

LEACH8 VERS. 2.0



## Manuale d'uso

Vers. 2.0  
Dicembre 2021

RECONnet  
Rete Nazionale sulla gestione e la  
Bonifica dei Siti Contaminati



## LEACH8

*Il tool Leach8 è stato sviluppato con l'obiettivo di fornire uno strumento che permetta di applicare la procedura di Analisi di Rischio alle discariche per la sorgente percolato. In particolare, il software permette di calcolare la concentrazione ammissibile in discarica, per la concessione delle deroghe ai sensi dell'art. 7-sexies (Sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi) o art. 16-ter (Deroghe) del D.Lgs. n. 36/2003, così come modificato dal D.Lgs. n. 121/2020. Sempre sulla base delle modifiche introdotte dal D.Lgs. n. 121/2020, il software può essere utilizzato anche per le valutazioni di rischio alla fine del periodo di gestione post-operativa della discarica (art. 13 del D.Lgs. 36/2003). Infine, il software può essere utilizzato per stimare la concentrazione attesa in falda in funzione delle concentrazioni misurate in discarica e delle caratteristiche del sito definite dall'utente.*

*Si sottolinea che il software realizzato non vuole e non può essere sostitutivo della professionalità dei tecnici. In tal senso i risultati che vengono forniti sono sotto la piena responsabilità di chi effettua lo studio di analisi di rischio.*

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

Andrea Forni, Libero Professionista  
Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Igor Villani, Regione Emilia-Romagna

### **Autori del tool**

Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Andrea Forni, Libero Professionista

### **Coordinatori del gruppo di lavoro (in ordine alfabetico)**

Andrea Forni, Libero Professionista  
Igor Villani, Regione Emilia-Romagna

*Si ringraziano per gli utili suggerimenti e riscontri (in ordine alfabetico):*

*Diego De Caprio, Regione Veneto  
Antonio Traversa, Arpa Lazio*

Leach8 è distribuito gratuitamente da:

**RECONnet**, Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati  
Viale del Politecnico, 1  
00133 Roma  
[www.reconnet.net](http://www.reconnet.net)

### **DISCLAIMER**

*Il presente prodotto è il risultato del lavoro coordinato in seno alla rete RECONNET "Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati". I prodotti elaborati dalla Rete sono tutelati dalle norme sul copyright e sono di esclusiva proprietà di tutte le parti coinvolte nell'Accordo. A tal riguardo i "Prodotti RECONnet" possono essere modificati e/ o revocati da RECONNET in qualsiasi momento e senza preavviso. Tutte le indicazioni e i dati presenti nei "Prodotti RECONnet" costituiscono una semplice guida di carattere informativo, finalizzata a conseguire un corretto orientamento per la valutazione e la diffusione di tecnologie e tematiche ambientali. Di conseguenza, la Rete RECONnet e i suoi membri non rilasciano alcuna garanzia e declinano ogni responsabilità in merito alla completezza e all'utilità delle informazioni, dei prodotti o dei processi divulgati, nonché agli eventuali danni derivanti dall'utilizzo degli stessi da parte degli utenti. Il riferimento e i richiami presenti nei documenti RECONNET relativi a tecnologie e prodotti offerti da terze parti non costituiscono un riconoscimento di garanzia e di qualità degli stessi. Le opinioni espresse dagli autori non rappresentano necessariamente quelle degli Enti di Controllo. Si sottolinea infine che il software realizzato non vuole e non può essere sostitutivo della professionalità dei tecnici. In tal senso i risultati che vengono forniti sono sotto la piena responsabilità di chi effettua lo studio di analisi di rischio.*

# INDICE

---

Leach8 .....	2
Indice .....	3
1 Cos'è il Leach8.....	4
2 Installazione e avvio del tool.....	5
3 Principali novità del software rispetto alla vers. 1.0.....	7
4 Procedura ed equazioni implementate nel tool .....	8
4.1 Concentrazione accettabile in discarica (Analisi Backward) .....	10
4.2 Concentrazione attesa in falda (Analisi Forward) .....	12
4.3 parametri intermedi e stime indirette .....	13
5 Interfaccia del tool .....	18
5.1 Input.....	19
5.2 Limiti normativi .....	22
5.3 Output.....	24
5.3.1 Analisi Backward.....	24
5.3.2 Analisi Forward .....	24
6 Allegato: Sintesi equazioni implementate nel tool.....	27
Bibliografia .....	30

# 1 COS'È IL LEACH8

---

Il tool Leach8 è stato sviluppato con l'obiettivo di fornire uno strumento che permetta di applicare la procedura di Analisi di Rischio alle discariche per la sorgente percolato. In particolare, il software permette di calcolare la concentrazione ammissibile in discarica, per la concessione delle deroghe ai sensi dell'art. 7-sexies (Sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi) o art. 16-ter (Deroghe) del D.Lgs. n. 36/2003, così come modificato dal D.Lgs. n. 121/2020.

Il tool permette di calcolare in modalità "backward" la concentrazione ammissibile in discarica, a partire dalla concentrazione accettabile nelle acque sotterranee e dal fattore di lisciviazione sito-specifico calcolato in funzione delle caratteristiche definite dall'utente. In particolare, lo strumento di calcolo è stato sviluppato facendo riferimento all'Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003, così come modificato dal D.Lgs. n. 121/2020.

Inoltre, qualora dal punto di vista tecnico e scientifico si intendesse valutare anche il contributo di impermeabilizzazione della geomembrana in HDPE (che, si ricorda, è esclusa dalla valutazione del rischio nell'Allegato 7 sopracitato), il Leach8 v. 2.0 ha mantenuto le formule citate nel Parere ISPRA del 31 ottobre 2011 (prot. ISPRA n. 36365) redatto nel contesto del tavolo tecnico istituito dalla Regione Veneto con DGRV 1766/2010, coordinato dalla Direzione regionale Ambiente, tra Regione, URPV (Unione regionale delle Province del Veneto) ed ARPAV.

Il tool permette infine di calcolare in modalità "Forward" la concentrazione attesa in falda al Punto di Conformità (POC) a partire dalla concentrazione misurata in discarica e in funzione delle caratteristiche definite dall'utente.

## 2 INSTALLAZIONE E AVVIO DEL TOOL

---

**Requisiti di Sistema.** Lo strumento di calcolo è stato sviluppato in Visual Basic per lavorare in ambiente Microsoft Excel. Leach8 può essere utilizzato su qualsiasi pc sul quale sia installata una versione di Excel 2003 o superiore.

**Installazione del software.** L'installazione del software può essere effettuata avviando il file di setup presente sul cd o scaricato dal web. Il software deve essere installato in una cartella in cui l'utente ha diritti di amministratore (modifica contenuto e file cartella). Installando il software in una cartella in cui non si hanno diritti di amministratore (ad es. in "C:") non sarà possibile procedere con l'attivazione del tool (non verrà salvata la licenza e vi verrà richiesto ogni volta che avviate il tool di inserire il codice di attivazione).

Per chi non è amministratore della macchina generalmente la cartella "Documenti" del proprio profilo risulta modificabile. Dopo l'installazione, al riavvio del computer, viene creato un collegamento sul desktop e nella barra di avvio dei programmi.

**Avvio del Tool.** Per avviare il tool è sufficiente aprire il file 'Leach8.xls' (o il collegamento presente sul desktop o nella barra dei programmi). Nella stessa directory del file si devono trovare il file di help e la banca dati. All'avvio del software è necessario attivare le Macro e gli ActiveX, implementati nel software tramite Visual Basic. Pertanto, prima di avviare il software si consiglia di verificare che il livello di protezione delle macro sia su "medio" o "alto".

*Excel 2003.* Prima di avviare 'Leach8', nel menù di Excel accedere in "Strumenti >> Macro >> Protezione". Verificare che come livello di protezione sia selezionato "Medio". Successivamente avviare Leach8 e all'apertura del file uscirà un avviso di protezione. Per procedere selezionare "Attiva Macro".

*Excel 2007:* Prima di avviare 'Leach8', accedere dal menù principale di Excel in "File >> Opzioni di Excel >> Centro Protezione >> Impostazione Centro Protezione >> Impostazioni Macro". Verificare che come livello di protezione sia selezionato "Disattiva tutte le macro con notifica". Successivamente avviare Leach8 e all'apertura del file uscirà un avviso di protezione. Per procedere selezionare "Opzioni/Attiva il Contenuto".

*Excel 2010 o superiore:* Prima di avviare 'Leach8', accedere dal menù principale di Excel in "File >> Opzioni >> Centro Protezione >> Impostazione Centro Protezione >>

Impostazioni Macro". Verificare che come livello di protezione sia selezionato "Disattiva tutte le macro con notifica". Successivamente avviare 'Leach8' e all'apertura del file uscirà un avviso di protezione. Per procedere selezionare "Opzioni/Attiva il Contenuto".

**Attivazione del Software.** Per scopi statistici e gestionali il software viene distribuito in singola licenza. Al primo avvio del software viene richiesto di inserire nome, cognome e la società /ente di riferimento. Una volta inseriti i dati premere "crea nuova licenza" e viene fornito un numero identificativo dell'installazione ("ID di Installazione"). A questo punto premere "Attiva in seguito" (il software memorizza i dati inseriti ed il codice di installazione) ed accedere al sito [www.reconnet.net](http://www.reconnet.net) (nella pagina del Leach8) per ottenere il codice di attivazione. Inserito il codice premere il pulsante "Attiva software" ed il software è pronto per l'uso. Qualora fossero necessarie più licenze è sufficiente ripetere questa operazione su tutti i computer sui quali si desidera installare il tool.

### 3 PRINCIPALI NOVITÀ DEL SOFTWARE RISPETTO ALLA VERS. 1.0

---

Le principali novità della versione 2.0 rispetto alla versione 1.0 sono di seguito elencate.

**Nuovo pacchetto di impermeabilizzazione.** Sulla base di quanto riportato nell'Allegato 1 del D.Lgs. n. 36/2003 (di seguito Allegato 1), al materassino bentonitico e alla geomembrana in HDPE (già presenti nella v.1.0) sono stati aggiunti i seguenti materiali per la simulazione del pacchetto impermeabilizzante:

- 1) **formazione o barriera geologica naturale.** In particolare, per la descrizione di tale strato si veda in dettaglio:
  - a) per le Discariche per rifiuti Inerti, il Punto 1.2.2 dell'Allegato 1;
  - b) per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1;
- 2) **terreni argillosi per il completamento della barriera** di cui sopra (eventuale). In particolare, per la descrizione di tale eventuale strato di materiale argilloso compattato, si veda in dettaglio il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1;
- 3) **strato di impermeabilizzazione artificiale.** In particolare, per la descrizione di tale strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale, si veda in dettaglio:
  - a) per le Discariche per rifiuti Inerti, si veda il Punto 1.2.2 dell'Allegato 1;
  - b) per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, si veda il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1.

Gli strati di cui sopra, possono essere considerati sia per la simulazione dell'AdR sia per il calcolo del tempo di attraversamento previsto dal Punto 2.4.2 dell'Allegato 1<sup>1</sup> (box "Livello 1" nel software).

**Geomembrana in HDPE.** È stata aggiunta la possibilità di inserire lo spessore e la conducibilità idraulica in modo da poter essere considerata nel calcolo del tempo di attraversamento.

**Sistema barriera.** Sulla base dei box "AdR" e "Livello 1" selezionati vari strati sopra menzionati il software calcola il Gradiente idraulico medio verticale, la Conducibilità equivalente e il Tempo di attraversamento (questo ultimo parametro è funzionale solo alla verifica di quanto previsto dal Punto 2.4.2 dell'Allegato 1 e non viene pertanto calcolato per l'AdR).

---

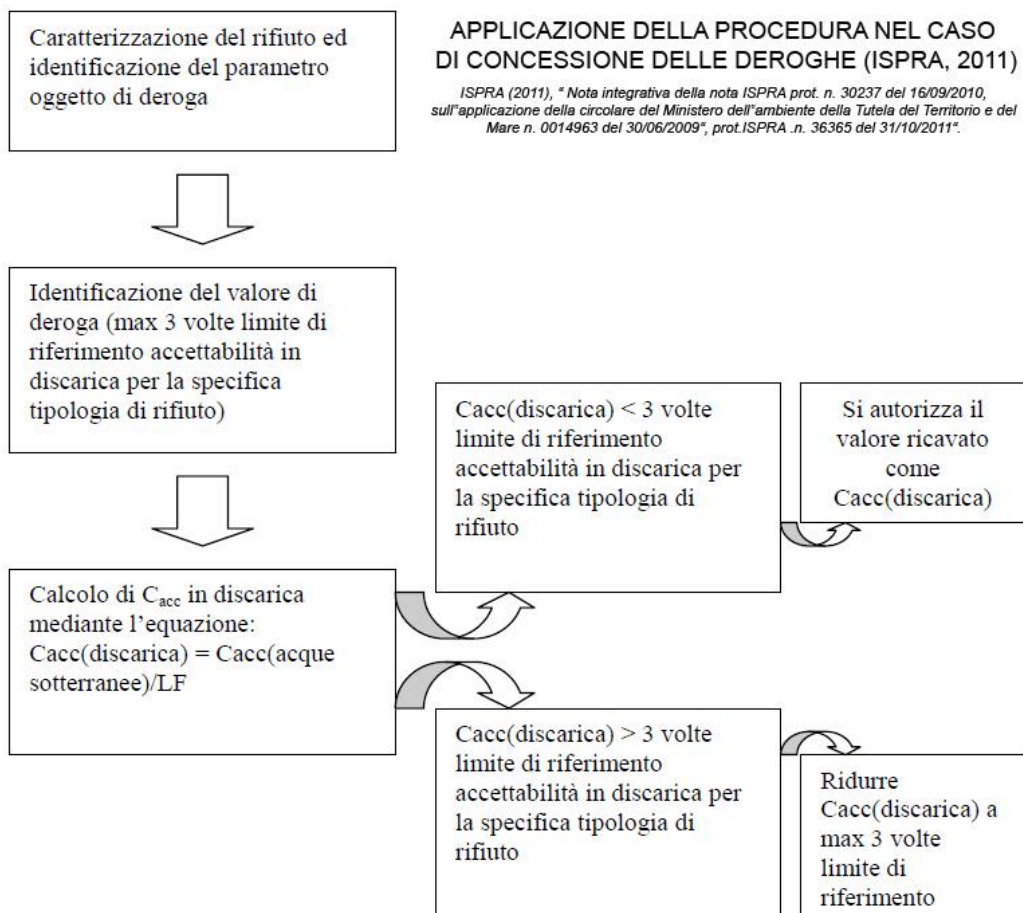
<sup>1</sup> "Ai fini dell'equivalenza i tempi di attraversamento da rispettare, nell'ipotesi di un carico idraulico di 0,3 m, non devono essere inferiori ai 25 anni per le discariche per rifiuti non pericolosi e 150 anni per le discariche per rifiuti pericolosi."

## 4 PROCEDURA ED EQUAZIONI IMPLEMENTATE NEL TOOL

Come descritto in precedenza, Leach8 permette di applicare la procedura di Analisi di Rischio applicata alle discariche in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana. In particolare, Leach8 può essere applicato preliminarmente alla concessione delle deroghe o a valle della caratterizzazione del rifiuto nel caso delle sottocategorie. La procedura implementata nel tool si basa su quanto definito nell'Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003.

A titolo esemplificativo, qui di seguito si riporta uno schema di applicazione riportato nel Parere ISPRA (2011), sintetizzato nelle figure seguenti.

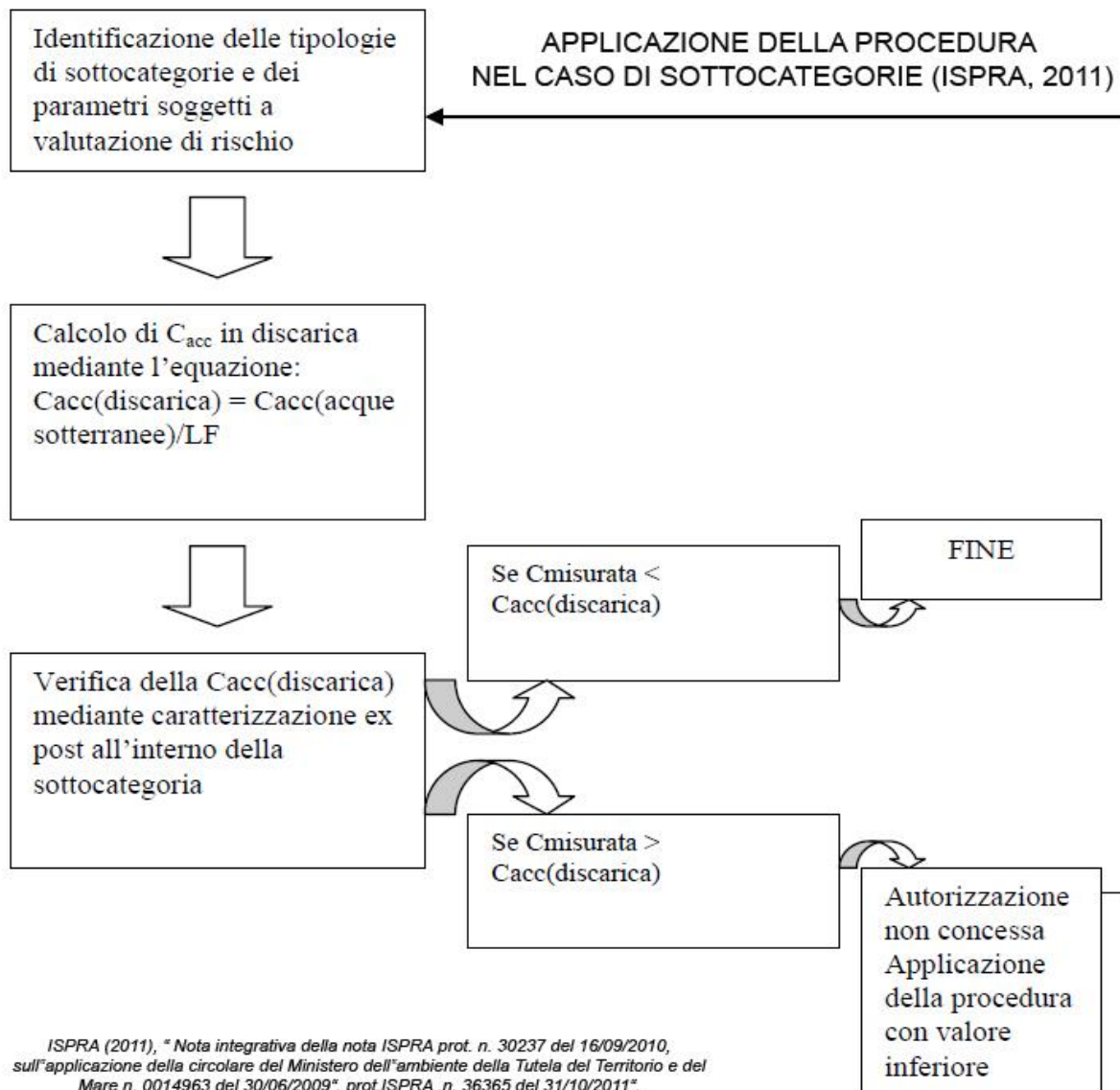
Si ricorda che ai sensi del comma c-bis) dell'art. 16-ter (Deroghe) del D.Lgs. n. 36/2003, a partire dal 1° luglio 2022 i valori limite autorizzati per la specifica discarica non devono superare, per più del doppio, quelli specificati per la corrispondente categoria di discarica.



**Figura 1.** Procedura implementata in Leach8 nel caso delle deroghe (estratto da ISPRA, 2011)

NOTA: max 2 volte limite di riferimento accettabilità in discarica dal 01/07/2022.





**Figura 2.** Procedura implementata in Leach8 nel caso delle sottocategorie (estratto da ISPRA, 2011).

Il software può essere inoltre utilizzato per stimare la concentrazione attesa in falda in funzione delle concentrazioni misurate in discarica e delle caratteristiche del sito definite dall'utente.

Di seguito sono riportate le equazioni implementate nello strumento di calcolo per la stima della concentrazione accettabile in discarica.

#### 4.1 CONCENTRAZIONE ACCETTABILE IN DISCARICA (ANALISI BACKWARD)

Leach8 consente di determinare, per ciascun contaminante indicatore selezionato dall'utente, la **concentrazione accettabile in discarica** ( $C_{acc(discarica)}$ ), pari alla concentrazione in deroga o a quella autorizzabile per la sottocategoria, a partire dalla concentrazione accettabile nelle acque sotterranee ( $C_{acc(acquesott)}$ ), al di sotto del corpo discarica, lungo la verticale, posta pari al limite normativo inferiore o valore di fondo accertato dagli Enti di Controllo, attraverso il calcolo del Fattore di Lisciviazione (LF - *Leaching Factor*).

$$C_{acc(discarica)} \left[ \frac{mg}{L_{percolato}} \right] = \frac{C_{acc(acquesott)}}{LF}$$

Dove il **fattore di lisciviazione LF**, che rappresenta il rapporto tra la concentrazione in falda e quella in uscita dalla sorgente-discardica, viene stimato mediante la seguente equazione (D.Lgs. 36/2003):

$$LF \left[ \frac{mg / L_{acqua}}{mg / L_{percolato}} \right] = \frac{SAM}{LDF}$$

**SAM (-)** è il **coefficiente di attenuazione nel suolo insaturo** (*Soil Attenuation Model*) che tiene conto dell'attenuazione subita dai contaminanti, per effetto di fenomeni di adsorbimento, durante la migrazione verticale dal fondo della discarica alla falda sottostante. Tale fattore viene calcolato nel tool come riportato nel D.Lgs. n. 36/2003:

$$SAM = \frac{d_d}{L_{GW}}$$

Dove:

$d_d$  (m): profondità rispetto al p.c. dello strato impermeabile di fondo (punto di emissione del percolato)

$L_{GW}$  (m): soggiacenza delle acque di prima falda rispetto al piano campagna

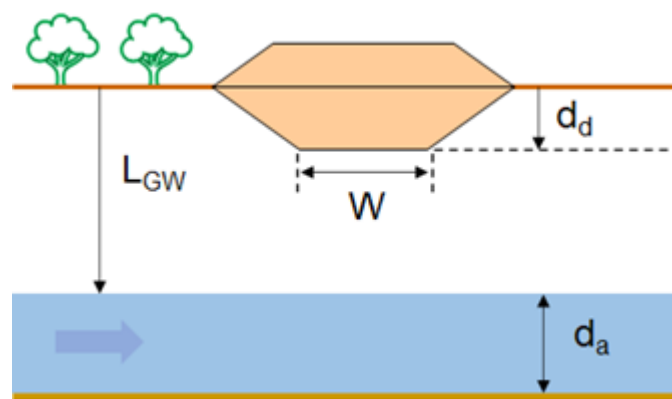


Figura 3. Alcuni parametri presenti all'interno delle equazioni utilizzate.

Si sottolinea che il SAM è attivabile quando la migrazione verticale avviene nel suolo insaturo non contaminato e pertanto tale coefficiente non è utilizzabile nel caso di discariche sopraelevate (D.Lgs. n. 36/2003).

**LDF è il fattore di diluizione in falda** (*Leachate Dilution Factor*), che viene stimato in funzione del flusso di falda e del percolato in uscita dalla discarica (D.Lgs. n. 36/2003):

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw} \cdot S_w}{L_f}$$

Dove:

$v_{gw}$  (m/s): velocità di Darcy dell'acquifero

$S_w$  (m): dimensione della discarica in direzione ortogonale al flusso di falda

$\delta_{gw}$  (m): spessore della zona di miscelazione dell'acquifero

$L_f$  (m<sup>3</sup>/s): flusso di percolato in uscita dalla discarica

Si sottolinea che in considerazione del fatto che lo scenario applicativo della concessione di deroghe si colloca in una fase autorizzativa in cui l'obiettivo è quello di prevenire la contaminazione, nel tool sviluppato, in accordo con quanto previsto nel D.Lgs. n. 36/2003, per l'analisi backward il Punto di Conformità (POC) viene assunto posto immediatamente sotto la potenziale sorgente di contaminazione (nel caso specifico la discarica) lungo la verticale, ovvero a distanza del POC pari a 0 m dalla sorgente. Non vengono quindi presi in considerazione eventuali fenomeni di dispersione e di diluizione della contaminazione connessi al trasporto delle acque sotterranee fino all'esterno della discarica o al punto in cui possano essere presenti bersagli (Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003).

## 4.2 CONCENTRAZIONE ATTESA IN FALDA (ANALISI FORWARD)

Leach8 consente inoltre di valutare, per ciascun contaminante indicatore selezionato dall'utente, la **concentrazione attesa in falda** ( $C_{gw}$ ) al punto di conformità (POC), a partire dalla concentrazione in discarica ( $C_{discarica}$ ) attraverso il calcolo del Fattore di Lisciviazione (LF - *Leaching Factor*) e del fattore di diluizione in falda (DAF – *Dilution Attenuation Factor*).

$$C_{gw} \left[ \frac{mg}{L} \right] = C_{discarica} \cdot LF \cdot DAF$$

Dove il **fattore di lisciviazione LF**, il **coefficiente di attenuazione nel suolo insaturo SAM** il **fattore di diluizione in falda LDF** sono stimati con le equazioni soprariportate.

Si sottolinea che a differenza di quanto fatto per la stima della concentrazione accettabile in discarica (analisi Backward) in cui il POC viene fissato pari a 0, per l'analisi in modalità diretta è possibile valutare la concentrazione in falda ad una certa distanza dal sito in esame.

In particolare, il **DAF è il fattore di diluizione in falda** (*Dilution Attenuation Factor*), che viene stimato attraverso la seguente equazione (ISPRA, 2008):

$$\frac{1}{DAF1} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left( \frac{\delta_{gw}}{4\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right) \quad \text{Dispersione in tutte le direzioni}$$

$$\frac{1}{DAF2} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left( \frac{\delta_{gw}}{2\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right) \quad \text{Dispersione in tutte le direzioni (verticale solo in basso)}$$

$$\frac{1}{DAF3} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \quad \text{Dispersione longitudinale e trasversale}$$

Dove:

$S_w$  (m): *dimensione della discarica in direzione ortogonale al flusso di falda*

$\delta_{gw}$ (m): *spessore della zona di miscelazione dell'acquifero*

POC = *distanza dal punto di conformità (cm)*

La scelta sul DAF1, DAF2 o DAF3 può essere effettuata dall'utente.

Le equazioni utilizzate per calcolo i valori di dispersività in falda sono i seguenti (ISPRA, 2008):

*Dispersività longitudinale,  $\alpha_{x,POC}$  (m)*

$$\alpha_{x,POC} = POC/10$$

*Dispersività trasversale,  $\alpha_{y,POC}$  (m)*

$$\alpha_{y,POC} = \alpha_{x,POC}/3$$

**Dispersione verticale,  $\alpha_{z,POC}$  (m)**

$$\alpha_{z,POC} = \alpha_{x,POC} / 20$$

### 4.3 PARAMETRI INTERMEDI E STIME INDIRECTE

**Velocità di Darcy.** Leach8 calcola in automatico la velocità di Darcy,  $v_{gw}$  (m/s), in funzione del gradiente idraulico e della conducibilità idraulica definiti dall'utente:

$$v_{gw} = K_{sat} \cdot i$$

*Dove:*

$K_{sat}$  (m/s): conducibilità idraulica dell'acquifero

$i$  (m/m): gradiente idraulico

**Spessore della zona di miscelazione.** Leach8 permette di stimare in maniera indiretta lo spessore della zona di miscelazione,  $\delta_{gw}$  (m), utilizzando la seguente equazione (ISPRA, 2008):

$$\begin{cases} \delta_{gw} = (2 \cdot \alpha_z \cdot W)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a}\right) \right] & \text{per } \delta_{gw} \leq d_a \\ \delta_{gw} = d_a & \text{per } \delta_{gw} > d_a \end{cases}$$

*Dove:*

$\alpha_z$  (m): dispersione verticale

$W$  (m): estensione della discarica nella direzione principale del flusso di falda

$d_a$  (m): spessore dell'acquifero

$I_{eff}$  (m/s): infiltrazione efficace

$v_{gw}$  (m/s): velocità di Darcy

**Dispersione verticale.** Leach8 permette di stimare la dispersione verticale,  $\alpha_z$  (m), utilizzando la seguente equazione (ISPRA, 2008):

$$\alpha_z = 0.005 \cdot W$$

*Dove:*

$W$  (m): estensione della discarica nella direzione principale del flusso di falda

**Infiltrazione efficace.** L'infiltrazione efficace,  $I_{eff}$  (m/s), viene stimata nel tool in funzione del percolato prodotto e della superficie di fondo della discarica:

$$I_{eff} = L_f / A_f$$

Dove:

$L_f$  (m<sup>3</sup>/s): flusso di percolato in uscita dalla discarica

$A_f$  (m<sup>2</sup>): superficie di fondo della discarica

**Percolato prodotto.** Se non sono disponibili dati sito-specifici, Leach8 permette di calcolare il percolato prodotto in uscita dalla discarica utilizzando le equazioni definite nelle linee guida ISPRA (2005).

**Percolato in assenza della geomembrana.** Nel caso di assenza della geomembrana il flusso di percolato in uscita dalla discarica,  $L_f$  (m<sup>3</sup>/s), viene stimato utilizzando la seguente equazione (ISPRA, 2005 e Parere ISPRA, 2011):

$$L_f = K_{eq} \cdot i_{av} \cdot A_f$$

Dove:

$A_f$  (m<sup>2</sup>): superficie di fondo della discarica

$K_{eq}$  (m/s): conducibilità idraulica dello strato minerale o qualora siano presenti più strati, per esempio argilla e materassino bentonitico rappresenta la conducibilità idraulica equivalente

$i_{av}$  (m/m): gradiente idraulico medio verticale

In presenza dei vari strati di argilla sopra identificati (barriera naturale, terreni di completamento, strato di impermeabilizzazione artificiale) e del materassino bentonitico la conducibilità equivalente viene calcolata come:

$$K_{eq} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}$$

Dove:

$K_{eq}$  (m/s): conducibilità idraulica equivalente del sistema barriera

$d_{unsat}$  (m): spessore barriera geologica naturale

$K_r$  (m/s): conducibilità idraulica barriera geologica naturale

$d_b$  (m): spessore completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato

$K_b$  (m/s): conducibilità idraulica completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato

$s_B$  (m): spessore materassino bentonitico

$K_B$  (m/s): conducibilità idraulica materassino bentonitico

$d_{ar}$  (m): spessore strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale

$K_{ar}$  (m/s): conducibilità idraulica strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale

Il gradiente idraulico medio verticale viene calcolato mediante la seguente equazione:

$$i_{av} = \frac{h_{perc} + d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar}}{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar}}$$

Dove:

$h_{perc}(m)$ : livello del percolato sul fondo della discarica

$d_{unsat}(m)$ : spessore barriera geologica naturale

$d_b(m)$ : spessore completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato

$s_B(m)$ : spessore materassino bentonitico

$d_{ar}(m)$ : spessore strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale

**Percolato in presenza della geomembrana.** Nel caso di presenza della geomembrana il flusso di percolato in uscita dalla discarica,  $L_f$  ( $m^3/s$ ), viene stimato utilizzando la seguente equazione (Parere ISPRA, 2011):

$$L_f = A_f \cdot \left[ (\rho_m \cdot L'_{fm}) + (\rho_f \cdot L'_{ff}) + (\rho_s \cdot L'_{fs}) \right]$$

Dove:

$A_f$  (ha): superficie di fondo della discarica

$\rho_m, \rho_f, \rho_s$  (numero/ha): densità difetti dei microfori, fori e strappi della geomembrana

$L'_{fm}, L'_{ff}, L'_{fs}$  ( $m^3/s$ ): flussi di percolato che filtrano rispettivamente attraverso i microfori, fori e strappi

I flussi di percolato che filtrano attraverso i microfori, fori e strappi flussi sono calcolati mediante le seguenti equazioni (Parere ISPRA, 2011):

$$\begin{cases} L'_{fm} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_m^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{microfori} \\ L'_{ff} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_f^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{fori} \\ L'_{fs} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_s^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{strappi} \end{cases}$$

Dove:

$C_d(-)$ : costante adimensionale che descrive la qualità del contatto tra la geomembrana e lo strato sottostante. Giroud et al. (1992) propone due valori per tale costante: 0,21 nel caso di buon contatto e 1,15 nel caso di pessimo contatto.

$h_{perc}(m)$ : altezza del livello di percolato al di sopra della geomembrana,

$i_{av}(-)$  gradiente idraulico medio verticale

$a_i$  ( $m^2$ ): area dei difetti presenti (fori, buchi e strappi) presenti nella geomembrana

$K_{eq}$  (m/s): conducibilità idraulica del materiale impermeabile al di sotto dello strato di impermeabilizzazione dello strato o qualora siano presenti più strati, per esempio argilla e materassino bentonitico, conducibilità idraulica equivalente

Il gradiente idraulico medio verticale in caso di presenza di geomembrana viene calcolato mediante la seguente equazione (ISPRA, 2005):

$$i_{av} = 1 + 0,1 \cdot \left( \frac{h_{perc}}{d_{unsat}} \right)^{0,95}$$

Dove:

$h_{perc}$  (m): livello del percolato sul fondo della discarica

$d_{unsat}$  (m): spessore dello strato minerale attraversato

Per quanto riguarda i difetti e le caratteristiche della geomembrana si può far riferimento ai valori indicati nelle linee guida ISPRA (2005) e riportati anche nel Parere ISPRA (2011) riportate nella figura seguente.

Tabella 15. Distribuzione delle caratteristiche dei difetti della geomembrana										
tipo di difetto	difetti della geomembrana							area dei difetti		
	distribuzione di probabilità	densità difetti con CQ <sup>(*)</sup> (numero/ha)			densità difetti senza CQ <sup>(*)</sup> (numero/ha)			distribuzione di probabilità	area dei difetti (m <sup>2</sup> )	
micro fori	triangolare	0	25	25	0	750	750	log uniforme	1x10 <sup>-8</sup>	5x10 <sup>-6</sup>
fori	triangolare	0	5	5	0	150	150	log uniforme	5x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-4</sup>
strappi	trinagolare	0	0,1	2	0	0,5	10	log uniforme	1x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-2</sup>

(\*) CQ è l'abbreviazione di "Controllo di Qualità"

Figura 4. Difetti e le caratteristiche della geomembrana (ISPRA, 2005 e 2011).

Si sottolinea che il D.Lgs. n. 36/2003 non considera la geomembrana (o teli) in HDPE per la stima del flusso in uscita dalla discarica.

**Tempo di attraversamento.** A seconda degli strati selezionati per il Livello 1 viene calcolato il tempo di attraversamento con la seguente formula.

$$t_{attr} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar} + s_{geo}}{K_{eq} \cdot i_{av}} \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365}$$

Dove:

$d_{unsat}$  (m): spessore barriera geologica naturale

$d_b$  (m): spessore completamente artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato

$s_B$ : spessore materassino bentonitico

$d_{ar}$ : spessore strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale

$s_{geo}$  (m): spessore geomembrana in HDPE



$K_{eq}$  (m/s): conducibilità idraulica equivalente del sistema barriera, qualora siano presenti più strati, per esempio i vari strati argillosi, il materassino bentonitico e, nel solo calcolo del tempo di attraversamento, anche la geomembrana in HDPE,

$i_{av}$  (-) gradiente idraulico medio verticale

Nella formula del tempo di attraversamento,  $K_{eq}$  è calcolato con la seguente formula:

$$K_{eq} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar} + s_{geo}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}} + \frac{s_{geo}}{K_{geo}}}$$

Dove:

$K_{geo}$  (m/s): conducibilità idraulica geomembrana in HDPE

$K_r$  (m/s): conducibilità idraulica barriera geologica naturale

$K_b$  (m/s): conducibilità idraulica completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato

$K_B$  (m/s): conducibilità idraulica materassino bentonitico

$K_{ar}$  (m/s): conducibilità idraulica strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale

## 5 INTERFACCIA DEL TOOL

Leach8 utilizza una semplice interfaccia grafica attraverso la quale l'utente può seguire i diversi step per la compilazione dei dati di input e la visualizzazione degli output. Leach8 è strutturato per lavorare nei diversi fogli di calcolo a cui si accede dai relativi pulsanti della schermata principale di avvio (vedi figura).

The screenshot displays the Leach8 software interface with the following components:

- Top Bar:** Includes the software name 'Leach8 2.0 (beta version)', version information, and a 'Note' button. On the right, there are buttons for 'Apri File', 'Salva', 'Analisi Backward (Deroghe)', 'Nuovo', 'Stampa', and 'Analisi Forward (Falda)'.
- Caratteristiche sito (Site Characteristics):** A table with columns for parameter name, symbol, value, and unit. Parameters include surface area ( $A_f$ ), depth ( $d_d$ ), extension ( $W$ ), permeability ( $S_w$ ), groundwater depth ( $L_{GW}$ ), hydraulic gradient ( $i$ ), hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ), aquifer thickness ( $d_a$ ), vertical dispersivity ( $\alpha_v$ ), mixing layer thickness ( $\delta_{GW}$ ), and discharge height ( $h_{perc}$ ).
- Barriera geologica naturale (Natural Geological Barrier):** A table for parameters like hydraulic conductivity ( $K_c$ ), stratum thickness ( $d_{msr}$ ), and options for clayey soils, bentonite mats, and artificial impermeabilization.
- Sistema barriera (Barrier System):** A table for hydraulic gradient, equivalent conductivity, and breakthrough time.
- Percolato in uscita dalla discarica (Leachate Outflow):** A section for calculating leachate flow ( $L$ ) and infiltration efficiency ( $I_{ef}$ ).
- Attenuazione Percolato (Leachate Attenuation):** A section for dilution factor (LDF), Soil Attenuation Model (SAM), and attenuation factor (LF).
- Tipologia Discarica (Landfill Type):** A dropdown menu set to 'Rifiuti inerti (Tab. 2)'.
- Selezione contaminanti (Contaminant Selection):** A grid of checkboxes for various pollutants such as Arsenico, Bario, Cadmio, Cromo Totale, Rame, Mercurio, Molibdeno, Nichel, Piombo, Antimonio, Selenio, Zinco, Cloruri, Fluoruri, Solfati, DOC, Solidi Disciolti (TDS), and Indice Fenolo.
- Guida e definizione dei limiti (Guide and Definition of Limits):** A diagram showing a landfill cross-section with parameters  $W$ ,  $L_{GW}$ ,  $d_d$ , and  $d_a$ . A sidebar lists 'Limiti', 'Deroghe', 'Applicazione', and 'Equazioni'.

Figura 5. Schermata iniziale software Leach8.

Nella schermata principale è possibile definire le informazioni generali sul progetto, la tipologia di discarica, le diverse caratteristiche della discarica, i contaminanti di riferimento e le opzioni di calcolo. Da qui è inoltre possibile salvare o caricare i file generati dal software. I pulsanti “?” presenti in alcune finestre di dialogo permettono di accedere alla guida rapida di riferimento.

## 5.1 INPUT

Per velocizzare il processo di compilazione, in Leach8 vengono richiesti solo i parametri effettivamente utilizzati per il caso specifico in funzione delle opzioni di calcolo. In particolare, le caselle in grigio chiaro sono i dati non richiesti, mentre i dati da inserire sono riportati nelle celle in azzurro. Vengono inoltre evidenziati in rosso i parametri calcolati utilizzando criteri di stima indiretta (se attiva la spunta sui pulsanti “calcolato”). Si sottolinea che i valori precaricati nel software o impostati premendo il pulsante “Valori di default” non rappresentano i valori necessariamente più cautelativi, pertanto, nel caso in cui non si abbia il dato sito-specifico, si consiglia di valutare attentamente il dato da utilizzare.

Di seguito sono brevemente descritte le opzioni di calcolo attivabili nel tool.

**Conducibilità idraulica.** Per la conducibilità dell’acquifero, l’utente può scegliere, dal menù a tendina, se utilizzare i dati indicati nel documento ISPRA (2008) o definire dei dati sito-specifici selezionando dal menù a tendina la voce “--- CUSTOM ---”. In Tabella 1 sono riportati i dati implementati nel tool relativi alle diverse tipologie di terreno.

**Tabella 1.** *Conducibilità idraulica dell’acquifero in funzione della tessitura selezionata (ISPRA, 2008).*

TESSITURA	$K_{sat}$ (m/s)
Sand	8.25E-05
Loamy Sand	4.05E-05
Sandy Loam	1.23E-05
Sandy Clay Loam	3.64E-06
Loam	2.89E-06
Silt Loam	1.25E-06
Clay Loam	7.22E-07
Silty Clay Loam	1.94E-07
Silty Clay	5.56E-08
Silt	6.94E-07
Sandy Clay	3.33E-07
Clay	5.56E-07

**Dispersività verticale.** L’utente può scegliere se inserirla manualmente o calcolarla in funzione dell’estensione della discarica (si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio).

**Spessore della zona di miscelazione.** L’utente può scegliere se inserirlo manualmente o calcolarlo in funzione delle caratteristiche del terreno e dell’acquifero (si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio).

Caratteristiche sito		?	Valori di default	
Superficie di fondo della discarica		$A_f$	100.000	$m^2$
Profondità punto di emissione percolato rispetto p.c.		$d_d$	25	m
Estensione discarica nella direzione del flusso di falda		W	200	m
Estensione discarica nella direzione ortogonale al flusso		$S_w$	500	m
Soggiacenza Falda		$L_{GW}$	30	m
Gradiente Idraulico Falda		i	1,00E-02	m/m
Conducibilità Idraulica Falda	LOAMY SAND ▼	$K_{sat}$	4,05E-05	m/s
Spessore acquifero		$d_a$	25	m
Dispersività verticale	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	$\alpha_v$	1,00E+02	cm
Spessore di miscelazione	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	$\delta_{gw}$	2,07E+01	m
Altezza percolato sul fondo della discarica		$h_{perc}$	0,5	m

Figura 6. Parametri di input: caratteristiche del sito

**Formazione o barriera geologica naturale.** Il tool permette di simulare la presenza di tale strato sia per l'AdR sia per il Livello 1 (ai sensi del Punto 2.4.2 dell'Allegato 1). In particolare, per la descrizione di tale strato si veda in dettaglio:

- per le Discariche per rifiuti Inerti, si veda il Punto 1.2.2 dell'Allegato 1;
- per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, si veda il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1;

**Terreni argillosi per il completamento della barriera** di cui sopra (eventuale). Il tool permette di simulare la presenza di tale strato sia per l'AdR sia per il Livello 1. In particolare, per la descrizione di tale eventuale strato di materiale argilloso compattato, si veda in dettaglio il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1;

**Strato di impermeabilizzazione artificiale.** Il tool permette di simulare la presenza di tale strato sia per l'AdR sia per il Livello 1. In particolare, per la descrizione di tale strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale, si veda in dettaglio:

- per le Discariche per rifiuti Inerti, si veda il Punto 1.2.2 dell'Allegato 1;
- per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, si veda il Punto 2.4.2 dell'Allegato 1.

**Materassino bentonitico.** Il tool permette di stimare il percolato prodotto tenendo conto o meno della presenza del materassino bentonitico. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni implementate si rimanda a quanto riportato in allegato.

**Geomembrana.** Il tool permette di stimare il percolato prodotto tenendo conto o meno della presenza della geomembrana. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni implementate si rimanda a quanto riportato in allegato.

<b>Barriera geologica naturale</b>			
Conducibilità Idraulica	$K_r$	1,0E-09	m/s
Spessore strato	$d_{unsat}$	1,00	m
<b>Terreni argillosi per il completamento - Considera per</b> → <input type="checkbox"/>			
Conducibilità Idraulica	$K_b$	1,0E-09	m/s
Spessore strato	$d_b$	1,00	m
<b>Materassino bentonitico: Considera per</b> → <input type="checkbox"/>			
Conducibilità Materiale bentonico	$K_B$	5,00E-11	m/s
Spessore materassino bentonico	$s_B$	0,006	m
<b>Strato di impermeabilizzazione artificiale - Considera per</b> → <input type="checkbox"/>			
Conducibilità Idraulica	$K_{ar}$	1,0E-09	m/s
Spessore strato	$d_{ar}$	1,00	m
<b>Geomembrana - Considera per</b> → <input type="checkbox"/>			
Conducibilità geomembrana (solo per tempo di attraversamento)	$K_{geo}$	inserisci valore	m/s
Spessore geomembrana (solo per per tempo di attraversamento)	$s_{geo}$	inserisci valore	m
Difetti, Fori e Strappi			

**Figura 6.** Parametri di input: materiali pacchetto impermeabilizzante

**Percolato in uscita dalla discarica.** L'utente può scegliere se calcolare tale parametro utilizzando le equazioni sopra viste o inserire il dato sito-specifico. Si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio.

**SAM.** L'utente può scegliere se tener conto o meno dell'attenuazione subita dal percolato durante la lisciviazione dal fondo della discarica alla falda (SAM, Soil Attenuation Model). Si sottolinea che il SAM è attivabile quando la migrazione verticale avviene nel suolo insaturo non contaminato e pertanto tale coefficiente non è utilizzabile nel caso di discariche sopraelevate. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni implementate si rimanda a quanto

riportato in allegato.

**Tipologia discarica.** In accordo con quanto previsto dal D.Lgs. n. 36/2003 nel tool è possibile selezionare tra 4 tipologie di discariche: Rifiuti inerti (Tab. 2), Rifiuti non pericolosi (Tab. 5), Rifiuti non pericolosi (Tab. 5a), Rifiuti pericolosi (Tab. 6). In funzione della tipologia di discarica selezionata vengono utilizzati i valori di riferimento riportati nell'Allegato 4 del D.Lgs. n. 36/2003.

## 5.2 LIMITI NORMATIVI

Nel Leach8 sono implementati i criteri di ammissibilità in discarica stabiliti dal D.Lgs. n. 36/2003 in funzione della tipologia di discarica descritti in Tabella 2 (vedi Figura 7).

Per quanto riguarda i limiti per le acque sotterranee sono precaricati i valori definiti nella Tab. 3 del D.Lgs. 30/2009 e dove non disponibili i valori suggeriti nell'Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003. I parametri precaricati nel tool (che tuttavia possono essere modificati dall'utente) sono riportati in tabella seguente.

Leach8  
Limiti Normativi

Valori di Default    Output    Home

Contaminante	Tab. 2 - D.Lgs. 36/2003**	Tab. 5 - D.Lgs. 36/2003**	Tab. 5a - D.Lgs. 36/2003**	Tab. 6 - D.Lgs. 36/2003**	Limiti acque sotterranee (modificabili) ?	
	Rifiuti inerti (Tab. 2)	Rifiuti non pericolosi (Tab. 5)	Rifiuti non pericolosi (Tab. 5a-SNR)	Rifiuti pericolosi (Tab. 6)	mg/L	Riferimento
	mg/L					
Arsenico	0,05	0,2	0,2	2,5	0,01	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Bario	2	10	10	30	0,1	Tab. 1/A All. 2 parte terza - D.Lgs. n. 152/06
Cadmio	0,004	0,1	0,1	0,5	0,005	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Cromo totale	0,05	1	1	7	0,05	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Rame	0,2	5	5	10	1	CSC (D.Lgs. 152/06)
Mercurio	0,001	0,02	0,02	0,2	0,001	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Molibdeno	0,05	1	1	3	0,05	All. 7 - D.Lgs. 36/2003
Nichel	0,04	1	1	4	0,02	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Piombo	0,05	1	1	5	0,01	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Antimonio	0,006	0,07	0,07	0,5	0,005	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Selenio	0,01	0,05	0,05	0,7	0,01	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Zinco	0,4	5	5	20	3	CSC (D.Lgs. 152/06)
Cloruri	80	2500	1500	2500	250	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Fluoruri	1	15	15	50	1,5	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
Solfati	100	5000	2000	5000	250	Tab. 3 - D.Lgs. 30/2009
DOC	50	100	80	100	10	Assumendo 1/3 del limite COD (1)
TDS	400	10000	6000	10000	500	All. 7 - D.Lgs. 36/2003
Indice Fenolo	0,1	-	-	-	0,0005	ISS Prot. 5558-25/03/2004

\* In rosso vengono evidenziati i limiti per le acque sotterranee modificati rispetto al default

\*\* Così come modificato dal D.Lgs. n. 121/2020

<sup>(1)</sup> Allegato 7, D.Lgs. 36/2003. "Nel caso del parametro DOC si propone di utilizzare come riferimento il rapporto tra COD nell'eluato (chemical oxygen demand) e DOC (dissolved organic carbon) di 3, confermato da molteplici evidenze sperimentali, e facendo riferimento al limite previsto per il COD per le acque superficiali destinate a essere utilizzate per la produzione di acqua potabile dopo i trattamenti appropriati (30 mg/l)."

**Figura 7. Schermata limiti normativi implementati in Leach8.**

**Tabella 2.** Limiti acque sotterranee precaricati nel Leach8.

Contaminante	Limiti acque sotterranee	
	C (mg/L)	Note
<b>Arsenico</b>	<b>0,01</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Bario</b>	<b>0,1</b>	Tab. 1/A All. 2 parte terza - D.Lgs. 152/06
<b>Cadmio</b>	<b>0,005</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Cromo totale</b>	<b>0,05</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Rame</b>	<b>1</b>	CSC (D.Lgs. 152/06)
<b>Mercurio</b>	<b>0,001</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Molibdeno</b>	<b>0,05</b>	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003
<b>Nichel</b>	<b>0,02</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Piombo</b>	<b>0,01</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Antimonio</b>	<b>0,005</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Selenio</b>	<b>0,01</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Zinco</b>	<b>3</b>	CSC (D.Lgs. 152/06)
<b>Cloruri</b>	<b>250</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Fluoruri</b>	<b>1,5</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>Solfati</b>	<b>250</b>	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
<b>DOC</b>	<b>10</b>	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003 (assumendo 1/3 del limite COD)
<b>TDS</b>	<b>500</b>	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003
<b>Indice Fenolo</b>	<b>0,0005</b>	ISS Prot. 5558-25/03/2004

In particolare, con riferimento ai valori riportati in Tabella 2 si cita quanto riportato nell'Allegato 7 al D.lgs. n. 36/2003:

- *“Nel caso del parametro TDS si propone di utilizzare come riferimento il valore di 500 mg/l proposto da US EPA, che considera il parametro TDS come secondary drinking water standard (USEPA, IRIS, Integrated Risk Information System).*
- *Nel caso del parametro molibdeno si propone di utilizzare il limite di 50 µg/l previsto dalla normativa tedesca.*
- *Nel caso del parametro DOC si propone di utilizzare come riferimento il rapporto tra COD nell'eluato (chemical oxygen demand) e DOC (dissolved organic carbon) di 3, confermato da molteplici evidenze sperimentali, e facendo riferimento al limite previsto per il COD per le acque superficiali destinate a essere utilizzate per la produzione di acqua potabile dopo i trattamenti appropriati (30 mg/l).”*
- Nel caso del parametro Indice Fenolo, come già presente nella v.1.0 del software, nel tool è implementato il limite di 5 µg/l indicato nel parere ISS del 2004 (Prot. 5558-25/03/2004).

## 5.3 OUTPUT

### 5.3.1 Analisi Backward

Dal pulsante “Analisi Backward (Deroghe)” della schermata principale (Figura 5) si accede alla schermata di visualizzazione degli output (Figura 8). In tale schermata per ciascun contaminante selezionato dall’utente viene mostrata la concentrazione accettabile calcolata secondo la procedura descritta nel paragrafo 4.1 e i limiti normativi stabiliti dal D.Lgs. n. 36/2003 inerenti i criteri di ammissibilità in discarica in funzione della tipologia di discarica selezionata. Inoltre, in tale schermata viene riportato l’esito della procedura descritta nel paragrafo 4 riportando il valore calcolato nel caso delle deroghe e delle sottocategorie. Nel caso in cui la deroga non sia applicabile per il tipo di discarica o parametro selezionato viene indicato il simbolo NA. A fianco del valore riportato viene inoltre indicato l’esito della valutazione e il valore preso come riferimento (colonna note).

Si ricorda che ai sensi del comma c-bis) dell’art. 16-ter (Deroghe) del D.Lgs. n. 36/2003, a partire dal 1° luglio 2022 i valori limite autorizzati per la specifica discarica non devono superare, per più del doppio, quelli specificati per la corrispondente categoria di discarica.

Contaminante	Cacc discarica (AdR)	Tab. 2 - D.Lgs. 36/2003	Deroga Applicabile** Art. 16ter		Sottocategorie Art. 7-sexies	
	mg/L	mg/L	mg/L	Note	mg/L	Note
Arsenico	2.90E-01	5.00E-02	1.50E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Bario	2.90E+00	2.00E+00	2.90E+00	Cacc (AdR)	NA	Non Derogabile
Cadmio	1.45E-01	4.00E-03	1.20E-02	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Cromo totale	1.45E+00	5.00E-02	1.50E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Rame	2.90E+01	2.00E-01	6.00E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Mercurio	2.90E-02	1.00E-03	3.00E-03	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Molibdeno	1.45E+00	5.00E-02	1.50E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Nichel	5.80E-01	4.00E-02	1.20E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Piombo	2.90E-01	5.00E-02	1.50E-01	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Antimonio	1.45E-01	6.00E-03	1.80E-02	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Selenio	2.90E-01	1.00E-02	3.00E-02	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Zinco	8.70E+01	4.00E-01	1.20E+00	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Cloruri	7.25E+03	8.00E+01	2.40E+02	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Fluoruri	4.35E+01	1.00E+00	3.00E+00	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Solfati	7.25E+03	1.00E+02	3.00E+02	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
DOC	2.90E+02	5.00E+01	NA	Non Derogabile	NA	Non Derogabile
TDS	1.45E+04	4.00E+02	1.20E+03	3vv Tab. 2 (art. 16ter)	NA	Non Derogabile
Indice Fenolo	1.45E-02	1.00E-01	NA	Non Derogabile. Cacc (AdR) < Tab. 2	NA	Non Derogabile

\* E' possibile servirsi dei valori per il TDS (Solidi disciolti totali) in alternativa ai valori per i solfati e per i cloruri.  
\*\* Le deroghe diventeranno pari a 2 dal 30 giugno 2022 come previsto dal D.Lgs. 121/2020.

Figura 8. Schermata output (Analisi Backward) del software Leach8.

### 5.3.2 Analisi Forward

Dal pulsante “Analisi Forward (Falda)” della schermata principale (Figura 5) si accede alla schermata di visualizzazione degli output (Figura 9). In tale schermata per ciascun contaminante selezionato dall’utente, viene mostrata la concentrazione attesa in falda in



funzione delle concentrazioni nell'eluato misurate in discariche e delle caratteristiche del sito definite dall'utente. In tale schermata è inoltre possibile valutare la concentrazione al POC, ovvero la concentrazione in falda attesa ad una certa distanza dal sito in esame. Si ribadisce che per il valore del POC maggiore di zero viene utilizzato esclusivamente in tale schermata mentre per l'analisi backward, in accordo con quanto previsto nell'Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003, il Punto di Conformità (POC) viene assunto posto immediatamente sotto la potenziale sorgente di contaminazione (nel caso specifico la discarica) lungo la verticale, ovvero a distanza del POC pari a 0 m dalla sorgente. Nel caso in cui venga definito un POC maggiore di zero è possibile definire il tipo di dispersione in falda selezionando il modello da usare (DAF1, DAF2 o DAF3). In tale schermata è possibile, inoltre, valutare le concentrazioni attese in falda anche per i contaminanti per i quali non è possibile applicare la procedura di deroga. In tal caso l'utente deve definire nella tabella inferiore mostrata in Figura 9, il nome del contaminante la concentrazione misurata nell'eluato e la concentrazione limite in falda. Le concentrazioni in falda che risultano superiori al limite normativo vengono evidenziate in rosso. Per valutare l'entità del superamento viene riportato il rischio per la risorsa idrica (Rgw) che viene calcolato come il rapporto tra la concentrazione attesa in falda e il limite di riferimento.



## 6 ALLEGATO: SINTESI EQUAZIONI IMPLEMENTATE NEL TOOL

Parametro	Equazioni
<b>Calcolo concentrazione accettabile (Backward)</b>	
Concentrazione accettabile in discarica	$C_{acc(discarica)} \left[ \frac{mg}{L_{percolato}} \right] = \frac{C_{acc(acquesati)}}{LF}$
Fattore di lisciviazione	$LF = \frac{SAM}{LDF}$
Coefficiente di attenuazione	$SAM = \frac{d_d}{L_{GW}}$
Fattore di diluizione	$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw} \cdot S_w}{L_f}$
<b>Calcolo concentrazione in falda (Forward)</b>	
Concentrazione attesa in falda	$C_{gw} \left[ \frac{mg}{L} \right] = C_{discarica} \cdot LF \cdot DAF$
Fattore di lisciviazione	$LF = \frac{SAM}{LDF}$
Fattore di diluizione in falda (l'utente può scegliere il modello da utilizzare per il calcolo del DAF)	$\frac{1}{DAF1} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left( \frac{\delta_{gw}}{4\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right)$ $\frac{1}{DAF2} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left( \frac{\delta_{gw}}{2\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right)$ $\frac{1}{DAF3} = erf \left( \frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right)$
<b>Parametri Intermedi</b>	
Velocità di Darcy	$v_{gw} = K_{sat} \cdot i$
Spessore miscelazione in falda	$\delta_{gw} = (2 \cdot \alpha_z \cdot W)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp \left( -\frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right]$ <p>Se <math>\delta_{gw} &gt; d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a</math></p>
Dispersività verticale	$\alpha_z = 0.005 \cdot W$
Infiltrazione efficace	$I_{eff} = L_f / A_f$
<b>Calcolo del percolato (in presenza di geomembrana)</b>	
Flusso in uscita da microfori, fori e strappi	$\begin{cases} \dot{L}_{fm} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0.9} \cdot a_m^{0.1} \cdot K_{eq}^{0.74} & \text{microfori} \\ \dot{L}_{ff} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0.9} \cdot a_f^{0.1} \cdot K_{eq}^{0.74} & \text{fori} \\ \dot{L}_{fs} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0.9} \cdot a_s^{0.1} \cdot K_{eq}^{0.74} & \text{strappi} \end{cases}$
Percolato in uscita dalla discarica	$L_f = A_f \cdot \left[ (\rho_m \cdot \dot{L}_{fm}) + (\rho_f \cdot \dot{L}_{ff}) + (\rho_s \cdot \dot{L}_{fs}) \right]$

Parametro	Equazioni
Gradiente idraulico medio verticale	$i_{av} = 1 + 0,1 \cdot \left( \frac{h_{perc}}{d_{unsat}} \right)^{0,95}$
Conducibilità equivalente (argilla + materassino)	$K_{eq} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}$
<b>Calcolo del percolato (in assenza di geomembrana)</b>	
Percolato in uscita dalla discarica	$L_f = K_{eq} \cdot i_{av} \cdot A_f$
Gradiente idraulico medio verticale	$i_{av} = \frac{h_{perc} + d_{unsat}}{d_{unsat}}$
Conducibilità equivalente (argilla + materassino)	$K_{eq} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}$
<b>Calcolo del tempo di attraversamento</b>	
Tempo di attraversamento della barriera	$t_{attr} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar} + s_{geo}}{K_{eq} \cdot i_{av}} \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365}$
Conducibilità equivalente (argilla + materassino+ geomembrana)	$K_{eq} = \frac{d_{unsat} + d_b + s_B + d_{ar} + s_{geo}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}} + \frac{s_{geo}}{K_{geo}}}$

## Nomenclatura Tabella

**A<sub>f</sub>**: Superficie di fondo della discarica (m<sup>2</sup>. Eq. calcolo del flusso con geomembrana in ha)

**a<sub>m</sub>, a<sub>f</sub>, a<sub>s</sub>**: Area dei difetti per microfori, fori e strappi presenti (m<sup>2</sup>)

**C<sub>acc(acquesott)</sub>**: Concentrazione accettabile nelle acque sotterranee (mg/l)

**C<sub>d</sub>**: costante adimensionale che descrive la qualità del contatto tra geomembrana e strato sottostante (-)

**DAF**: Fattore di diluizione in falda (-)

**d<sub>a</sub>**: Spessore acquifero (m)

**d<sub>d</sub>**: Profondità rispetto al p.c.dello strato impermeabile di fondo (m)

**d<sub>unsat</sub>**: Spessore strato minerale insaturo (m)

**h<sub>perc</sub>**: Altezza del livello di percolato sopra la geomembrana o sul fondo della discarica (m)

**i**: Gradiente idraulico in falda (-)

**i<sub>av</sub>**: Gradiente idraulico medio verticale (-)

**I<sub>eff</sub>**: Infiltrazione efficace (m/s)

**LDF**: Fattore di diluizione (-)

**LF**: Fattore di lisciviazione (-)

**L<sub>f</sub>**: Flusso di percolato uscente dalla discarica (m<sup>3</sup>/s)

**L'<sub>fm</sub>, L'<sub>ff</sub>, L'<sub>fs</sub>**: Flussi di percolato che filtrano rispettivamente attraverso i microfori, fori e strappi (m<sup>3</sup>/s)

**L<sub>GW</sub>**: Soggiacenza della falda rispetto al p.c. (m)

**SAM**: Coefficiente di attenuazione (-)

**s<sub>B</sub>**: Spessore materassino bentonitico (m)

**S<sub>w</sub>**: Dimensione della discarica in direzione ortogonale al flusso di falda (m)

**POC**: Distanza della discarica dal punto di conformità (m)

**v<sub>gw</sub>**: Velocità di Darcy (m/s)

**W**: Estensione della discarica nella direzione principale del flusso di falda (m)

$\alpha_z$ : Dispersione verticale al di sotto della discarica (m)  
 $\alpha_{x,POC}$ : Dispersione longitudinale per trasporto al punto di conformità (m)  
 $\alpha_{y,POC}$ : Dispersione trasversale per trasporto al punto di conformità (m)  
 $\alpha_{z,POC}$ : Dispersione verticale per trasporto al punto di conformità (m)  
 $\delta_{gw}$ : Spessore miscelazione in falda (m)  
 $\rho_m, \rho_f, \rho_s$ : Densità o distribuzioni di probabilità rispettivamente dei microfori, fori e strappi (numero/ha)  
 $h_{perc}$ : altezza del livello di percolato sul fondo della discarica (m)  
 $d_{unsat}$ : spessore barriera geologica naturale (m)  
 $K_r$ : conducibilità idraulica barriera geologica naturale (m/s)  
 $d_b$ : spessore completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato (m)  
 $K_b$ : conducibilità idraulica completamento artificiale con uno strato di materiale argilloso compattato (m/s)  
 $s_B$ : spessore materassino bentonitico (m)  
 $K_B$ : conducibilità idraulica materassino bentonitico (m/s)  
 $d_{ar}$ : spessore strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale (m)  
 $K_{ar}$ : conducibilità idraulica strato minerale compattato o di impermeabilizzazione artificiale (m/s)  
 $s_{geo}$ : spessore geomembrana in HDPE (m)  
 $K_{geo}$ : conducibilità idraulica geomembrana in HDPE (m/s)  
 $t_{attr}$ : tempo di attraversamento del Livello 1 calcolato ai sensi del punto 2.4.2. dell'Allegato 1 del Dlgs 36/2003 (anni)

## BIBLIOGRAFIA

---

- D.Lgs. 13 gennaio 2003, n. 36. Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. GU n. 59 del 12-3-2003- Suppl. Ordinario n.40.
- Circolare Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2009). Smaltimento dei rifiuti urbani in discarica: problematiche e dubbi interpretativi. Prot. n. 0014963 del 30/06/2009.
- D.M. 24 giugno 2015. Modifica del decreto 27 settembre 2010, relativo alla definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. GU n.211 del 11-9-2015
- Deliberazione della giunta regionale del Veneto n. 1360 del 30 luglio 2013. Autorizzazioni alle sottocategorie di discariche. Deroghe ai limiti di accettabilità dei rifiuti. Decreto Legislativo 13.01.2003, n. 36 - DM 27.09.2010. Criteri ed indirizzi operativi. Presa d'atto degli esiti del tavolo tecnico regionale istituito con DGRV n. 1766/2010.
- ISPRA (2005). "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche", giugno 2005, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. Attualmente ritirato.
- ISPRA (2008). Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati. Revisione 2 del marzo 2008, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici.
- ISPRA (2011). Nota integrativa della nota ISPRA prot. n. 30237 del 16/09/2010, sull'applicazione della circolare del Ministero dell'ambiente della Tutela del Territorio e del Mare n. 0014963 del 30/06/2009. Prot. ISPRA n. 36365 del 31/10/2011".
- D.Lgs. 3 settembre 2020, n. 121. Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. GU Serie Generale n.228 del 14-09-2020