

LEACH8 VERS. 3.0



Manuale d'uso

Vers. 3.0
Settembre 2026

RECONnet
Rete Nazionale sulla gestione e la
Bonifica dei Siti Contaminati



LEACH8 v. 3.0

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"

Autori del tool

Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"

Andrea Forni, Libero Professionista

Acknowledgments

Si ringraziano i ricercatori, i professionisti delle società di consulenza e i funzionari degli enti di controllo che, nel corso dello sviluppo e dell'evoluzione del software, hanno contribuito con commenti, segnalazioni e suggerimenti al miglioramento delle funzionalità di Leach8.

INDICE

Leach8 v. 3.0	2
Indice	3
1 Condizioni d'uso	4
2 Cos'è il Leach8	8
3 Interfaccia e utilizzo del software	9
4 Storico versioni del software	11
5 Principali novità delle nuove versioni del software	12
5.1 Principali novità della versione 3.0 rispetto alla 2.0	12
5.2 Principali novità della versione 2.0 rispetto alla 1.0	12
6 Procedura ed equazioni implementate nel tool	14
6.1 Concentrazione accettabile in discarica (Analisi Backward)	16
6.2 Concentrazione attesa in falda (Analisi Forward)	18
6.3 Parametri intermedi e stime indirette	19
7 Interfaccia del tool	24
7.1 Input	26
7.1.1 Tipologia Discarica	26
7.1.2 Parametri del sito	29
7.1.3 Selezione contaminanti	32
7.2 Banca dati	34
7.3 Output	35
7.3.1 Deroghe e sottocategorie (Analisi Backward)	35
7.3.2 Concentrazioni in falda (Analisi Forward)	37
7.3.3 Tempi di attraversamento	38
Allegato: Sintesi equazioni implementate nel tool	40
Bibliografia	43

1 CONDIZIONI D'USO

1. Condizioni d'uso e limitazione di responsabilità

1.1 Credits e titolarità

Il software Leach8 è stato sviluppato come strumento di supporto per l'analisi di rischio alle discariche.

Autori e sviluppatori del software:

Iason Verginelli (Università degli Studi di Roma Tor Vergata) e Andrea Forni (Libero Professionista)

Tutti i diritti di proprietà intellettuale sul software, sul codice sorgente, sugli algoritmi e sulla struttura applicativa sono riservati.

1.2 Natura della licenza

Il software è distribuito a titolo gratuito. La presente costituisce licenza proprietaria, personale, non esclusiva, non trasferibile e revocabile. Non è prevista cessione di diritti né accesso al codice sorgente.

1.3 Diritti concessi all'utente

È consentito esclusivamente:

- utilizzare il software per finalità tecniche, scientifiche o di studio;
- generare, salvare e condividere file di simulazione prodotti dal software;
- includere screenshot dell'applicazione in studi, pubblicazioni o report tecnici, con citazione della fonte.

1.4 Divieti

È espressamente vietato:

- modificare, adattare o alterare il software;
- decompilare, disassemblare o effettuare reverse engineering;
- creare opere derivate;
- integrare il software in altri prodotti, piattaforme, servizi o flussi di lavoro automatizzati destinati a terzi;
- distribuire, rivendere, concedere in licenza, noleggiare o commercializzare il software, in tutto o in parte, a titolo oneroso o gratuito;
- rimuovere o alterare credits, riferimenti istituzionali o avvisi di copyright.

Ogni utilizzo non espressamente autorizzato è vietato.

Fatto comunque salvo quanto previsto al successivo art. 1.8, è espressamente esclusa ogni responsabilità degli Autori per danni all'utilizzatore o a terze parti che dovessero derivare dalla violazione da parte dell'utilizzatore dei divieti di cui al presente art. 1.4.

1.4-bis Ambito di utilizzo professionale

Ai fini delle presenti condizioni, per "uso commerciale" si intende esclusivamente la commercializzazione del software stesso, ovvero la sua distribuzione, cessione a qualunque titolo anche gratuito, rivendita, sublicenza o integrazione in prodotti o servizi destinati a terzi.

Non costituisce uso commerciale, ed è pertanto consentito:

- l'utilizzo del software da parte di liberi professionisti, consulenti, tecnici e società di ingegneria nell'ambito di incarichi professionali, anche retribuiti, conferiti da committenti pubblici o privati;
- l'utilizzo del software in procedimenti giudiziari o stragiudiziali, ivi compresi gli incarichi di Consulente Tecnico d'Ufficio (CTU), Consulente Tecnico di Parte (CTP) e perito;
- l'utilizzo del software da parte di pubbliche amministrazioni, enti di ricerca e istituzioni accademiche;
- la pubblicazione, anche a fini commerciali, di studi, relazioni tecniche, perizie e contributi scientifici che incorporino risultati ottenuti dal software, fermo restando l'obbligo di citazione della fonte di cui al punto 1.3.

Resta inteso che gli output prodotti dal software (risultati di calcolo, simulazioni, report) sono di esclusiva proprietà dell'utente che li ha generati. L'utente è l'unico responsabile del loro contenuto, utilizzo e delle decisioni tecniche assunte sulla base degli stessi, ai sensi del successivo punto 1.8.

1.5 Assenza di trattamento dati personali

Il software non comporta trattamento di dati personali ai sensi del Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR). Non sono richiesti dati identificativi, credenziali di accesso o dati personali individuali. Qualora l'utente inserisca volontariamente dati personali nei campi disponibili, ne è l'unico responsabile.

1.6 Natura non certificativa e non sostitutiva

Il software non costituisce strumento di certificazione ufficiale, non sostituisce valutazioni tecnico-amministrative previste dalla normativa vigente e non produce effetti amministrativi o autorizzativi. I risultati hanno esclusiva finalità di supporto tecnico-scientifico.

1.7 Esclusione di garanzia

Il software è fornito "così com'è" ("as is"), senza alcuna garanzia espressa o implicita, anche in considerazione della gratuità della licenza, che l'utilizzatore dichiara di ben conoscere. Non viene garantita l'assenza di errori o malfunzionamenti, l'idoneità per specifiche finalità, la conformità a normative vigenti o l'accuratezza dei risultati in presenza di dati non corretti.

I risultati dipendono esclusivamente dai dati inseriti dall'utente e dalle ipotesi modellistiche adottate.

1.8 Limitazione di responsabilità

Nei limiti massimi consentiti dalla legge, l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, gli autori e i soggetti coinvolti nello sviluppo del software non potranno essere ritenuti responsabili per danni diretti, indiretti, consequenziali, patrimoniali o non patrimoniali derivanti dall'uso o dall'impossibilità di utilizzo del software.

L'utente è l'unico responsabile delle decisioni assunte sulla base dei risultati ottenuti.

1.9 Clausola di manleva

L'utente si impegna a utilizzare il software in modo conforme alle presenti condizioni e a tenere indenne e manlevare l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, gli autori e i soggetti coinvolti nello sviluppo del software da eventuali pretese o richieste di risarcimento promosse da terzi derivanti da uso improprio, inserimento di dati errati o utilizzo dei risultati per finalità diverse da quelle di supporto tecnico-scientifico.

La presente clausola non si applica nei casi di dolo o colpa grave accertati.

1.10 Sicurezza informatica residuale

Nonostante le misure adottate, non può essere garantita l'assoluta assenza di vulnerabilità informatiche.

1.11 Aggiornamenti e modifiche

1.11.1 Aggiornamenti e dismissione del software

I titolari si riservano la facoltà di modificare, aggiornare, sospendere o dismettere il software, in tutto o in parte, in qualsiasi momento e senza obbligo di preavviso. Tali interventi possono comprendere, a titolo esemplificativo e non esaustivo, modifiche alle funzionalità, agli algoritmi di calcolo, all'interfaccia utente, ai requisiti di sistema e ai formati dei file di simulazione. Nessun obbligo di mantenimento, assistenza o retrocompatibilità è posto a carico dei titolari.

1.11.2 Modifiche alle condizioni d'uso

I titolari si riservano la facoltà di modificare le presenti condizioni d'uso in qualsiasi momento, dandone comunicazione all'utente mediante una o più delle seguenti modalità:

- pubblicazione della versione aggiornata sul sito o sulla pagina ufficiale di distribuzione del software;
- visualizzazione di un avviso di modifica all'avvio del software successivo alla pubblicazione della nuova versione delle condizioni;
- inclusione del nuovo testo nei pacchetti di installazione e nelle versioni aggiornate del software.

1.11.3 Accettazione delle modifiche

Le modifiche alle condizioni d'uso producono effetto dal momento della loro pubblicazione e si applicano agli utilizzi successivi alla pubblicazione stessa. Qualora le modifiche riguardino clausole soggette ad approvazione specifica ai sensi degli articoli 1341 e 1342 del Codice Civile (di cui al punto 1.15), il software richiederà all'utente, al primo avvio successivo alla modifica, una nuova accettazione espressa e una nuova approvazione specifica delle clausole interessate. In assenza di tale duplice accettazione, l'utilizzo del software non sarà consentito. Per le modifiche che non riguardano clausole vessatorie, l'utilizzo continuato del software successivo alla pubblicazione della nuova versione delle condizioni costituisce accettazione tacita delle modifiche stesse.

1.11.4 Diritto di recesso dell'utente

L'utente che non intenda accettare le modifiche alle condizioni d'uso ha facoltà di cessare in qualsiasi momento l'utilizzo del software e disinstallarlo, senza necessità di preavviso né oneri di alcun tipo. In tal caso, restano valide le condizioni applicabili agli utilizzi pregressi.

1.11.5 Condizioni applicabili in assenza di accettazione delle modifiche

In assenza di pubblicazione di nuove condizioni d'uso, ovvero in caso di mancata accettazione delle modifiche da parte dell'utente nei termini di cui ai punti precedenti, restano applicabili le condizioni d'uso accettate al momento dell'installazione o dell'ultimo aggiornamento accettato.

1.12 Componenti e servizi di terze parti

Il software può utilizzare librerie o componenti di terze parti soggetti a proprie condizioni d'uso. Eventuali malfunzionamenti derivanti da tali componenti non sono imputabili ai titolari del software.

1.13 Clausola di separabilità

L'eventuale nullità di una clausola non comporta la nullità delle restanti disposizioni.

1.14 Accettazione delle condizioni

L'utilizzo del software è subordinato all'accettazione espressa delle presenti condizioni d'uso, manifestata mediante apposita spunta in fase di installazione e/o primo avvio dell'applicazione.

1.15 Approvazione specifica delle clausole ai sensi degli artt. 1341 e 1342 c.c.

Ai sensi e per gli effetti degli articoli 1341 e 1342 del Codice Civile, l'utente, mediante apposita e distinta spunta, dichiara di aver letto, compreso e specificamente approvato le seguenti clausole: 1.4 e 1.4-bis (Divieti e ambito di utilizzo professionale); 1.7 (Esclusione di garanzia); 1.8 (Limitazione di responsabilità); 1.9 (Clausola di manleva); 1.10 (Sicurezza informatica residuale); 1.11 (Aggiornamenti, modifiche e dismissione del software); 1.11.2 (Modifiche delle condizioni d'uso); 1.16 (Legge applicabile e foro competente).

L'avvio del software in assenza della duplice accettazione di cui ai punti 1.14 e 1.15 non è consentito.

1.16 Legge applicabile e foro competente

Le presenti condizioni d'uso sono regolate dalla legge italiana. Per qualsiasi controversia derivante dall'interpretazione, esecuzione o validità delle presenti condizioni d'uso, ovvero comunque connessa all'utilizzo del software, sarà competente in via esclusiva il Foro di Roma.

Resta salva l'applicazione delle norme inderogabili a tutela del consumatore, ove l'utente rivesta tale qualità ai sensi del D.Lgs. n. 206/2005 (Codice del Consumo); in tal caso, il foro competente è quello di residenza o domicilio elettivo del consumatore.

2 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 relativa al 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. 3.0 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.

3 INTERFACCIA E UTILIZZO DEL SOFTWARE

Installazione del Programma. Il software Leach8 è sviluppato utilizzando le tecnologie JavaScript e HTML.

La versione 3 è distribuita come Progressive Web App (PWA). L'applicazione può quindi essere utilizzata direttamente tramite browser web oppure installata localmente sul proprio dispositivo (utilizzando il pulsante "Installa App").

L'installazione della PWA non richiede diritti di amministratore sulla macchina.

A differenza delle versioni precedenti, Leach8 v. 3 è compatibile con le principali piattaforme desktop (Windows, macOS, Linux) e mobili (iOS, Android). Di conseguenza, l'applicazione può essere utilizzata su computer, tablet e smartphone mantenendo le stesse funzionalità di base.

Avvio del Programma. Per avviare il programma è sufficiente aprire il file 'Leach8' (o il collegamento presente sul desktop o nella barra dei programmi).

Risoluzione ottimale dello schermo. La visualizzazione ottimale di Leach8 si ottiene con una risoluzione dello schermo pari o superiore a 1024 × 768 px.

Il software può comunque essere utilizzato anche su dispositivi con schermi di dimensioni inferiori; in tali casi alcuni elementi dell'interfaccia potrebbero richiedere lo scorrimento della pagina o un ridimensionamento della visualizzazione per una corretta consultazione.

Attivazione del Software. Al primo avvio dell'applicazione, per procedere all'utilizzo del software è necessario prendere visione e accettare le condizioni d'uso, selezionando l'apposita casella di conferma. L'utilizzo del software è subordinato all'accettazione delle condizioni d'uso. Procedendo con l'accesso e l'utilizzo dell'applicazione, l'utente dichiara implicitamente di aver letto e accettato integralmente tali condizioni.

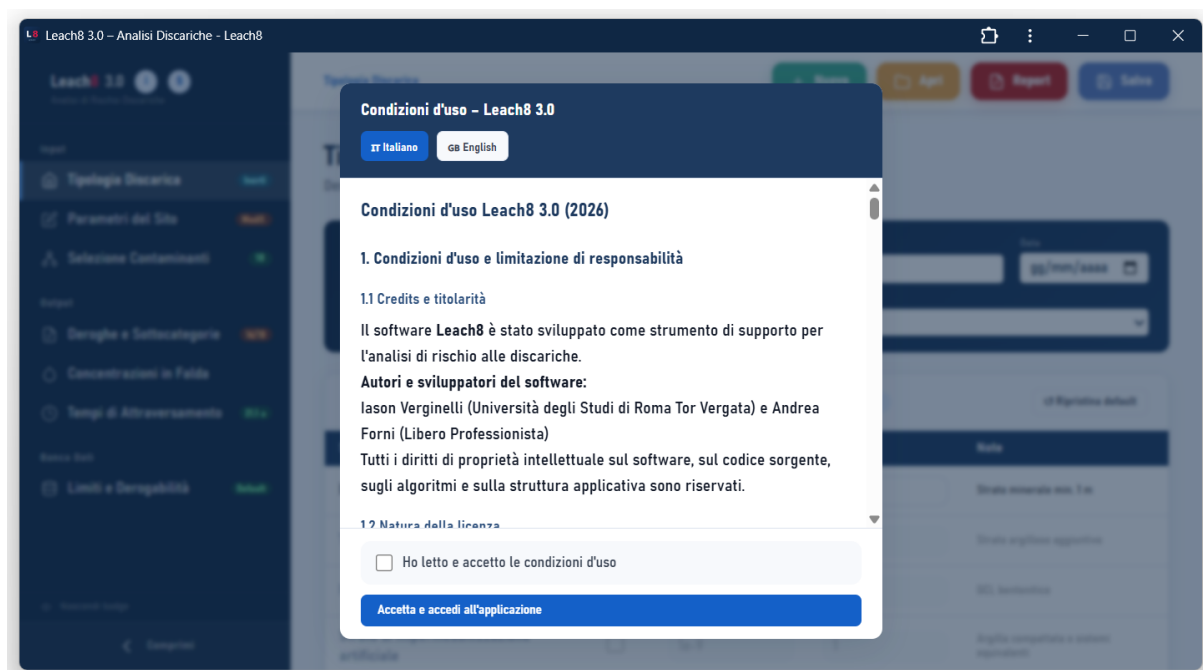


Figura 1. Attivazione e Accettazione delle condizioni d'uso.

4 STORICO VERSIONI DEL SOFTWARE

Le versioni rilasciate del software Leach8 (e le principali novità introdotte) sono state le seguenti:

- Settembre 2015 - Leach8 prima beta version
- Gennaio 2017 - Leach8 1.0: Questa versione implementa la procedura prevista dai “Criteri metodologici per l’analisi assoluta di rischio applicata alle discariche” (ISPRA, 2005), insieme ai pareri ISPRA del 16 settembre 2010 (prot. ISPRA n. 30237) e 31 ottobre 2011 (prot. ISPRA n. 36365) e Deliberazione regionale (DGRV) della Regione del Veneto n. 1360 del 30/07/2013.
- Dicembre 2021 - Leach8 2.0: in questa versione del software vengono implementate le modifiche introdotte dal D.Lgs. n. 121/2020.
- Settembre 2026 - Leach8 3.0: le principali modifiche di questa versione riguardano la compatibilità sulle diverse piattaforme, qualche restyling grafico e la correzione di alcuni bug minori legati ad alcune funzionalità (es. stampa report in pdf).

5 PRINCIPALI NOVITÀ DELLE NUOVE VERSIONI DEL SOFTWARE

5.1 PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 3.0 RISPETTO ALLA 2.0

Le principali novità della versione 3.0 rispetto alla versione 2.0 sono di seguito elencate.

Compatibilità multiplatforma. La versione 3 è distribuita come Progressive Web App (PWA). L'applicazione può quindi essere utilizzata direttamente tramite browser web oppure installata localmente sul proprio dispositivo (utilizzando il pulsante "Installa App").

L'installazione della PWA non richiede diritti di amministratore sulla macchina. A differenza delle versioni precedenti, Leach8 v. 3.0 è compatibile con le principali piattaforme desktop (Windows, macOS, Linux) e mobili (iOS, Android). Di conseguenza, l'applicazione può essere utilizzata su computer, tablet e smartphone mantenendo le stesse funzionalità di base.

Restyling grafico. In questa nuova versione del software sono state apportate alcune modifiche a livello grafico e di funzionalità di alcune schermate (es. menù laterale, report pdf).

Correzione di bug minori. In questa versione sono stati corretti alcuni malfunzionamenti minori (es. creazione report pdf).

5.2 PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 2.0 RISPETTO ALLA 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.

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 degli strati del Sistema di impermeabilizzazione inseriti, il software calcola il Gradiente idraulico medio verticale, la Conducibilità equivalente e il Tempo di attraversamento (quest'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).

6 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, così come modificato dal D.L. 215/23 convertito con Legge 18/2024, a partire dal 1° gennaio 2028 i valori limite autorizzati per la specifica discarica non devono superare, per più del doppio, quelli specificati per la corrispondente categoria di discarica.

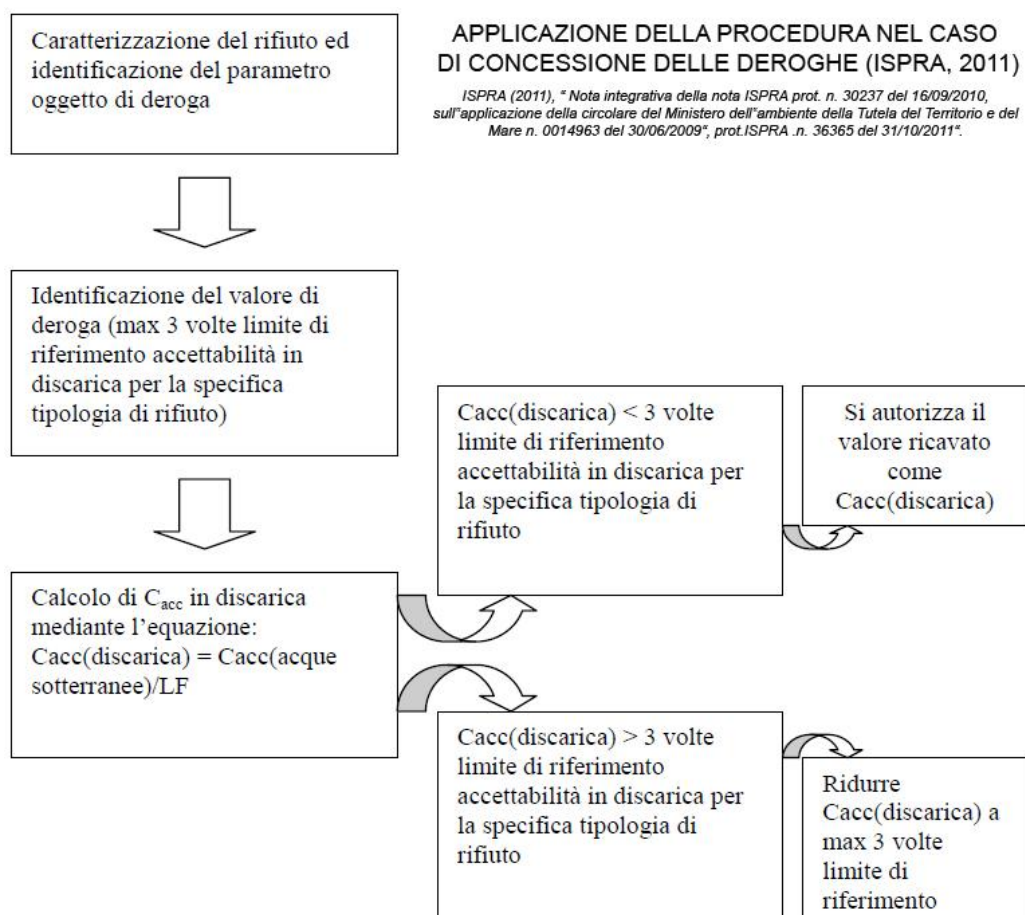


Figura 2. Procedura implementata in Leach8 nel caso delle deroghe (estratto da ISPRA, 2011).

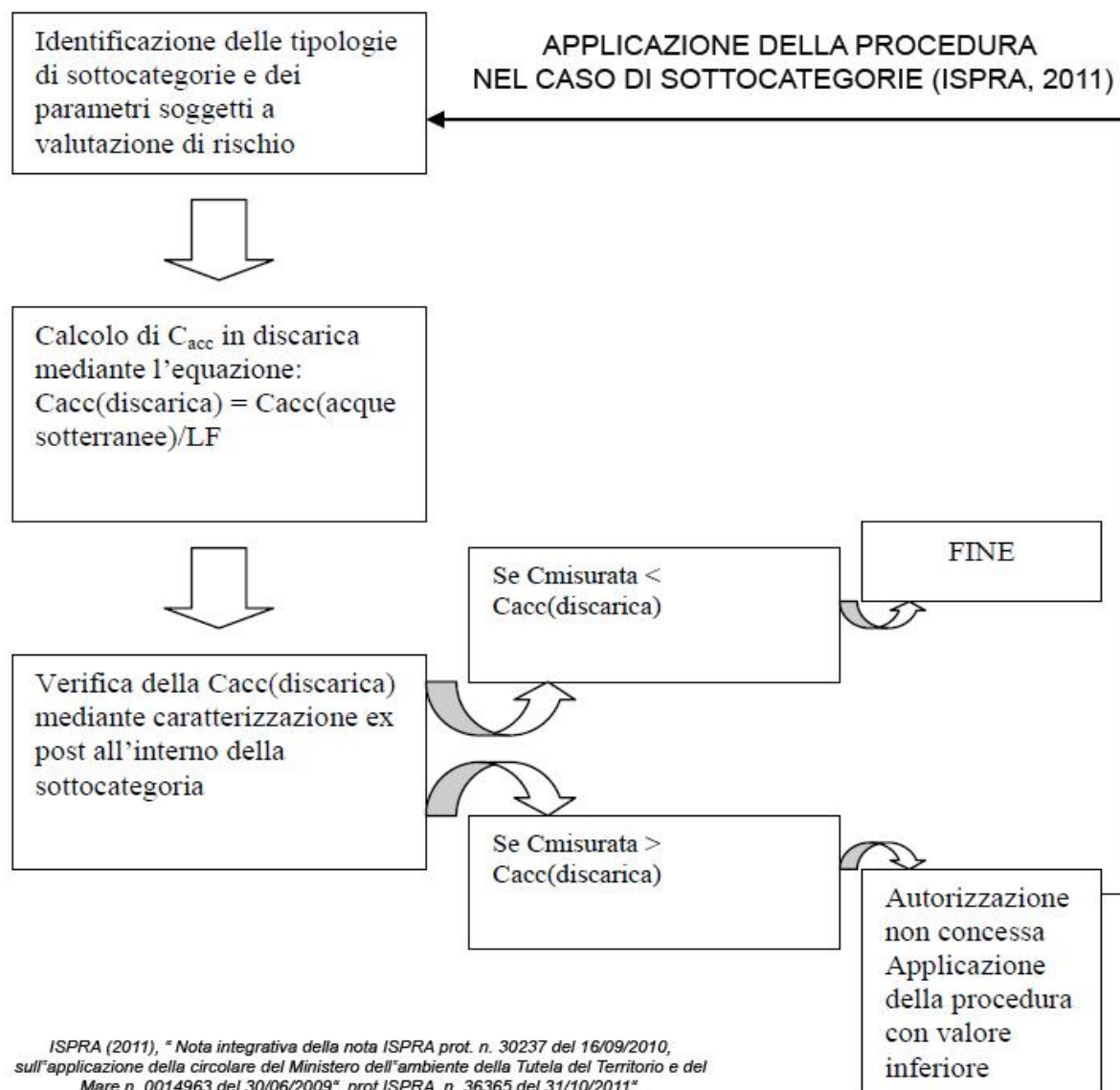


Figura 3. Procedura implementata in Leach8 nel caso delle sottocategorie (estratto da ISPRA, 2011).

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.

6.1 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

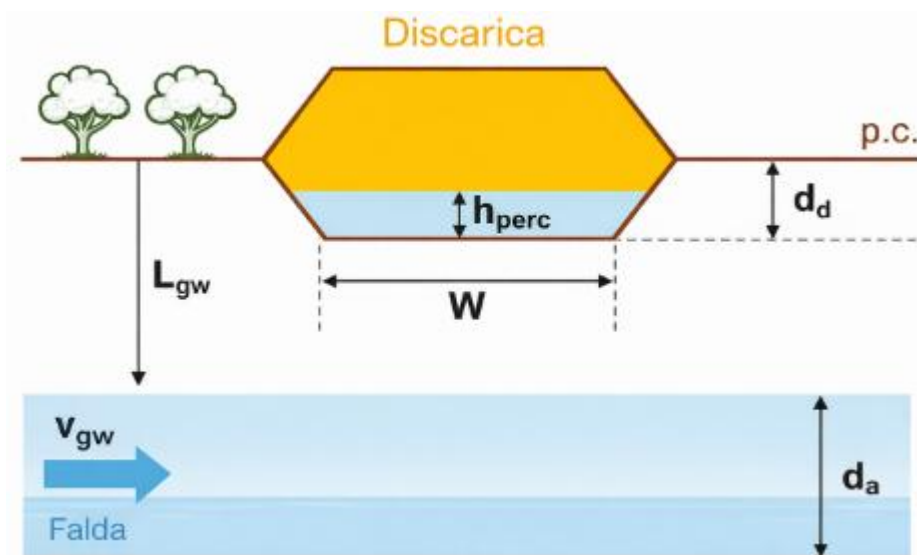


Figura 4. Alcuni parametri presenti all'interno delle equazioni utilizzate.

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

δ_{gw} (m): spessore della zona di miscelazione dell'acquifero

L_f (m³/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).

6.2 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).

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

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):

$$\begin{aligned} \frac{1}{DAF1} &= erf \left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left(\frac{\delta_{gw}}{4\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right) && \text{Dispersione in tutte le direzioni} \\ \frac{1}{DAF2} &= erf \left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left(\frac{\delta_{gw}}{2\sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right) && \text{Dispersione in tutte le direzioni (verticale solo in basso)} \\ \frac{1}{DAF3} &= erf \left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) && \text{Dispersione longitudinale e trasversale} \end{aligned}$$

Dove:

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

δ_{gw} (m): spessore della zona di miscelazione dell'acquifero

POC = distanza dal punto di conformità (m)

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

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

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

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

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

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

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

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

6.3 PARAMETRI INTERMEDI E STIME INDIRETTE

Velocità di Darcy. Leach8 calcola in automatico la velocità di Darcy, v_{gw} (m/s) in falda, 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 in falda, δ_{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:

α_z (m): dispersività 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

Dispersività verticale. Leach8 permette di stimare la dispersività verticale, α_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 (m³/s): flusso di percolato in uscita dalla discarica

A_f (m²): 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) e Parere ISPRA (2011). In particolare, si distinguono due casi a seconda che si consideri, o meno, la presenza della geomembrana in HDPE.

Percolato in assenza della geomembrana. Nel caso di assenza della geomembrana il flusso di percolato in uscita dalla discarica, L_f (m³/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 (m²): 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 (m³/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

ρ_m, ρ_f, ρ_s (numero/ha): densità difetti dei microfori, fori e strappi della geomembrana

$L'_{fm}, L'_{ff}, L'_{fs}$ (m³/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 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 (m²): area dei difetti (fori, buchi e strappi) presenti nella geomembrana

K_{eq} (m/s): conducibilità idraulica del materiale impermeabile al di sotto dello strato di impermeabilizzazione 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), si veda 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^(*) (numero/ha)			densità difetti senza CQ^(*) (numero/ha)			distribuzione di probabilità	area dei difetti (m²)	
<i>micro fori</i>	<i>triangolare</i>	0	25	25	0	750	750	<i>log uniforme</i>	1×10^{-8}	5×10^{-6}
<i>fori</i>	<i>triangolare</i>	0	5	5	0	150	150	<i>log uniforme</i>	5×10^{-6}	1×10^{-4}
<i>strappi</i>	<i>trinagolare</i>	0	0,1	2	0	0,5	10	<i>log uniforme</i>	1×10^{-4}	1×10^{-2}

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

Figura 5. 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, l'utente può selezionare se calcolare il tempo di attraversamento considerando la velocità darciana o interstiziale mediante la seguente formula:

$$t_{attr} = \begin{cases} \sum \left(\frac{d_i}{K_i \cdot i_{av}} \right) \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365} & \text{(velocità darciana)} \\ \sum \left(\frac{d_i}{K_i / n_i \cdot i_{av}} \right) \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365} & \text{(velocità interstiziale)} \end{cases}$$

Dove:

d_i (m): spessore dello strato i -esimo

K_i (m/s): conducibilità idraulica dello strato i -esimo

n_i (-): porosità dello strato i -esimo

i_{av} (-) gradiente idraulico medio verticale

La conducibilità equivalente, K_{eq} , viene calcolata mediante 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:

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

d_b (m): spessore completamento 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_{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

7 INTERFACCIA DEL TOOL

La schermata principale del software è organizzata in due aree: il menu di navigazione laterale, posto sulla sinistra, e l'area di lavoro, che occupa la parte centrale della schermata.

Il menu laterale consente di accedere alle diverse sezioni necessarie per l'impostazione e l'esecuzione dell'analisi. Le sezioni sono suddivise in Input, Output e Banca Dati. Nella sezione Input sono disponibili le pagine dedicate alla Tipologia Discarica, ai Parametri del Sito e alla Selezione dei Contaminanti. La sezione Output permette invece di consultare i risultati relativi alle Deroche e Sottocategorie, alle Concentrazioni in Falda e ai Tempi di Attraversamento. La sezione Banca Dati consente infine di accedere ai Limiti di Derogabilità utilizzati nell'analisi. L'area centrale della schermata visualizza i contenuti relativi alla sezione selezionata nel menu.

Accanto ad alcune voci del menu sono presenti specifici indicatori, che forniscono informazioni sintetiche sullo stato della simulazione, ad esempio segnalando l'avvenuto inserimento o la modifica dei dati oppure riportando il numero di elementi selezionati o di risultati disponibili.

In calce ad alcune pagine è possibile visualizzare le formule utilizzate dal programma (grazie al pulsante "Mostra formule").

Tipologia Discarica
Descrizione del sito e composizione del pacchetto impermeabile

NOME SITO: Es. Discarica Comunale... ELABORATO DA: Nome o Società... DATA: gg/mm/aaaa

TIPOLOGIA RIFIUTO: ☒ Inerti (Tab. 2) ☐ Non Pericolosi (Tab. 5) ☐ Pericolosi SNR (Tab. 5a) ☐ Pericolosi (Tab. 6)

Sistema di impermeabilizzazione del fondo della discarica (D.Lgs. 36/2003 Art. 152.4.2) Ripristina default

Strato	Presente	K (m/s)	d (m)	Note
Barriera geologica naturale	☒	1e-9	1	Strato minerale
Terreni argillosi per il completamento	☐	1e-9	1	Strato argilloso aggiuntivo
Materassino bentonitico (GCL)	☐	5e-11	0.006	GCL bentonitico
Strato di impermeabilizzazione artificiale	☐	1e-9	1	Argilla compattata o sistemi equivalenti
Geomembrana HDPE	☐	1e-14	0.0015	Telo in HDPE

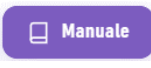
K = Conducibilità Idraulica Verticale - d = spessore strato

[Installa App](#)

Figura 6. Schermata iniziale software Leach8.

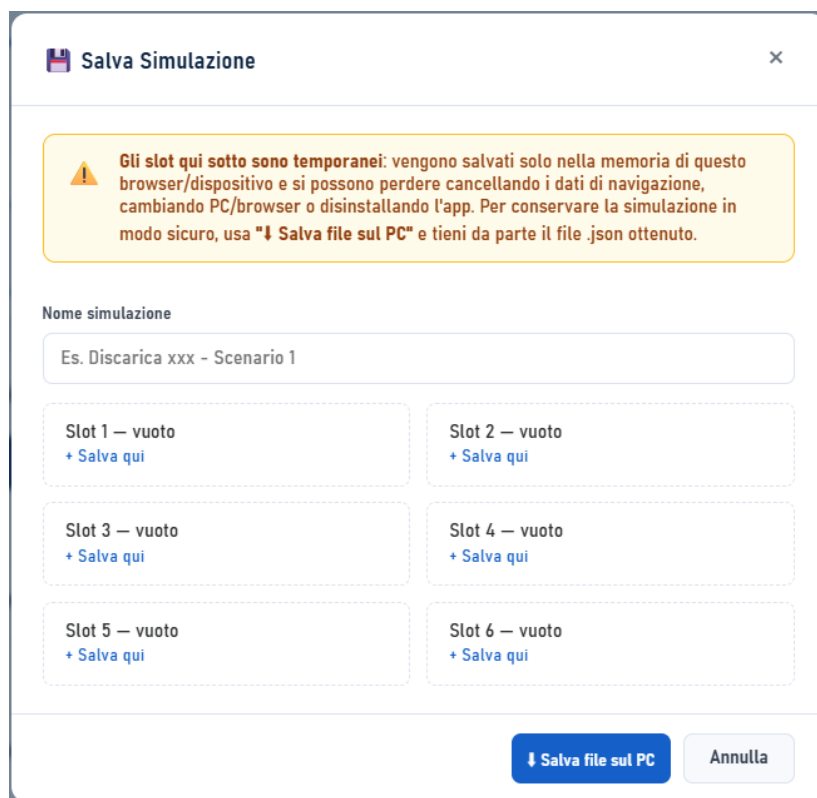
Nella parte superiore della schermata è inoltre presente la barra dei comandi principali, dalla quale è possibile creare una nuova simulazione (Nuovo), aprire una simulazione precedentemente salvata (Apri), generare il documento di sintesi dei risultati (Report), salvare la simulazione corrente (Salva) e accedere al presente Manuale.

Tabella 1. Comandi per la gestione dei file.

Comando	Funzione
	Crea un nuovo progetto, impostando una nuova analisi con i dati di default precaricati.
	Apri un progetto precedentemente salvato.
	Genera un report pdf con i principali dati di input inseriti e i risultati dell'analisi.
	Salva il progetto corrente per poterlo riaprire e modificare successivamente.
	Apri il manuale d'uso del software con le indicazioni per l'utilizzo delle diverse funzionalità.

Il menu laterale può essere compresso tramite il comando posto nella parte inferiore della barra, in modo da aumentare lo spazio disponibile per l'area di lavoro. Nella parte inferiore destra è inoltre disponibile il comando Installa App, che consente, sui dispositivi e browser compatibili, di installare il software come applicazione web.

Il comando Salva consente di memorizzare la simulazione corrente, inclusi i dati inseriti e le impostazioni selezionate. La simulazione può essere salvata in uno dei sei slot disponibili, assegnandole un nome per facilitarne il successivo recupero (Figura 7). I salvataggi negli slot sono memorizzati localmente nel browser e possono essere persi in caso di cancellazione dei dati di navigazione, cambio di browser o dispositivo o disinstallazione dell'applicazione. Per conservare la simulazione in modo permanente è possibile utilizzare il comando Salva file sul PC, che esporta la simulazione in formato .json. Il file così ottenuto può essere successivamente ricaricato nel software mediante il comando Apri.



Salva Simulazione

⚠ Gli slot qui sotto sono temporanei: vengono salvati solo nella memoria di questo browser/dispositivo e si possono perdere cancellando i dati di navigazione, cambiando PC/browser o disinstallando l'app. Per conservare la simulazione in modo sicuro, usa "↓ Salva file sul PC" e tieni da parte il file .json ottenuto.

Nome simulazione

Es. Discarica xxx - Scenario 1

Slot 1 — vuoto
+ Salva qui

Slot 2 — vuoto
+ Salva qui

Slot 3 — vuoto
+ Salva qui

Slot 4 — vuoto
+ Salva qui

Slot 5 — vuoto
+ Salva qui

Slot 6 — vuoto
+ Salva qui

↓ Salva file sul PC Annulla

Figura 7. Salvataggio dei file.

7.1 INPUT

7.1.1 Tipologia Discarica

Nella schermata iniziale Tipologia Discarica è possibile inserire le informazioni identificative della simulazione, quali il nome del sito, il soggetto che ha elaborato l'analisi e la data, e selezionare la tipologia di rifiuto considerata.

In particolare, 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.

In questa sezione vengono inoltre definite le caratteristiche del sistema di impermeabilizzazione del fondo della discarica. Per ciascuno strato è possibile indicarne la presenza e modificare i valori di conducibilità idraulica verticale (K) e lo spessore (d). Il comando Ripristina default consente di ripristinare la configurazione e i valori predefiniti.

In particolare, è possibile selezionare i seguenti strati:

Formazione o barriera geologica naturale. Il tool permette di simulare la presenza di tale strato selezionando il checkbox “Presente” (questo strato è attivo di default, i successivi vanno attivati dall’utente se presenti). 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’All. 1 del D.Lgs. n. 36/2003;
- per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, si veda il Punto 2.4.2 dell’All. 1 del D.Lgs. n. 36/2003;

Terreni argillosi per il completamento della barriera di cui sopra (eventuale). Il tool permette di simulare la presenza di tale strato selezionando il checkbox “Presente”. In particolare, per la descrizione di tale eventuale strato di materiale argilloso compattato, si veda in dettaglio il Punto 2.4.2 dell’All. 1 del D.Lgs. n. 36/2003;

Strato di impermeabilizzazione artificiale. Il tool permette di simulare la presenza di tale strato selezionando il checkbox “Presente”. 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’All. 1 del D.Lgs. n. 36/2003;
- per le Discariche per rifiuti Non Pericolosi e Pericolosi, si veda il Punto 2.4.2 dell’All. 1 del D.Lgs. n. 36/2003.

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.

Sistema di impermeabilizzazione del fondo della discarica D.Lgs. 36/2003 All. 1 §2.4.2 ↺ Ripristina default

Strato	Presente	K (m/s)	d (m)	Note
Barriera geologica naturale	☒	1e-9	1	Strato minerale
Terreni argillosi per il completamento	☒	1e-9	1	Strato argilloso aggiuntivo
Materassino bentonitico (GCL)	☒	5e-11	0.006	GCL bentonitico
Strato di impermeabilizzazione artificiale	☒	1e-9	1	Argilla compattata o sistemi equivalenti
Geomembrana HDPE	☒	1e-14	0.0015	Telo in HDPE

K = Conduttività Idraulica Verticale - d = spessore strato

☒ **Considera geomembrana solo per il calcolo del tempo di attraversamento**
Se attivo: la geomembrana concorre al calcolo di K_{eq} (t) e del tempo di attraversamento, ma non al calcolo di L/l_{gv} , che torna alla formula standard $K_{eq} (AdR) \times I_{gv} \times At$ (senza difetti né formula di Giroud). I difetti della geomembrana non sono richiesti e la relativa sezione viene nascosta.

Figura 8. Parametri di input: materiali pacchetto impermeabilizzante.

Geomembrana. Come visto sopra, il tool permette di stimare il tempo di attraversamento e il percolato prodotto tenendo conto o meno della presenza della geomembrana. Di default, in presenza di geomembrana, il tool la considera esclusivamente per il tempo di attraversamento in considerazione del fatto che il D.Lgs. 36/2003 non considera la geomembrana (o teli) in

HDPE per la stima del flusso in uscita dalla discarica. L'opzione "Considera geomembrana solo per il calcolo del tempo di attraversamento" permette di includere la geomembrana nel calcolo della conducibilità idraulica equivalente del sistema e del relativo tempo di attraversamento, senza considerarne gli effetti nel calcolo del fattore di lisciviazione. In questo caso, gli eventuali difetti della geomembrana non devono essere specificati nella relativa sezione. Nel caso in cui tale opzione venga disattivata, oltre ai dati richiesti per la stima del tempo di attraversamento, è possibile inserire i relativi difetti (v. fig. seguente). Per maggiori dettagli riguardo le equazioni implementate si rimanda a quanto riportato in allegato.

Difetti Geomembrana HDPE Attiva		
Tipo difetto	Area difetti (m²)	N°/ha
Microfori	0.000005	25
Fori	0.0001	5
Strappi	0.01	2
Costante di contatto (C_d)		Cattivo contatto — $C_d = 1.15$ ▼
		$C_d = 1.15$

Figura 9. Parametri di input: dettaglio geomembrana HDPE.

Per il calcolo del tempo di attraversamento del sistema di impermeabilizzazione sono disponibili due modalità. Selezionando Velocità Darciana, il tempo viene calcolato sulla base del flusso di Darcy attraverso ciascuno strato, utilizzando il rapporto tra spessore dello strato e conducibilità idraulica verticale. Questa rappresenta l'impostazione di riferimento associata ai requisiti di equivalenza previsti dal D.Lgs. 36/2003 (Punto 2.4.2 dell'Allegato 1).

Selezionando Velocità Interstiziale, il calcolo tiene invece conto della porosità efficace (ne o ni) dei diversi strati. La velocità effettiva dell'acqua nei pori viene pertanto ricavata dalla velocità darciana considerando la porosità efficace e il tempo di attraversamento risulta conseguentemente corretto per tale parametro. Questa opzione consente una rappresentazione maggiormente legata al tempo di percorrenza dell'acqua all'interno dello spazio poroso del materiale.

Il tempo complessivo di attraversamento è ottenuto, in entrambi i casi, come somma dei tempi calcolati per i singoli strati che compongono il sistema di impermeabilizzazione.

Interfaccia del tool

☒ **Considera geomembrana solo per il calcolo del tempo di attraversamento**
 Se attivo: la geomembrana concorre al calcolo di K_{eq} (t) e del tempo di attraversamento, ma non al calcolo di Lf/l_{av} , che torna alla formula standard $K_{eq} (AdR) \times l_{av} \times Af$ (senza difetti né formula di Giroud). I difetti della geomembrana non sono richiesti e la relativa sezione viene nascosta.

Modalità di Calcolo del Tempo di Attraversamento

☒ **Velocità Darciana** (D.Lgs. 36/2003 All. 1 §2.4.2) — $t = \sum_i d_i / (K_i \cdot i_{av})$ ☐ **Velocità Interstiziale** — $t = \sum_i d_i \cdot n_{e,i} / (K_i \cdot i_{av})$

Figura 10. Opzioni di calcolo.

7.1.2 Parametri del sito

La sezione “Parametri del Sito” consente di definire le principali caratteristiche geometriche della discarica e i parametri idrogeologici dell’acquifero necessari per l’esecuzione dei calcoli. I parametri sono organizzati in tabelle e, per ciascuno di essi, sono riportati il nome, il simbolo utilizzato nelle equazioni, l’unità di misura e il valore assunto nel calcolo. Ove previsto, nella colonna Opzioni è inoltre possibile attivare specifiche modalità di stima o di calcolo.

Leach8 3.0

Parametri Sito

+ Nuovo Apri Report Salva Manuale

Parametri del Sito
 Geometria della discarica e caratteristiche idrogeologiche dell’acquifero

Geometria Discarica

Ripristina default Copia tabella

Parametro	Simbolo	Unità	Valore	Opzioni
Superficie di fondo della discarica	A_f	m²	100000	
Estensione fondo discarica nella direzione del flusso di falda	W	m	200	
Estensione fondo discarica nella direzione ortogonale al flusso di falda	S_w	m	500	
Profondità punto di emissione percolato rispetto a p.c.	d_g	m	25	
Altezza del percolato sul fondo della discarica	h_{perc}	m	0.5	
Dispersività verticale	α_z	cm	100	☒ Calcolato
Considera attenuazione nel suolo (Soil Attenuation Model)	SAM	—	1 (off)	☐ Attiva

Figura 11. Schermata parametri del sito.

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 bianco. Vengono inoltre evidenziati 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 “Ripristina 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 idraulica 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 "Sito specifico". In Tabella 2 sono riportati i dati implementati nel tool relativi alle diverse tipologie di terreno.

Tabella 2. 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).

Geometria Discarica				
Parametro	Simbolo	Unità	Valore	Opzioni
Superficie di fondo della discarica	A_f	m ²	100000	
Estensione fondo discarica nella direzione del flusso di falda	W	m	200	
Estensione fondo discarica nella direzione ortogonale al flusso di falda	S_w	m	500	
Profondità punto di emissione percolato rispetto a p.c.	d_d	m	25	
Altezza del percolato sul fondo della discarica	h_{perc}	m	0.5	
Dispersività verticale	α_z	cm	100	☒ Calcolato
Considera attenuazione nel suolo (Soil Attenuation Model)	SAM	—	1 (off)	☐ Attiva

Figura 12. Parametri di input: Geometria Discarica.

Idrogeologia Acquifero				
Parametro	Simbolo	Unità	Valore	Opzioni
Soggiacenza della falda	L_{gw}	m	30	
Gradiente idraulico orizzontale	i	m/m	0.01	
Tessitura acquifero	-	—	LOAMY SAND	▼
Conducibilità idraulica acquifero	K_{sat}	m/s	0.0000405	
Spessore acquifero	d_a	m	25	
Spessore della zona di miscelazione	δ_{gw}	m	20.73	☒ Calcolato

Figura 13. Parametri di input: Idrogeologia Acquifero

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.

7.1.3 Selezione contaminanti

La sezione “Selezione Contaminanti” consente di definire le sostanze da includere nell’analisi. Per ciascun contaminante sono riportati il limite previsto per la specifica tipologia di rifiuto e la relativa CSC nelle acque sotterranee. Mediante la casella posta a sinistra del nome è possibile selezionare o escludere il singolo contaminante dall’analisi. I comandi Seleziona tutti e Deseleziona tutti consentono di modificare contemporaneamente la selezione dell’intero elenco, mentre il numero complessivo di contaminanti selezionati è riportato nella parte superiore della tabella.

Nella colonna Concentrazione percolato (mg/L) è possibile inserire, per ciascun contaminante selezionato, la concentrazione nel percolato da utilizzare per il calcolo forward, ossia per la stima della concentrazione attesa in falda a partire da una concentrazione nota nel percolato. In assenza di un valore inserito dall’utente, il campo è inizialmente impostato a zero.

Il comando Copia tabella consente infine di copiare i dati visualizzati per il successivo utilizzo in altri documenti o applicazioni.

Contaminante	Inerti (mg/L)	CSC falda (mg/L)	Concentrazione percolato (mg/L)
☒ Arsenico	0.050	0.010	0
☒ Bario	2.0	0.10	0
☒ Cadmio	0.0040	0.0050	0
☒ Cromo totale	0.050	0.050	0
☒ Rame	0.20	1.0	0
☒ Mercurio	0.0010	0.0010	0
☒ Molibdeno	0.050	0.050	0
☒ Nichel	0.040	0.020	0
☒ Piombo	0.050	0.010	0
☒ Antimonio	0.0060	0.0050	0
☒ Selenio	0.010	0.010	0
☒ Zinco	0.40	3.0	0
☒ Cloruri	80.0	250	0

Figura 14. Schermata selezione contaminanti.

Nella parte inferiore della schermata è inoltre disponibile la funzione Aggiungi Contaminante Personalizzato, che consente di integrare l’elenco predefinito con ulteriori sostanze di interesse. Per ciascun nuovo contaminante devono essere specificati il nome, i limiti di concentrazione nell’eluato previsti per le diverse tipologie di rifiuto (Tabelle 2, 5, 5a e 6 del D.Lgs. 36/2003 e s.m.i.) e la relativa CSC nelle acque sotterranee. Una volta compilati i campi richiesti, il comando Aggiungi inserisce il nuovo contaminante nell’elenco, rendendolo

disponibile per le successive elaborazioni al pari dei contaminanti già presenti nella banca dati del software.

Figura 15. Aggiungi nuovi contaminanti

Si evidenzia che nel Leach8 sono implementati i criteri di ammissibilità in discarica stabiliti dal D.Lgs. n. 36/2003 in funzione della tipologia di discarica. Per quanto riguarda i limiti per le acque sotterranee sono precaricati i valori definiti nella Tab. 3 del D.Lgs. 30/2009, D.Lgs. n. 152/2006 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.

Tabella 3. Limiti acque sotterranee precaricati nel Leach8.

Contaminante	Limiti acque sotterranee	
	C (mg/L)	Note
Arsenico	0.01	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Bario	0.1	Tab. 1/A All. 2 parte terza - D.Lgs. 152/06
Cadmio	0.005	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Cromo totale	0.05	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Rame	1	CSC (D.Lgs. 152/06)
Mercurio	0.001	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Molibdeno	0.05	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003
Nichel	0.02	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Piombo	0.01	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Antimonio	0.005	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Selenio	0.01	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Zinco	3	CSC (D.Lgs. 152/06)
Cloruri	250	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Fluoruri	1.5	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
Solfati	250	Tab.3 - D.Lgs. 30/2009
DOC	10	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003 (assumendo 1/3 del limite COD)
TDS	500	Allegato 7 D.Lgs. n. 36/2003
Indice Fenolo	0.0005	ISS Prot. 5558-25/03/2004

In particolare, con riferimento ai valori riportati in Tabella 3 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 nelle precedenti versioni del software, nel tool è implementato il limite di 0,5 µg/l indicato nel parere ISS del 2004 (Prot. 5558-25/03/2004).

7.2 BANCA DATI

Nel software sono implementati i criteri di derogabilità in discarica e di sottocategorie stabiliti dal D.Lgs. n. 36/2003 in funzione della tipologia di discarica in esame (vedi Figura 16 e Figura 17). Per visualizzare i limiti implementati nel tool è possibile accedere alla scheda “Limiti tabellari” accedendo dal menù laterale alla schermata “Limiti e Derogabilità”.

Derogabilità per Categoria di Rifiuto — D.Lgs. 36/2003 art. 16-ter / art. 7-sexies							❏ Ripristina default		📄 Copia tabella			
Contaminante	Tab. 2 — Rifiuti Inerti			Tab. 5 — Rifiuti Non Pericolosi			Tab. 5a — Rifiuti Pericolosi (SMD)			Tab. 6 — Rifiuti Pericolosi		
	Derogabile?	n + Lim.		Derogabile?	n + Lim.		Derogabile?	n + Lim.		Derogabile?	n + Lim.	
Arsenico	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Bario	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Cadmio	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Cromo totale	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Rame	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Mercurio	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Molibdeno	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Nichel	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Piombo	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Antimonio	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Selenio	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Zinco	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Cloruri	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Fluoruri	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Solfati	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
DOC	☐ no	—		☒ sì	3		☐ no	—		☐ no	—	
TDS	☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3		☒ sì	3	
Indice Fenolo	☒ sì	3		☐ no	—		☐ no	—		☐ no	—	
Nota: La derogabilità impostata qui vale sia per le Deroghe art. 16-ter che per le Sottocategorie art. 7-sexies (per le quali rimane comunque applicabile solo per Tab. 5).												

Figura 16. Schermata derogabilità per Categoria di Rifiuto.

Sottocategorie — D.Lgs. 36/2003 art. 7-sexies Selettivo per tipo rifiuto

L'art. 7-sexies (Sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi) è applicabile per legge solo a Tab. 5. Puoi comunque abilitarlo o disabilitarlo per ogni tipo di rifiuto. Quando disattivato, la colonna Sottocategorie scomparirà dalla tabella risultati, dal grafico e dal report PDF.

Tab. 2 — Rifiuti Inerti Non applicabile per legge	Non attiva ☐
Tab. 5 — Rifiuti Non Pericolosi Applicabile per legge — attivo di default	Attiva ☒
Tab. 5a — Rifiuti Pericolosi SNR Non applicabile per legge	Non attiva ☐
Tab. 6 — Rifiuti Pericolosi Non applicabile per legge	Non attiva ☐

Tipo rifiuto corrente: Inerti — X Sottocategoria non attiva

Figura 17. Schermata Sottocategorie per Categoria di Rifiuto.

7.3 OUTPUT

7.3.1 Deroghe e sottocategorie (Analisi Backward)

Dal menù laterale selezionando la voce Deroghe e Sottocategorie (Figura 6) si accede alla schermata di visualizzazione degli output (Figura 18). In tale schermata per ciascun contaminante selezionato dall'utente viene mostrata la concentrazione accettabile calcolata secondo la procedura descritta nel paragrafo 6.1 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.

Nella parte superiore della schermata sono riportate alcune informazioni di sintesi, tra cui la tipologia di rifiuto selezionata, il numero di contaminanti per i quali risulta applicabile la procedura di deroga e il numero di contaminanti per i quali tale procedura non risulta applicabile.

Nella Tabella Risultati sono riportati, per ciascun contaminante, l'eventuale concentrazione specificata nel percolato ($C_{\text{percolato}}$), la concentrazione accettabile calcolata mediante la procedura di Analisi di Rischio ($C_{\text{acc AdR}}$), il limite normativo previsto per la tipologia di rifiuto selezionata e la concentrazione massima derogabile. Quest'ultima rappresenta il valore massimo ammissibile tenendo conto dei limiti alla possibilità di deroga stabiliti dalla normativa. Nella stessa schermata viene inoltre riportato l'esito della procedura descritta nel paragrafo 6, con l'indicazione del valore finale applicabile nel caso delle deroghe e delle sottocategorie. A fianco del valore viene indicato l'esito della valutazione e il criterio che ha determinato il valore assunto come riferimento, sia nel caso delle deroghe (art. 16-ter) sia, per le discariche per rifiuti non pericolosi, nel caso delle sottocategorie (art. 7-sexies). Qualora la deroga o la

procedura prevista non sia applicabile alla tipologia di scarica o al parametro considerato, viene visualizzata in grigio la dicitura “Non applicabile”.

Deroghe e Sottocategorie
Concentrazioni accettabili e verifica derogabilità

Tipo rifiuto: Non pericolosi Con deroga (16-ter): 15 Sottocategoria (7-sexies): 15 Non derogabili: 2

Tabella Risultati Grafico Comparativo

Copia tabella

Contaminante	C _{percolato} (mg/L)	Cacc AdR (mg/L)	CSC falda (mg/L)	Limite Tab. (mg/L)	Max derogabile (mg/L)	Deroga – Art. 16-ter		Sottocategoria – Art. 7-sexies	
						Valore (mg/L)	Esito	Valore (mg/L)	Esito
Arsenico	–	0.89	0.010	0.20	0.60	0.60	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	0.89	✓ Cacc AdR
Bario	–	8.9	0.10	10.0	30.0	–	X Non Derogabile. Cacc (AdR) + Tab.	–	X Non Derogabile. Cacc (AdR) + Tab.
Cadmio	–	0.44	0.0050	0.10	0.30	0.30	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	0.44	✓ Cacc AdR
Cromo totale	–	4.4	0.050	1.0	3.0	3.0	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	4.4	✓ Cacc AdR
Rame	–	88.6	1.0	5.0	15.0	15.0	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	88.6	✓ Cacc AdR
Mercurio	–	0.089	0.0010	0.020	0.060	0.060	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	0.089	✓ Cacc AdR
Molibdeno	–	4.4	0.050	1.0	3.0	3.0	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	4.4	✓ Cacc AdR
Nichel	–	1.8	0.020	1.0	3.0	1.8	✓ Cacc (AdR)	1.8	✓ Cacc AdR
Piombe	–	0.89	0.010	1.0	3.0	–	X Non Derogabile. Cacc (AdR) + Tab.	–	X Non Derogabile. Cacc (AdR) + Tab.
Antimonio	–	0.44	0.0050	0.070	0.21	0.21	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	0.44	✓ Cacc AdR
Selenio	–	0.89	0.010	0.050	0.15	0.15	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	0.89	✓ Cacc AdR
Zinco	–	266	3.0	5.0	15.0	15.0	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	266	✓ Cacc AdR
Cloruri	–	22162	250	2500	7500	7500	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	22162	✓ Cacc AdR
Fluoruri	–	133	1.5	15.0	45.0	45.0	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	133	✓ Cacc AdR
Solfati	–	22162	250	5000	15000	15000	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	22162	✓ Cacc AdR
DOC	–	886	10.0	100	300	300	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	886	✓ Cacc AdR
TDS	–	44324	500	10000	30000	30000	✓ 3* Tab. (art. 16-ter)	44324	✓ Cacc AdR
Indice Fenolo	–	0.044	5.0e-4	–	–	–	Non Applicabile	–	Non Applicabile

Figura 18. Schermata output (Deroghe e sottocategorie) del software Leach8.

La scheda Grafico Comparativo consente invece di visualizzare graficamente il confronto tra i valori calcolati e i relativi valori di riferimento, mentre il comando Copia tabella permette di copiare i risultati riportati nella tabella per il successivo utilizzo in altri documenti o applicazioni. Si ricorda che, ai sensi del comma c-bis) dell’art. 16-ter (Deroghe) del D.Lgs. n. 36/2003, così come modificato dal D.L. 215/2023, convertito con Legge 18/2024, a partire dal 1° gennaio 2028 i valori limite autorizzati per la specifica scarica non devono superare, per più del doppio, quelli specificati per la corrispondente categoria di scarica.

7.3.2 Concentrazioni in falda (Analisi Forward)

Dal menù laterale selezionando la voce Concentrazioni in falda (Figura 6) si accede alla schermata di visualizzazione degli output (Figura 19). In tale schermata per ciascun contaminante selezionato dall'utente, viene mostrata la concentrazione attesa in falda in funzione delle concentrazioni nel percolato misurato nella discarica e delle caratteristiche del sito definite dall'utente.

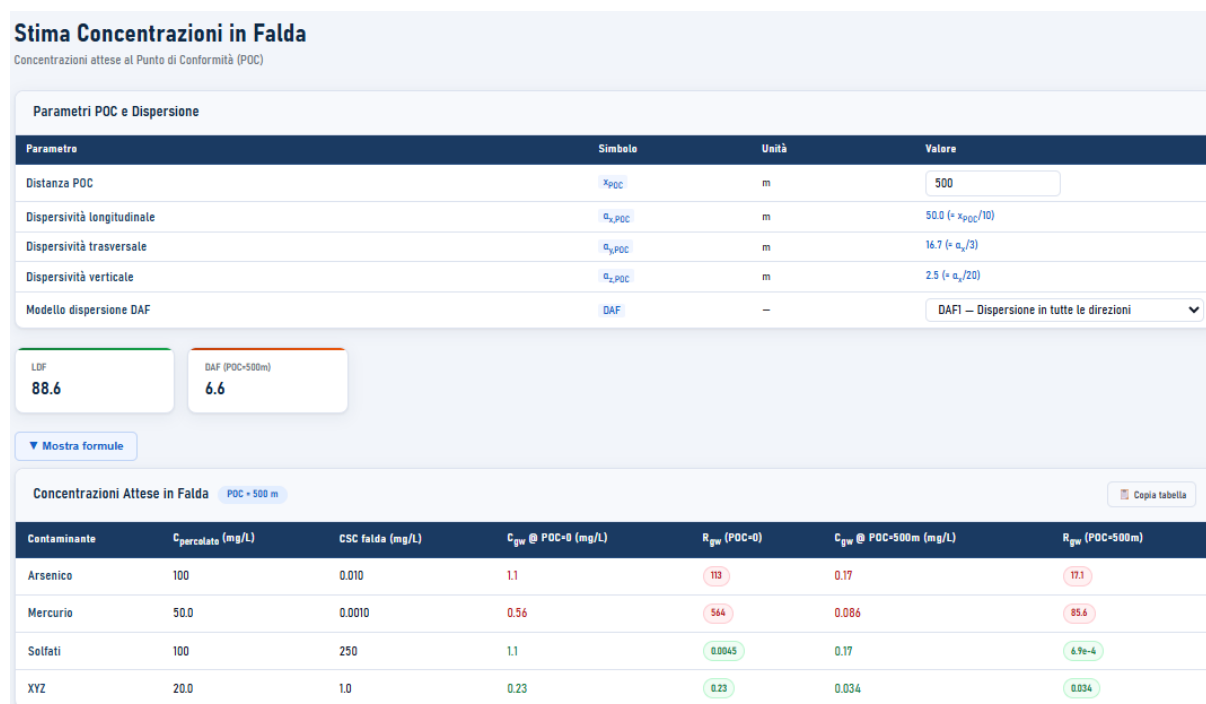


Figura 19. Schermata output (Concentrazioni in falda) del software Leach8.

Per avere quindi il risultato in falda, occorre inserire la concentrazione del contaminante nel percolato nella schermata Selezione contaminanti. In tale schermata è possibile, inoltre, inserire un nuovo contaminante, non presente nelle tabelle 2, 5, 5a e 6 del D.Lgs. n. 36/2003. Tornando alla schermata Concentrazioni in falda è inoltre possibile valutare la concentrazione al punto di conformità (POC), ovvero la concentrazione in falda attesa ad una certa distanza dal sito in esame. Si ribadisce che il valore del POC maggiore di zero viene utilizzato esclusivamente in tale schermata (analisi forward) mentre per l'analisi backward, in accordo con quanto previsto nell'Allegato 7 del D.Lgs. n. 36/2003, il 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).

Le concentrazioni in falda che risultano superiori al limite normativo nelle acque sotterranee vengono evidenziate in rosso. Per valutare l'entità del superamento viene riportato il rischio per la risorsa idrica (R_{gw}) che viene calcolato come il rapporto tra la concentrazione attesa in falda e il limite di riferimento.

7.3.3 Tempi di attraversamento

Dal menù laterale selezionando la voce Tempi di attraversamento (Figura 6) si accede alla schermata di calcolo dei tempi di attraversamento (Figura 20). Nella parte superiore della schermata sono riportati i principali risultati del calcolo: il tempo di attraversamento complessivo del sistema di impermeabilizzazione, il tempo di attraversamento del Livello 1, la conducibilità idraulica equivalente (K_{eq}) del pacchetto di impermeabilizzazione, lo spessore totale e i valori del gradiente idraulico verticale utilizzati per il calcolo dell'intero sistema e del Livello 1.

La tabella sottostante riporta, per ciascuno strato presente nel sistema di impermeabilizzazione, la conducibilità idraulica (K), lo spessore (d) e il relativo tempo di attraversamento (t_i). Nella riga finale sono riportati lo spessore complessivo e la somma dei tempi di attraversamento dei singoli strati.

Al fine di verificare separatamente il tempo di attraversamento del Livello 1, così come previsto dal punto 2.4.2 dell'Allegato 1 al D.Lgs. 36/2003 e s.m.i., è possibile selezionare, mediante le apposite checkbox presenti nella colonna Considera per Livello 1, esclusivamente gli strati che concorrono alla formazione di tale livello, escludendo quindi gli eventuali strati del sistema di impermeabilizzazione che non devono essere considerati ai fini della verifica.

Attivando l'opzione "Per il calcolo dei tempi di attraversamento del Livello 1 calcola il gradiente idraulico verticale considerando solo gli strati selezionati", il software determina il gradiente idraulico verticale utilizzato per il calcolo del Livello 1 considerando esclusivamente lo spessore degli strati selezionati. Il gradiente così ottenuto può pertanto differire da quello calcolato sull'intero pacchetto di impermeabilizzazione. Disattivando l'opzione, per il calcolo del Livello 1 viene invece utilizzato lo stesso gradiente idraulico determinato per l'intero sistema.

Ai fini della verifica del Livello 1 deve essere considerato un carico idraulico di 0,3 m, come previsto dal punto 2.4.2 dell'Allegato 1¹. La normativa stabilisce infatti che, ai fini dell'equivalenza, i tempi di attraversamento non debbano essere inferiori a 25 anni per le discariche per rifiuti non pericolosi e a 150 anni per le discariche per rifiuti pericolosi.

¹ "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."

Tempi di Attraversamento

Calcolo del tempo di migrazione del percolato attraverso il sistema barriera — la modalità di calcolo si imposta in *Tipologia Discarica*

Tempo (incl. Discarica)

84.8 anni

Tempo Livello 1

50.7 anni

Keq (incl. geo)

9.6e-10 m/s

Spessore totale

3.006 m

Gradiente verticale (i_{gv})

1.17

Gradiente Livello 1 (i_{gv1})

1.25

☒ Per il calcolo dei tempi di attraversamento del Livello 1 calcola il gradiente idraulico verticale considerando solo gli strati selezionati

Se attivo il gradiente i_{gv} usato per il sottotale "Livello 1" viene ricalcolato usando solo lo spessore degli strati con la checkbox "Considera per Livello 1" spuntata (colonna a destra nella tabella sotto), invece del gradiente calcolato sull'intero pacchetto barriera. Se disattivo, il sottotale Livello 1 riusa lo stesso gradiente dell'intero pacchetto (KPI "Gradiente verticale" sopra).

Sistema di impermeabilizzazione del fondo della discarica — Tempi di Attraversamento

Copia tabella

Strato	K (m/s)	d (m)	t _i (anni)	Considera per Livello 1 *
Barriera geologica naturale	1.0e-9	1	27.2	☒
Terrani argillosi per il completamento	1.0e-9	1	27.2	☒
Materassino bentonitico (GCL)	5.0e-11	0.006	3.3	☐
Strato di impermeabilizzazione artificiale	1.0e-9	1	27.2	☐
Totale		3.006 m	84.8 anni	50.7 anni (Liv. 1)

* Punto 2.4.2 dell'Allegato 1 del D.Lgs. 36/2003
Il sottotale Livello 1 usa un gradiente idraulico verticale calcolato sui soli strati selezionati ($i_{gv} = 1.25$), diverso da quello dell'intero pacchetto ($i_{gv} = 1.17$).

Figura 20. Schermata output (Tempi di attraversamento) del software Leach8.

ALLEGATO: SINTESI EQUAZIONI IMPLEMENTATE NEL TOOL

Parametro	Equazioni
Calcolo concentrazione accettabile (Backward)	
Concentrazione accettabile in discarica	$C_{acc(discarica)} \left[\frac{mg}{L_{percolato}} \right] = \frac{C_{acc(acquesott)}}{LF}$
Fattore di lisciviazione	$LF = \frac{SAM}{LDF}$
Coefficiente di attenuazione	$SAM = \frac{d_d}{L_{GW}}$
Fattore di diluizione	$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \partial_{gw} \cdot S_w}{L_f}$
Calcolo concentrazione in falda (Forward)	
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)	$\frac{1}{DAF1} = erf \left(\frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left(\frac{\delta_{gw}}{4 \sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right)$ $\frac{1}{DAF2} = erf \left(\frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right) \cdot erf \left(\frac{\delta_{gw}}{2 \sqrt{\alpha_{z,POC} \cdot POC}} \right)$ $\frac{1}{DAF3} = erf \left(\frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_{y,POC} \cdot POC}} \right)$
Parametri Intermedi	
Velocità di Darcy	$v_{gw} = K_{sat} \cdot i$
Spessore miscelazione in falda	$\delta_{gw} = (2 \cdot \alpha_z \cdot W)^{0,5} + d_a \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right]$ $\text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$
Dispersività verticale	$\alpha_z = 0.005 \cdot W$
Infiltrazione efficace	$I_{eff} = L_f / A_f$
Calcolo del percolato (in presenza di geomembrana)	
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)	$K_{eq} = \frac{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}$
Calcolo del percolato (in assenza di geomembrana)	
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)	$K_{eq} = \frac{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}}}$
Calcolo del tempo di attraversamento	
Tempo di attraversamento della barriera	$t_{attr} = \begin{cases} \sum \left(\frac{d_i}{K_i \cdot i_{av}} \right) \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365} & \text{(velocità darciana)} \\ \sum \left(\frac{d_i}{K_i/n_i \cdot i_{av}} \right) \cdot \frac{1}{86400 \cdot 365} & \text{(velocità interstiziale)} \end{cases}$
Conducibilità equivalente (argilla + materassino+ geomembrana)	$K_{eq} = \frac{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}} + \frac{s_{geo}}{K_{geo}}}{\frac{d_{unsat}}{K_r} + \frac{d_b}{K_b} + \frac{s_B}{K_B} + \frac{d_{ar}}{K_{ar}} + \frac{s_{geo}}{K_{geo}}}$

Nomenclatura Tabella

A_f: Superficie di fondo della discarica (m². Eq. calcolo del flusso con geomembrana in ha)

a_m, a_f, a_s: Area dei difetti per microfori, fori e strappi presenti (m²)

C_{acc(acquesotti)}: Concentrazione accettabile nelle acque sotterranee (mg/l)

C_d: costante adimensionale che descrive la qualità del contatto tra geomembrana e strato sottostante (-)

DAF: Fattore di diluizione in falda (-)

d_a: Spessore acquifero (m)

d_d: Profondità rispetto al p.c.dello strato impermeabile di fondo (m)

d_{unsat}: Spessore strato minerale insaturo (m)

h_{perc}: Altezza del livello di percolato sopra la geomembrana o sul fondo della discarica (m)

i: Gradiente idraulico in falda (-)

i_{av}: Gradiente idraulico medio verticale (-)

I_{eff}: Infiltrazione efficace (m/s)

LDF: Fattore di diluizione (-)

LF: Fattore di lisciviazione (-)

L_f: Flusso di percolato uscente dalla discarica (m³/s)

L'_{fm}, L'_{ff}, L'_{fs}: Flussi di percolato che filtrano rispettivamente attraverso i microfori, fori e strappi (m³/s)

L_{GW}: Soggiacenza della falda rispetto al p.c. (m)

SAM: Coefficiente di attenuazione (-)

s_B: Spessore materassino bentonitico (m)

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

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

v_{gw} : Velocità di Darcy (m/s)
 W : Estensione della discarica nella direzione principale del flusso di falda (m)
 α_z : Dispersività verticale al di sotto della discarica (m)
 $\alpha_{x,POC}$: Dispersività longitudinale per trasporto al punto di conformità (m)
 $\alpha_{y,POC}$: Dispersività trasversale per trasporto al punto di conformità (m)
 $\alpha_{z,POC}$: Dispersività verticale per trasporto al punto di conformità (m)
 δ_{gw} : Spessore miscelazione in falda (m)
 ρ_m, ρ_f, ρ_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 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