore di 100 ppm (0,2% del LEL) per il CH<sub>4</sub> e di 0,4% o 4.000 ppm per la CO<sub>2</sub> in edifici e servizi nell'arco di 250 m di distanza.

La guida UK-EA [5] contiene anche indicazioni sulle distanze a cui posizionare i pozzi esterni di monitoraggio del biogas nel suolo riportata in Tabella 3.5.

Tabella 3.5 - Guida sulle distanze tra i pozzi di monitoraggio del biogas fuori sito [5]

Descrizione del sito		Distanza tra i pozzi di monitoraggio (m)	
Strati	Sviluppi	Minima	Massima
Uniformi di bassa permeabilità (es. argilla)	nessuno entro 250 m	50	150
	entro 250 m	20	50
	entro 150 m	10	50
Permeabili per porosità (es. arenaria porosa)	nessuno entro 250 m	20	50
	entro 250 m	10	50
	entro 150 m	10	20
Permeabili per fratturazione o fessurazione (es. arenaria a blocchi o roccia ignea)	nessuno entro 250 m	20	50
	entro 250 m	10	50
	entro 150 m	5	20

### 3.6.1 Emissioni diffuse del biogas dal corpo della discarica

Per quanto riguarda invece il monitoraggio delle **emissioni diffuse** di biogas dal corpo della discarica ed all'interno dell'area di discarica, per la definizione dei punti di misurazione è possibile adottare i seguenti criteri [15]

$$N = 6 + 0,15 * \sqrt{Z} \quad Z > 5.000 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{Z}{5.000} * 16 \quad (N \geq 6) \quad Z \leq 5.000 \text{ m}^2$$

Dove: N = numero di punti di misura (zone)  
Z = superficie complessiva dell'area da indagare (m<sup>2</sup>)

Al fine di definire correttamente la distribuzione dei punti di monitoraggio N oltre ad implementare i criteri riportati nella linea guida UK-EA<sup>6</sup>, che prevede la suddivisione dell'area di indagine in una griglia regolare, è necessario suddividere la superficie Z della discarica in aree con caratteristiche omogenee per pendenza e spessore della copertura valutato anche attraverso misure dirette (trincee esplorative):

*A1: aree chiuse temporaneamente con copertura di spessore uniforme,*

*A2: aree chiuse definitivamente con copertura di spessore uniforme,*

*A3: aree di scarpata con spessore uniforme,*

*A4: viabilità interna,*

*A5: aree perimetrali, etc*

*Z=A1+A2+A3+...+Ai.*

Pertanto in ciascuna area Ai della discarica dovrà ricadere un numero di punti Ni proporzionale all'estensione dell'area al fine di avere una densità dei punti di monitoraggio omogenea nelle diverse Ai.

Inoltre se in fase di monitoraggio si evidenziasse la presenza di singole misure con flussi elevati si dovrà verificare se tali condizioni siano da attribuire ad un problema puntuale (presenza di falle nella copertura, presenza di pozzo di biogas o percolato, rottura di tubazioni) sul quale occorrerà intervenire e che dovrà essere monitorato separatamente. Nell'elaborazione finale delle emissioni diffuse dal corpo della discarica bisognerà aver cura di eseguire le opportune valutazioni escludendo i punti con flussi elevati soggetti ad intervento specifico al fine di avere un dato significativo della quantità di biogas emesso dalla discarica.

Importante è anche stabilire di concerto con l'A.C., la frequenza del monitoraggio delle emissioni diffuse dal corpo di discarica all'interno dell'area di discarica.

Richiamando la linea guida UK-EA [5] si può porre come frequenza minima di monitoraggio delle emissioni diffuse dal corpo della discarica da effettuarsi con flux box e su un numero di punti minimo N definito con le formule sopra riportate:

- entro un anno dalla chiusura definitiva della discarica, oppure
- quando viene effettuata la copertura temporanea la quale verrà mantenuta per un tempo superiore a 12 mesi.

Nelle altre condizioni, in conformità alla stessa linea guida si propone un monitoraggio speditivo (*walkover survey*) da effettuarsi con frequenza trimestrale. Gli esiti di detto monitoraggio speditivo daranno luogo all'individuazione di criticità che potranno portare a richiedere un monitoraggio completo mediante flux box.

Si richiamano di seguito i limiti delle concentrazioni in aria di metano che daranno luogo all'avvio di un controllo con flux box e su un numero di punti minimo N:

- 100 ppm<sub>v</sub> immediatamente al di sopra della superficie delle principali zone della copertura;
- valori superiori a 1.000 ppm<sub>v</sub> nei punti critici quali ad esempio, fessurazioni della superficie, pozzi del percolato, teste di pozzo del biogas, etc.

In aggiunta od in alternativa a detti valori, in condizioni particolari che prevedono la presenza di una costante fruizione pubblica di tali impianti di discarica o in relazione alla potenziale co-presenza di altri composti organici tossici si suggerisce di dimezzare i **valori limite per l'attivazione del controllo completo con flux box come di seguito descritto:**

- 50 ppm<sub>v</sub> immediatamente al di sopra della superficie delle principali zone della copertura;
- valori superiori a 500 ppm<sub>v</sub> nei punti critici quali ad esempio, fessurazioni della superficie, pozzi del percolato, teste di pozzo del biogas, etc.

Infine il controllo completo per la misura delle emissioni diffuse di biogas dal corpo della discarica mediante la tecnica del flux box è utile per determinare l'effettiva quantità annua di biogas disperso in atmosfera.

In proposito si riportano in figura 3.2 gli intervalli tipici dei valori del flusso di metano dalla superficie e/o dai sistemi ingegneristici di discarica.

Sia l'UK EA [5], che l'USEPA [2], propongono come limite di flusso specifico (per unità di superficie) di biogas dalla superficie della discarica i seguenti dati:

- per lotti chiusi (capping permanente)  $1 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,
- per lotti ancora in coltivazione (capping temporaneo)  $1 \cdot 10^{-1} \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ .

Il superamento di detti valori di flusso darà origine ad interventi per la riduzione delle emissioni diffuse di biogas dalla superficie della discarica.

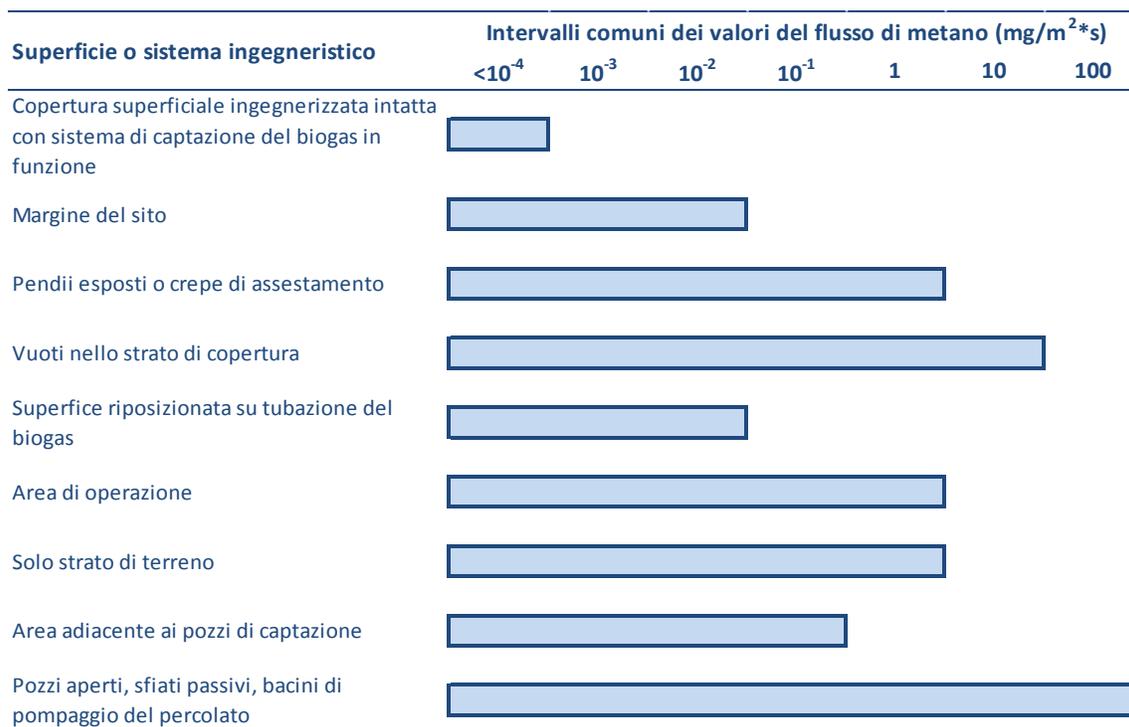


Figura 3.2 - Emissioni di biogas da diverse superfici o sistemi ingegneristici di discarica [5].

Per quanto riguarda l' $\text{O}_2$  il criterio per la determinazione del limite di guardia è sempre dettato da esigenze di sicurezza: dato che effetti acuti cominciano ad evidenziarsi già quando la percentuale di  $\text{O}_2$  in aria scende al di sotto del 18% [16] è opportuno considerare tale valore come limite (inferiore) di guardia.

### 3.6.2 Migrazioni laterali di biogas

Per i *livelli di guardia* del CH<sub>4</sub> nel suolo occorre considerare la possibilità di migrazione laterale. Livelli considerati sicuri nel gas interstiziale per l'U.S. EPA [2] sono:

- all'interno dell'area di discarica al di sotto del 25% del LEL (12.500 ppm<sub>v</sub> o 1,25% vol.)
- al di fuori della discarica al di sotto del LEL (50.000 ppm<sub>v</sub> o 5% vol), fermo restando che nella fascia di rispetto compresa nei 250 m dalla discarica dovrà essere effettuata una valutazione del trend della presenza di metano e degli elementi di discontinuità lineari e puntuali ponendo come valore del limite di guardia il 20% del LEL (10.000 ppm<sub>v</sub> o 1% vol).

Al fine di determinare le migrazioni di biogas nelle aree perimetrali della discarica e quindi all'interno del sito ma all'esterno delle vasche di coltivazione, è possibile attivare un monitoraggio del soil gas realizzando una rete di micropiezometri dedicata o, in alternativa utilizzando per i monitoraggi la rete piezometrica esistente qualora presenti caratteristiche costruttive significative per le misure, vale a dire i piezometri presentino il tratto fenestrato in corrispondenza del corpo dei rifiuti e siano in grado di captare eventuali migrazioni di biogas

Infatti mediante strumentazione portatile ad infrarossi è possibile misurare la percentuale di CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, all'interno delle colonne piezometriche, dopo un congruo tempo di stabilizzazione della misura.

Tale operazione assume un'importanza gestionale rilevante poiché consente l'individuazione di eventuali fughe laterali di biogas o di sacche di biogas vecchie ed inoltre consente di verificare la presenza di condizioni di pericolo di esplosività nei piezometri.

Si assume come livello di guardia del metano nella rete piezometrica (soil gas) il 20% del LEL ossia l'1 % = 10.000 ppm<sub>v</sub>.

Al superamento del valore di guardia del metano è opportuno che il gestore faccia una comunicazione all'A.C. e all'ARPA ed intervenga con azioni correttive che dovrebbero comprendere:

- verifica degli impianti limitrofi (pozzi, reti e sottostazioni del biogas) entro la discarica;
- verifica della presenza di aree con stress vegetazionale;
- spurgo di 3/5 volumi d'aria dei piezometri con adeguata strumentazione (certificata ATEX in conformità a quanto previsto nel documento sulla protezione contro le esplosioni di cui all'art.294 del D.Lgs. n. 81/2008 e s.m.i.<sup>9</sup>)

<sup>9</sup> In proposito l'Environmental Services Association (ESA) britannica, con il supporto dell'Health and Safety Executive (HSE) ha pubblicato una serie di guide (Industry Codes of Practice) utili per l'applicazione in discarica della direttiva 99/92/CE (protezione dei lavoratori dal rischio di formazione delle atmosfere esplosive) e degli aspetti riferiti alla sicurezza della direttiva

- ripetizione della misura nei piezometri e sul top soil nelle aree con evidenze di stress vegetazionale;
- verifica della presenza di altre potenziali fonti di metano;
- valutazioni preliminari;
- caratterizzazione del biogas nei pozzi/sottostazioni prossimi ai piezometri con criticità per la definizione del rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> e dei composti marker;
- confronto del rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> con i dati storici della discarica;
- caratterizzazione del percolato (composti marker ricercati nel biogas);
- misura diretta del soil gas per la determinazione dei composti marker in prossimità dei punti con criticità e in un punto individuabile come valore di fondo (bianco);
- caratterizzazione acque sotterranee estesa anche alla ricerca dei composti marker del biogas;
- attivazione ed integrazione del Piano d'Intervento in accordo con gli Enti di controllo e comunicazione degli esiti all'A.C. per l'aggiornamento dell'autorizzazione.

In figura 3.3 si riassume la proposta di limiti di guardia del biogas mentre in figura 4.4 sono indicati i *range* operativi per la misura volumetrica del metano e dei composti in tracce della strumentazione portatile.

Parametro	Strumentazione	Punto di controllo	On-Site	Off-site
CH <sub>4</sub>	Gas Analyser/ FID	Piezometro	1 % (10000 ppmv)	<1 % (10000 ppmv)
	Gas Analyser/ FID	Top soil/sonda	0,1% (100 ppmv)	<0,1% (100 ppmv)
CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>			1,375-1,800	
O <sub>2</sub>	Gas Analyser/ FID	Piezometro		18%
"marker"	PID	Top soil/sonda	Limiti Guardia (v. par. 3.6.)	

Figura 3.3 - Proposta di limiti di guardia nei pozzi di monitoraggio da rilevare con strumentazione portatile

98/24/CE (protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione ad agenti chimici), disponibili sul sito [http://www.esauk.org/reports\\_press\\_releases/esa\\_reports/dsear\\_guidance.html](http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/dsear_guidance.html)

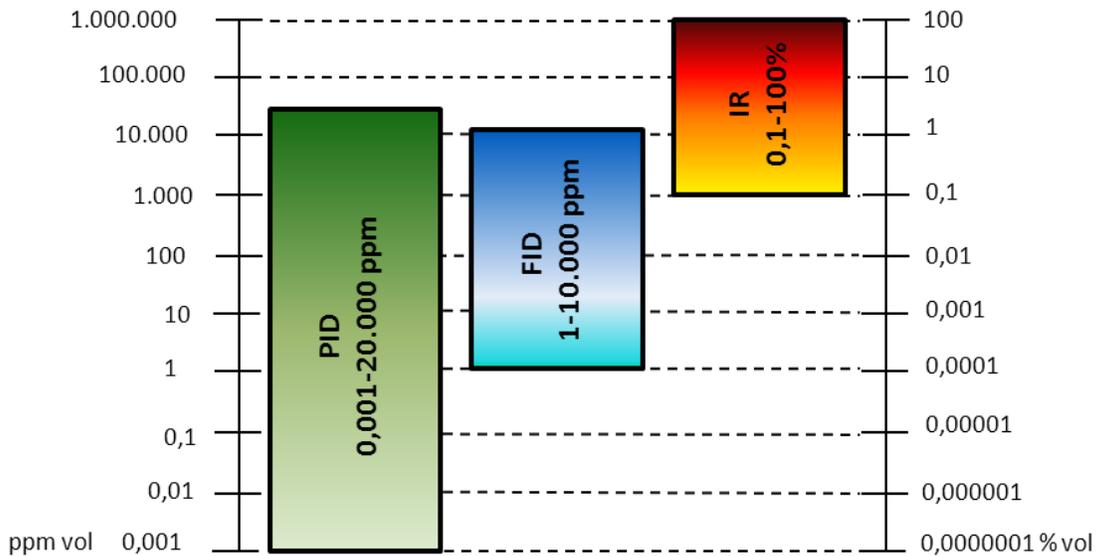


Figura 3.4 – Range di rilevabilità della strumentazione portatile.

### 3.7. LIMITI DI GUARDIA PER L'AMIANTO

Per l'**amianto** i limiti del DM Sanità 6/09/94 (punto 5.5 Allegato 2 al D.Lgs. n.36/2003) sono:

- **preallarme**, con applicazione delle relative procedure, quando i monitoraggi all'esterno dell'area di lavoro mostrano una netta tendenza all'aumento delle fibre aerodisperse;
- **allarme** quando la concentrazione ambientale di fibre aerodisperse supera 50 ff/l

Pertanto si possono porre come livelli di guardia le seguenti soglie:

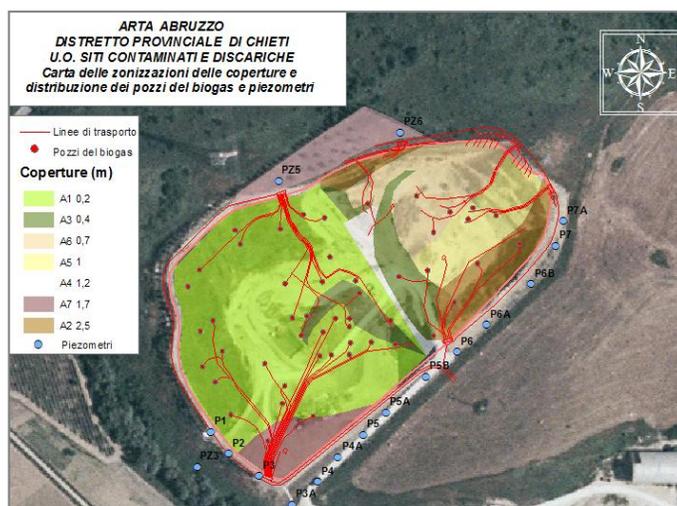
- Soglia di attenzione da valutarsi secondo una delle seguenti condizioni:
  - a) incremento del 100% della concentrazione (fibre/litro) tra due misurazioni successive per valori comunque inferiori al limite di allarme;
  - b) > 20 ff/l;
- Soglia di allarme: > 40 ff/l.

## 3.8. ESEMPIO DI APPLICAZIONE (A CURA DI ARTA ABRUZZO)

**Caso studio: Discarica per rifiuti non pericolosi autorizzata con procedura AIA, su litologia a bassa permeabilità.**

Nell'ambito dei controlli AIA in una discarica per rifiuti non pericolosi si è proceduto ad attivare le ispezioni per la verifica delle emissioni diffuse e delle migrazioni laterali di biogas (la cui composizione è caratterizzata dalla presenza di CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e composti in tracce) nel suolo e sottosuolo.

Nell'immagine seguente, elaborata in ambiente GIS, sono evidenziate la rete di captazione e trasporto del biogas, la rete piezometrica e la zonizzazione della copertura temporanea e definitiva; elementi indispensabili per l'attuazione dei controlli.



Le caratteristiche della rete del biogas, delle acque sotterranee e della copertura sono riepilogate nella tabella seguente;

Area discarica (m <sup>2</sup> )	47.840
Area copertura provvisoria (m <sup>2</sup> )	19.765
Area copertura definitiva (m <sup>2</sup> )	4.685
Area copertura giornaliera (m <sup>2</sup> )	23.100
Area in coltivazione (m <sup>2</sup> )	290
Quota massima rifiuti (m s.l.m.)	110,5
Profondità massima invaso da piano campagna (m)	15
n. Pozzi biogas	50 + buffer perimetrale
n. Sottostazioni biogas	6
n. Piezometri	18

Di seguito vengono descritte le attività e le procedure messe in atto durante i controlli.

### **Misura delle emissioni diffuse dal corpo della discarica**

Il controllo completo delle emissioni diffuse è stato avviato con lo studio della copertura della discarica, atto a determinare la zonizzazione di aree omogenee ( $A_i$ ) per copertura e tipologia di rifiuti abbancati. Detto studio è stato effettuato tramite valutazioni cartografiche integrate da indagini dirette e trincee esplorative. Tali informazioni sono risultate utili per la determinazione del numero e distribuzione dei punti di misura ( $N$ ), sui quali effettuare il monitoraggio delle emissioni diffuse tramite FID + flux box.

Poiché la superficie complessiva dell'area da indagare ( $Z$ ) risulta  $>5.000 \text{ m}^2$  per calcolare il numero di punti di misura è stata utilizzata la formula di Kienbusch del 1986:

$$N = 6 + 0,15 * \sqrt{Z}$$

In cui l'area complessiva ( $Z$ ) è data dalla sommatoria delle aree omogenee ( $A_i$ ) in cui è stata suddivisa la stessa; pertanto  $Z = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i$ .

I punti di misura calcolati sono risultati essere 39, e la loro distribuzione è stata definita in modo proporzionale all'estensione di ogni singola area  $A_i$ , in tal modo la densità dei punti di monitoraggio è risultata omogenea su tutta la superficie (es.:  $A_i = 2.500 \text{ m}^2$  pari a circa 5% di  $Z$  nella stessa ricadono un numero di punti pari a circa 5% di  $N$  cioè 2).

Nel corso della fase di monitoraggio, è stato necessario incrementare le misure in punti in cui sono stati rilevati flussi anomali, verificando se le condizioni riscontrate fossero da attribuire ad un problema puntuale (presenza di falle nella copertura, presenza di pozzo di biogas o percolato, rottura di tubazioni).

L'elaborazione finale dello studio delle emissioni diffuse dal corpo della discarica non ha tenuto conto delle criticità puntuali riscontrate, soggette ad interventi integrativi o correttivi localizzati, anche al fine di fornire un dato significativo della portata media di metano emesso dal corpo dei rifiuti.

### **Verifica delle migrazioni laterali del biogas nel suolo e sottosuolo**

La verifica delle migrazioni laterali del biogas ha previsto:

- a. una prima fase d'indagini speditive per la rilevazione di  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , T e P (soil gas e ambiente) nella rete piezometrica, mediante strumentazione portatile IR e termometro;
- b. una seconda fase d'indagini complete, finalizzata alla correlazione della presenza del metano con le migrazioni laterali di biogas o rilasci di percolato, eseguita attraverso:
  - la rilevazione dei composti in tracce (composti volatili o semi-volatili di cui alla Tab. 2 D.Lgs. 152/06, All.5 Parte Quarta – Titolo V), mediante strumentazione di campo o attraverso campionamento del soil gas ed

analisi GC-MS, eseguita nei piezometri risultati critici ed in micropiezometri dedicati;

- la ricerca di metano e composti in tracce nelle acque sotterranee;
- il fingerprint del biogas e percolato finalizzato alla ricerca dei composti in tracce.

La valutazione delle caratteristiche costruttive della discarica e della rete piezometrica hanno consentito di valutare la significatività dei piezometri utili per la rilevazione del soil gas.

Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche salienti della rete piezometrica.

Piezometro	Profondità (m)	Tratto filtrante (m)	Soggiacenza media (m)	Spessore saturo(m)
PZ3	11,5	3	1,47	10,03
PZ4	11,2	6	10,48	0,72
P1	24	18	16,17	7,83
P2	24	18	16,44	7,56
P3	24	18	15,03	8,97
P3A	6,82	6	2,34	4,48
P4	7,32	6	2,72	4,60
P4A	8,87	6	4,67	4,20
P5	7,7	6	5,99	1,71
P5A	8,8	6	7,89	0,91
P5B	8,2	6	8,19	0,02
P6	8,1	6	8,10	0,00
P6A	8,26	6	8,26	0,00
P6B	9	6	9,00	0,00
P7	8,85	6	8,29	0,56
P7A	8,5	3	8,48	0,02
PZ6	28,55	6	23,65	4,90
PZ5	23,2	6	21,22	1,98

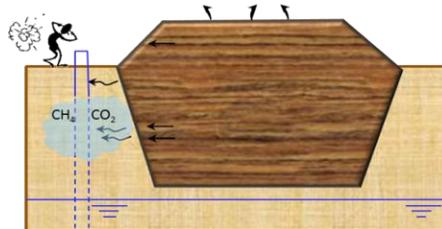
Sulla base di elementi quali:

- Soggiacenza delle acque sotterranee (m)
- Profondità dei piezometri e relative quote inferiori e superiori (m slm)
- Spessore tratto fenestrato (m)
- Base rifiuti (m slm)
- Litologia

è stato possibile definire quali tra i piezometri realizzati risultassero significativi o poco significativi per tale tipologia di indagini.

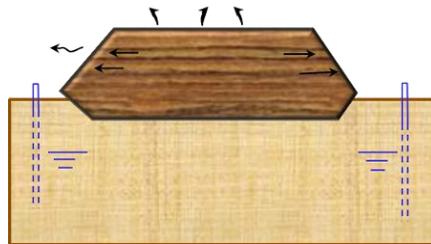
Infatti è stato definito *piezometro significativo*, vedi figura sottostante, quello in cui il tratto fenestrato risulta in corrispondenza del corpo dei rifiuti e pertanto, in grado di captare eventuali migrazioni di biogas;

*Piezometro significativo*



mentre è stato definito *piezometro poco significativo*, vedi figura sottostante, quello in cui il tratto fenestrato risulta in corrispondenza del substrato litoide, a quota inferiore rispetto al piano di imposta della barriera di confinamento del fondo discarica.

*Piezometro poco significativo*



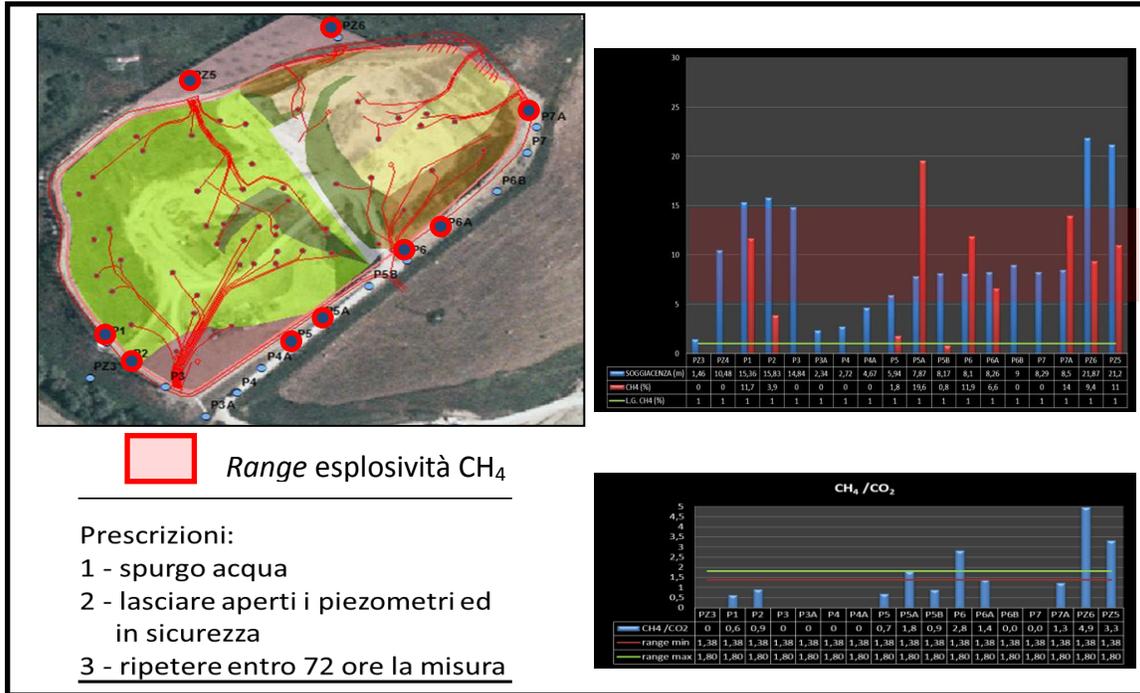
Per valutare le condizioni di sicurezza è stato confrontato il valore di metano misurato nei piezometri con il *range* di esplosività del metano che, alle condizioni di 20°C e 1 atm, è pari a 5-15%, dove il valore inferiore pari al 5% rappresenta il limite inferiore di esplosività (LEL). La presenza di metano in concentrazioni superiori al 5% in n. 7 piezometri ha determinato la necessità di attivare misure d'emergenza integrando il Piano d'Intervento contenuto in AIA.

Inoltre, nel corso della prima fase d'indagini è stato assunto come *livello di guardia* del metano nella rete piezometrica il 20% del LEL ossia l'1 % = 10.000 ppmv, valori superiori a tale limite hanno portato ad attivare un programma di monitoraggio ed interventi di mitigazione in ulteriori n. 2 piezometri.

Al fine di attribuire con certezza il metano rivenuto nella rete piezometrica a fughe laterali di biogas di discarica è stato calcolato il rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>. Infatti, come emerge dalla letteratura di settore, detto rapporto, tipico del biogas di discarica, varia nel *range* 1,375-1,800. Parimenti è possibile raffrontare il rapporto CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> con i dati specifici della discarica mediante misura diretta di tali parametri in ciascuna sottostazione della

### 3. Matrice Aria: Definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera

rete di captazione del biogas. Si evidenzia che la presenza di vegetazione in prossimità dei piezometri potrebbe alterare tale rapporto a favore del metano. Nelle figure sottostanti, a titolo esemplificativo, è riportata l'elaborazione dei risultati della prima campagna di monitoraggio della fase d'indagini speditive.



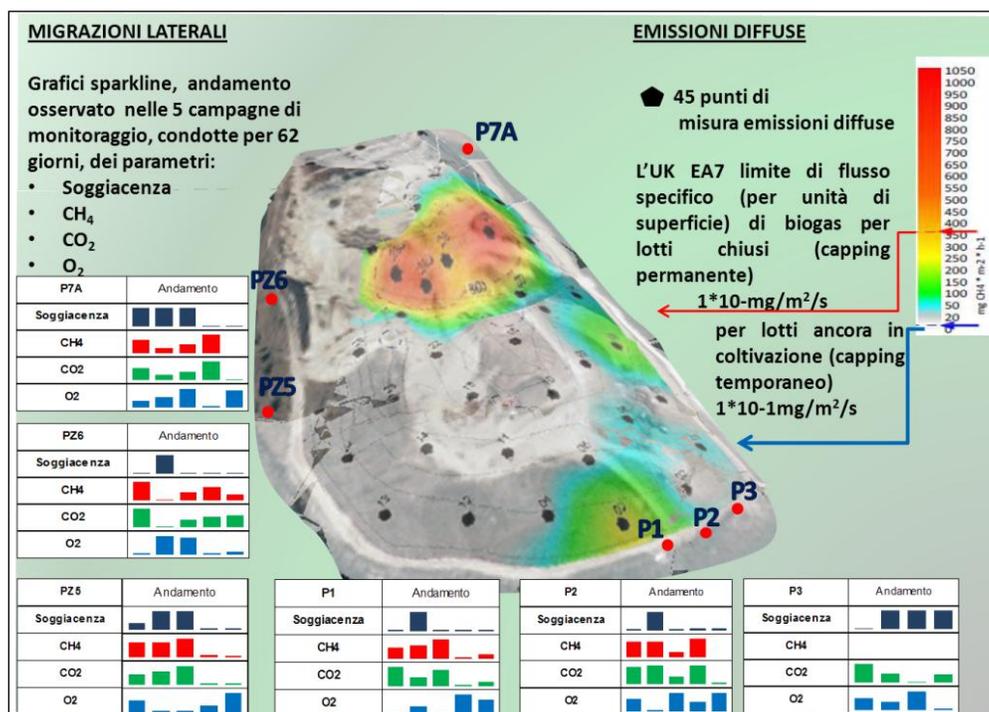
La prima fase d'indagine speditiva ha comportato la realizzazione di n. 6 ispezioni che hanno dato luogo all'attivazione e integrazione del Piano di Intervento (PI) in accordo con gli Enti di Controllo e l'A.C.. Le attività di mitigazione e d'emergenza messe in opera, consistite nello spurgo naturale e forzato del metano, hanno consentito di circoscrivere la problematica a soli n. 2 piezometri, nei quali si è proceduto ad attivare la seconda fase completa d'indagini.

Di seguito sono sintetizzati i risultati della fase speditiva.

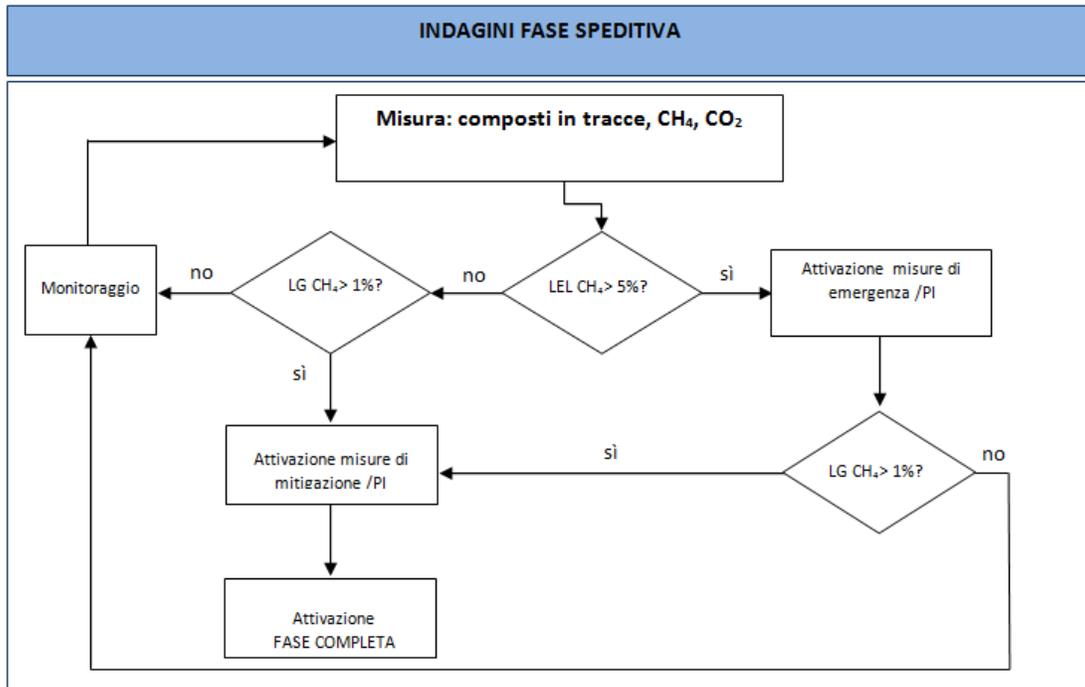
### 3. Matrice Aria: Definizione dei livelli di guardia e monitoraggio delle emissioni in atmosfera

	Piezometri	Attività	Tempistica (giorni)
<b>Prima ispezione</b>	Tutta la rete piezometrica	Misura soggiacenza - Rilevazione CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> con strumentazione Gas Analyzer e segnalazione piezometri con CH <sub>4</sub> >1%	t <sub>0</sub> 0
<b>Seconda ispezione</b>	Piezometri con CH <sub>4</sub> >1%	Misura soggiacenza - Rilevazione CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> con strumentazione Gas Analyzer - Attivazione spurgo naturale piezometri.	t <sub>1</sub> 3
<b>Terza ispezione</b>	Tutta la rete piezometrica	Ripetizione della misura - Verifica esplosione con adeguata strumentazione (GAS ALERT MAX XT)	t <sub>2</sub> 7
<b>Quarta ispezione</b>	Piezometri critici	Misura soggiacenza - Rilevazione CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> con strumentazione Gas Analyzer - Spurgo forzato di 5 volumi d'aria nei piezometri con criticità per garantire condizioni sicurezza.	t <sub>3</sub> 30
<b>Quinta ispezione</b>	Piezometri critici	Rilevazione CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> con strumentazione Gas Analyzer ed individuazione azioni di intervento.	t <sub>4</sub> 7
<b>Sesta ispezione</b>	Piezometri critici	Rilevazione CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> con strumentazione Gas Analyzer - Estrazione e fingerprint del soil gas campionato nei piezometri e nel top soil. Fingerprint del biogas captato dai pozzi di estrazione. Fingerprint del percolato.	t <sub>5</sub> 15

I risultati del controllo delle emissioni diffuse e delle migrazioni laterali sono riassunte nella figura sottostante.

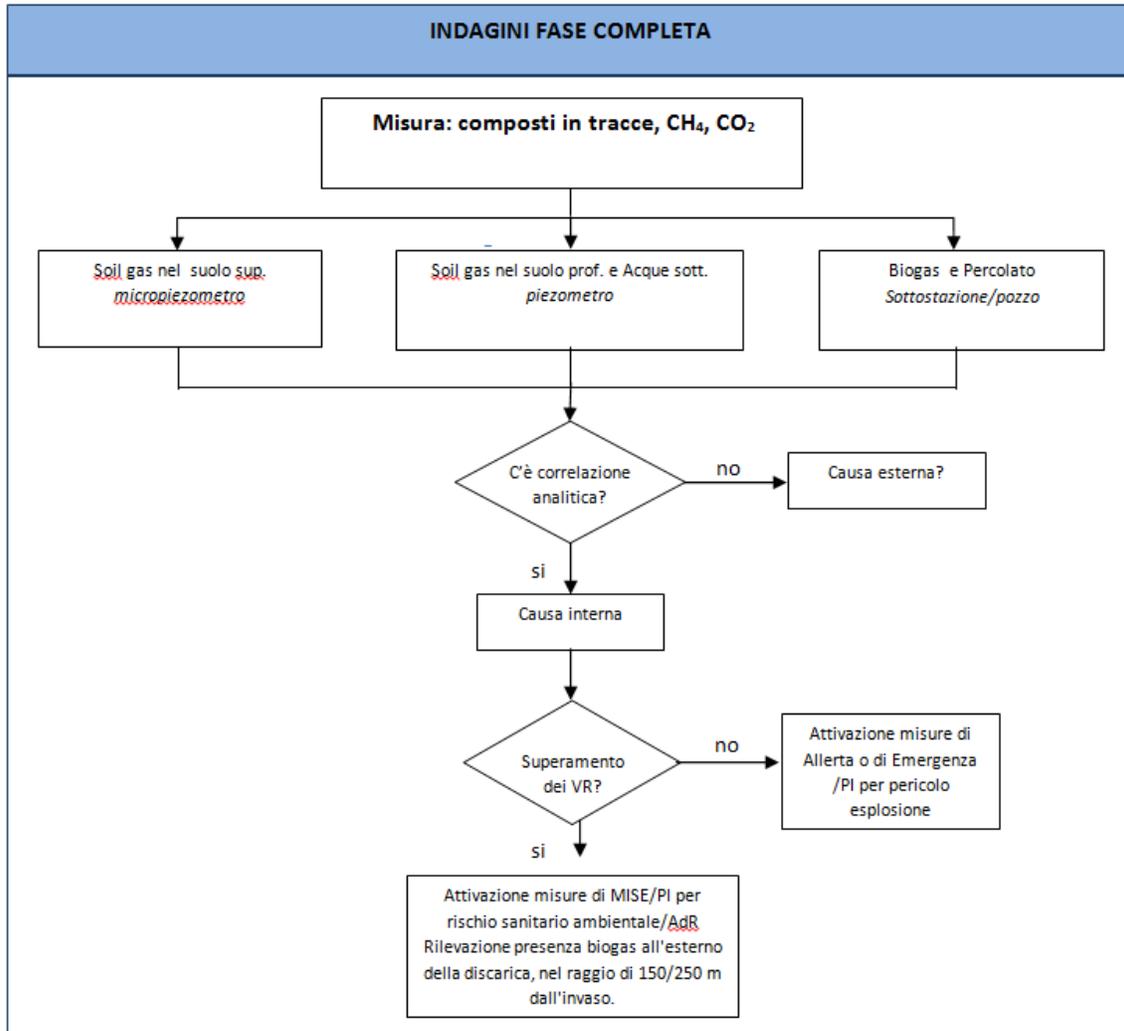


Di seguito si schematizzano in due diagrammi di flusso le procedure operative relative alle fasi speditiva e completa.



La seconda fase (completa) delle indagini deve prevedere:

1. Misura diretta del soil gas, nel suolo superficiale e profondo, per la determinazione dei composti in tracce e raffronto con i valori di riferimento (VR) riconosciuti a livello europeo definiti nella Tab. 4 o in caso di assenza con il valore di fondo o con il limite strumentale;
2. Verifica dello stato chimico delle acque sotterranee di cui alla Tab. 1, All.2 D.Lgs. 36/03 (composti in tracce e metano);
3. Caratterizzazione del percolato con la ricerca dei composti in tracce del biogas;
4. Caratterizzazione del biogas con la ricerca dei composti in tracce;
5. Elaborazione AdR per la definizione delle CSR per i composti in tracce e/o calcolo del rischio in modalità diretta con CRS;
6. Rilevazione presenza del biogas all'esterno della discarica, nel raggio di 150/250 m dall'invaso.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] UK Environment Agency Guidance on landfill gas flaring v. 2.1 – November 2002
- [2] U.S.EPA, Guidance for evaluating landfill gas emissions from closed or abandoned facilities, EPA-600/R-05/123a, September 2005
- [3] Barlaz MA, Chanton JP, Green RB. J Air Waste Manag Assoc. 2009 Dec 59(12):1399-404
- [4] APAT, Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche, Rev.0, Giugno 2005
- [5] U.K. Environment Agency, Guidance on the management of landfill gas, LFTGN 03, September 2004
- [6] Wales EA, Guidance for monitoring trace components in landfill gas, LFTGN04 v3, 2010
- [7] WHO Regional Office for Europe, Air Quality Guidelines for Europe, 2° Edition, European series n. 91, 2000
- [8] WHO Regional Office for Europe, Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010 (ISBN 978 92 890 0213 4)
- [9] Berardi S., Bemporad E., D'Aprile L., L'intrusione di vapori da suolo contaminato in ambienti di lavoro: quali target di concentrazione?, Atti del Convegno Le Giornate di Corvara (18° Convegno di igiene industriale), 188-204, Corvara (BZ,) 28 - 30 marzo 2012, DTO Servizi S.r.l., Spinea (VE).
- [10] U.S. EPA, Exposure Factor Handbook, EPA/600/R-09/052F September 2011
- [11] Crump KS (2011) Use of threshold and mode of action in risk assessment. Crit Rev Tox 41(8):637–650
- [12] ECHA (2012) Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. Version: 2.1, November 2012
- [13] ARPAV (2009)
- [14] Norma CEI EN 60079-20-1: 2010-09 Atmosfere esplosive Parte 20-1: Classificazione dei gas e dei vapori - Metodi di prova e dati
- [15] Wales EA, Guidance on monitoring landfill gas surface emissions, LFTGN07 v2, 2010
- [16] EIGA European Industrial Gases Association, "Hazard of inert gases and oxygen depletion", Brussels, 2009