



# Progetto SMARTENVI

**STRUMENTI DECISIONALI AVANZATI PER RIDURRE I RISCHI  
AMBIENTALI E IDRICI ATTRAVERSO IL RISANAMENTO DELLE  
DISCARICHE APERTE**

**IO 1**

**Strumento decisionale di risanamento delle  
discariche aperte**

**Manuale d'uso**



**Silesian University  
of Technology**



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*This project is funded by the Erasmus+ Programme of the European Union. However, European Commission and Turkish National Agency cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.*



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

**Autori:**

Università Tecnica della Slesia, Gliwice, Polonia

**Co-autori:**

Università Tecnica di Gebze, Kocaeli, Turchia

Università di Pamukkale, Denizli, Turchia

Università di Petrolio e Gas, Ploiești, Romania

Training 2000 psc, Mondavio, Italia

Comune di Denizli, Turchia

Comune di Fano, Italia

Università di Sofia 'S. Clemente di Ocrida', Bulgaria

Centro di Sviluppo e Ricerca "Biointech" Ltd., Bulgaria

La sezione dedicata al Biogas è a cura di: Università Tecnica della Slesia, Gliwice, Polonia

La sezione dedicata alla stabilità dei versanti è a cura di: Università Tecnica di Gebze, Kocaeli, Turchia

La sezione dedicata al percolato è a cura di: Università di Pamukkale, Denizli, Turchia





Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

## Sommario

Introduzione .....	4
Processo di valutazione .....	6
Emissioni di biogas .....	7
Emissioni di percolato .....	10
Rischi associati alla stabilità dei versanti della discarica .....	12
Descrizione dei dati input e output .....	14
Descrizione della discarica.....	14
Descrizione dell'intervento di risanamento .....	16
Risultati – riassunto .....	18
Biogas - risultati .....	18
Percolato - risultati .....	21
Stabilità dei versanti - risultati.....	21



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



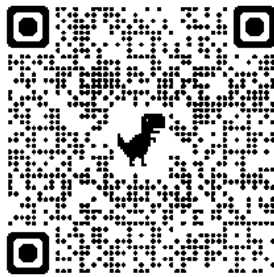
2020-1-TR01-KA226-VET-098150

## Introduzione

All'interno del progetto SMARTEnvi, lo Strumento decisionale avanzato (IO1) è uno strumento di supporto che consente di valutare gli effetti sull'ambiente di una discarica non controllata/ a cielo aperto. Si tratta di uno strumento di calcolo basato su una piattaforma online che aiuta gli utenti a valutare i potenziali benefici derivanti dal risanamento delle discariche non controllate. La valutazione comprende l'intero ciclo di vita della discarica, dall'inizio alla fine dell'attività di stoccaggio dei rifiuti; permette inoltre di valutare l'impatto ambientale della discarica attraverso due scenari: quello in cui si decide di realizzare il risanamento della discarica o quello in cui si opta di non intervenire. Si tratta quindi di uno strumento di supporto decisionale che fornisce a responsabili e decisori pubblici del settore delle informazioni preziose e argomenti a favore o contro il risanamento delle discariche non controllate.

Lo strumento è disponibile gratuitamente online ed è accessibile tramite computer desktop e dispositivi mobili. Lo strumento è aperto a tutti gli utenti, a prescindere dal luogo o gruppo di appartenenza.

Lo strumento è tradotto in 6 lingue: Inglese, turco, polacco, italiano, rumeno e bulgaro ed è disponibile sul sito web del progetto: <https://smart-envi.gtu.edu.tr/>.



Versione Inglese



Versione Turca



Versione polacca



Versione Italiana



Versione Romena



Versione Bulgara

Questo software online è stato progettato per essere di facile utilizzo per tutti gli utenti. I calcoli vengono eseguiti in tempo reale non appena vengono inseriti i dati richiesti. Il sistema esegue



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

operazioni matematiche complesse e un numero enorme di calcoli. Pertanto, potrebbero verificarsi lievi ritardi nel funzionamento del sistema.

Il risanamento delle discariche non controllate/ a cielo aperto è fondamentale per la protezione dell'ambiente e della salute pubblica. Queste discariche possono rilasciare sostanze chimiche e inquinanti molto nocive nel suolo e nelle falde acquifere, contribuendo all'inquinamento atmosferico tramite le emissioni di gas serra e creando condizioni antigieniche che possono aumentare il rischio di trasmissione di malattie.

È quindi essenziale valutare gli sforzi dietro al risanamento delle discariche non controllate al fine di garantire la loro efficacia nel mitigare i rischi menzionati e assicurarsi che le risorse stanziare per questa operazione siano utilizzate efficientemente.

L'utilizzo di uno strumento online in grado di supportare la decisione di risanamento delle discariche non controllate può contribuire a promuovere la trasparenza, la responsabilità e l'efficacia di questi sforzi critici per l'ambiente e la salute pubblica.

È importante notare che **questo strumento di supporto decisionale è stato progettato principalmente a scopo didattico**. Lo strumento fornisce agli utenti informazioni sull'importanza del risanamento delle discariche non controllate; inoltre, è in grado di fornire agli utenti una migliore comprensione dei rischi ambientali e per la salute pubblica associati al questo tipo di discariche, nonché dei potenziali benefici derivanti da una loro corretta bonifica.

Utilizzando questo strumento, le parti interessate, i membri della comunità, i decisori pubblici e le organizzazioni ambientali possono acquisire una comprensione più approfondita degli interventi alla base del processo di risanamento delle discariche, contribuendo a creare sostegno e incoraggiare pratiche di gestione e smaltimento dei rifiuti più sostenibili.

Lo Strumento decisionale può fornire vantaggi significativi nella valutazione del risanamento delle discariche non controllate, tuttavia include alcune semplificazioni o assunzioni che possono produrre risultati meno precisi. Pertanto, è importante considerare i risultati ottenuti dal software online con cautela e utilizzarli come uno dei vari input e non come l'unica base nel processo decisionale. Per garantire il successo dell'intervento di risanamento delle discariche non controllate e la tutela dell'ambiente circostante è necessaria un'analisi completa e dettagliata.



## Processo di valutazione

Lo Strumento valuta tre periodi del ciclo di vita di una discarica. Il primo è il periodo che va dall'inizio della sua attività (DS), cioè il momento in cui è stata stoccata la prima porzione di rifiuti, fino al momento in cui si considera di prendere una decisione sul suo risanamento (DR). L'analisi di questo periodo costituisce lo Scenario 1.

Il secondo scenario è il periodo che va dalla decisione del risanamento alla fine dell'attività della discarica (DE). Durante questo periodo di tempo, vengono analizzati due scenari alternativi. Lo Scenario 2 descrive una situazione in cui non si è realizzato il risanamento della discarica non controllata/ a cielo aperto, mentre lo Scenario 3 in cui il risanamento è stata attuato.

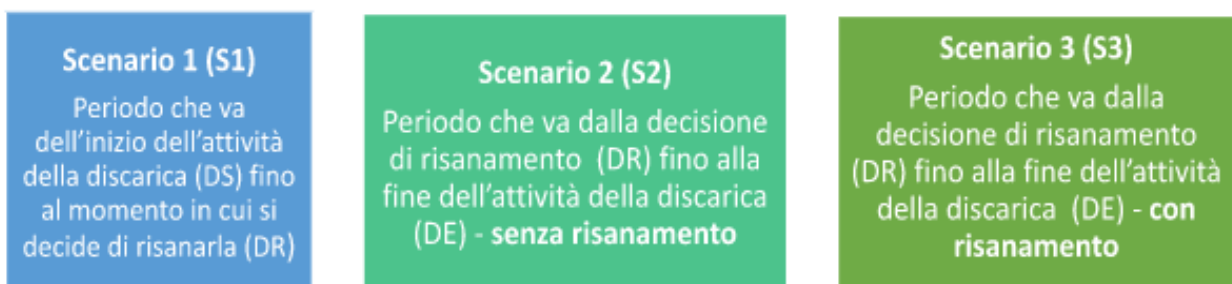


Fig. 1. I 3 scenari analizzati dallo Strumento decisionale per il risanamento delle discariche non controllate/ a cielo aperto

Il processo di analisi si svolge in diverse fasi (Fig. 2). All'inizio, l'utente definisce i parametri di base della discarica. Successivamente vengono determinati gli elementi che saranno implementati come parte del risanamento. Dopo aver inserito i dati rilevanti, il software calcola gli indicatori che saranno utili per i responsabili e i decisori pubblici e che evidenziano gli aspetti più importanti dell'impatto di questo tipo di discariche sull'ambiente circostante e la salute delle persone.



Fig. 2. Le sezioni presentate dallo Strumento decisionale online

In questa analisi vengono presi in considerazione 3 impatti negativi che sono anche rischi delle discariche non controllate/ a cielo aperto:

- Le emissioni di gas di discarica,
- La contaminazione del percolato,
- La stabilità dei versanti della discarica.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Questi tre tipi di impatto sono considerati i più importanti perché hanno conseguenze ambientali significative.

**Emissioni di gas di discarica:** Le emissioni di gas di discarica rappresentano uno degli impatti ambientali più negativi delle discariche non controllate/ a cielo aperto. Le discariche generano gas come metano, anidride carbonica e composti organici volatili, che possono contribuire all'inquinamento atmosferico e alle emissioni di gas serra. Il metano, in particolare, è un potente gas serra che influisce negativamente sul cambiamento climatico. Sistemi di gestione dei gas di discarica adeguatamente progettati e mantenuti possono contribuire a mitigare queste emissioni e a ridurre l'impatto sull'ambiente e sulla salute pubblica.

**Emissioni di percolato:** Il percolato è un liquido che si forma quando l'acqua filtra attraverso i rifiuti in una discarica, raccogliendo contaminanti e sostanze inquinanti lungo il percorso. Il percolato può contaminare le acque sotterranee e di superficie, causando degrado ambientale e rischi per la salute pubblica. Sistemi di gestione del percolato adeguatamente progettati e mantenuti possono contribuire a ridurre l'impatto delle emissioni di percolato sull'ambiente e sulla salute pubblica.

**Stabilità dei versanti :** La stabilità di una discarica si riferisce alla sua capacità di rimanere strutturalmente solida e di non crollare o subire assestamenti significativi. La stabilità è importante perché i crolli e gli assestamenti possono causare l'erosione del suolo, danni alle infrastrutture vicine e potenziali danni ai lavoratori e alla popolazione. Misure ingegneristiche adeguatamente progettate e mantenute possono contribuire a garantire la stabilità della discarica e a ridurre questi rischi.

L'inclusione di questi tre fattori nello Strumento è stata motivata dal fatto che, mitigando questi impatti attraverso il processo di risanamento, è possibile ridurre al minimo i rischi per l'ambiente e la salute pubblica e promuovere pratiche di gestione sostenibile dei rifiuti.

## **Emissioni di biogas**

Il biogas è un gas naturale prodotto dalla decomposizione di materiali organici da parte di microrganismi in condizioni anaerobiche. Le discariche sono una delle principali fonti di biogas, poiché contengono grandi quantità di rifiuti organici che si decompongono nel tempo.

Il processo di generazione di biogas nelle discariche inizia con la deposizione di materiali organici di scarto. Quando i rifiuti si decompongono, producono una miscela di gas, tra cui metano (CH<sub>4</sub>), anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e altri gas in tracce. Questa miscela di gas è nota come gas di discarica (LFG).

Il processo di risanamento di una discarica si riferisce al processo di bonifica di sito vecchio o abbandonato al fine di renderlo funzionale e sicuro. Nel caso del gas, questo processo comporta la captazione e l'utilizzo del LFG come fonte di energia rinnovabile, affrontando contemporaneamente le problematiche ambientali associate alle discariche.

Il processo di risanamento di una discarica comporta tipicamente diverse fasi, tra cui la rimozione di tutti i materiali di scarto residui, l'installazione di un sistema di raccolta del gas e l'attuazione di misure per prevenire ulteriori contaminazioni ambientali. Il sistema di raccolta dei gas è una componente critica dell'utilizzo del gas di discarica, in quanto consente la cattura e il trattamento del LFG, che può essere utilizzato per generare elettricità o calore.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Il LFG può essere estratto dalla discarica utilizzando un sistema di tubi e pompe. Il gas estratto può essere trattato e utilizzato come fonte di energia. Il metano è il componente più prezioso del LFG, in quanto può essere utilizzato come combustibile per la produzione di energia elettrica, per il riscaldamento o come carburante per i trasporti.

Una volta estratto, il gas può essere trattato per rimuovere impurità come umidità, idrogeno solforato e altri contaminanti. Il gas purificato può quindi essere utilizzato per generare elettricità o come combustibile per altre applicazioni.

**Il componente principale del gas di discarica è il CH<sub>4</sub> (metano), un potente gas a effetto serra.** Il CH<sub>4</sub> è più efficace nell'intrappolare il calore nell'atmosfera rispetto alla CO<sub>2</sub>, con un potenziale di riscaldamento globale stimato a 28 volte superiore a quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 100 anni.

**La CO<sub>2</sub> (anidride carbonica) è un componente del gas di discarica** prodotto come risultato della decomposizione dei rifiuti organici in una discarica. Sebbene la CO<sub>2</sub> sia un gas a effetto serra che contribuisce al cambiamento climatico, la CO<sub>2</sub> prodotta dalla decomposizione dei rifiuti organici è considerata neutra per il clima per una serie di motivi.

In primo luogo, il carbonio contenuto nei rifiuti organici che si decompongono in discarica proviene originariamente dall'atmosfera attraverso il processo di fotosintesi. Pertanto, la CO<sub>2</sub> prodotta durante la decomposizione non fa altro che restituire il carbonio già presente nel ciclo del carbonio. Ciò è in contrasto con l'uso di combustibili fossili, dove il carbonio immagazzinato nel sottosuolo per milioni di anni viene rilasciato nell'atmosfera, contribuendo a un aumento netto dei livelli di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera.

In secondo luogo, quando il LFG viene catturato e utilizzato come fonte di energia, la CO<sub>2</sub> prodotta durante la combustione è compensata dalla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> che si sarebbe ottenuta con l'uso di combustibili fossili. In altre parole, le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dall'utilizzo del LFG sono compensate dalla riduzione delle emissioni derivanti da altre fonti di energia.

Infine, quando il LFG non viene catturato, il metano (CH<sub>4</sub>) contenuto nel gas può fuoriuscire nell'atmosfera, inquinando molto di più della CO<sub>2</sub>. Catturando e utilizzando il LFG, le emissioni di metano dalle discariche possono essere ridotte in modo significativo, con un beneficio netto in termini di emissioni di gas serra.

In generale, sebbene la CO<sub>2</sub> prodotta dalla decomposizione dei rifiuti organici nelle discariche contribuisca al cambiamento climatico, è considerata neutrale per il clima quando il LFG viene catturato e utilizzato come fonte di energia rinnovabile. Ciò è dovuto al fatto che il carbonio contenuto nei rifiuti fa già parte del ciclo del carbonio, alla compensazione delle emissioni da combustibili fossili e alla riduzione delle emissioni di metano dalle discariche.

**Nello Strumento, tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> - cioè le emissioni libere di gas di discarica e quelle provenienti dall'impianto di trattamento del gas di discarica - sono trattate come neutrali dal punto di vista climatico. Le emissioni di CH<sub>4</sub> sono trattate come un filo conduttore del cambiamento climatico. Per ragioni pratiche, il CH<sub>4</sub> viene ricalcolato in CO<sub>2</sub> equivalente per facilitare l'impatto reale delle diverse emissioni sull'ambiente.**

La generazione di biogas nelle discariche può avere notevoli benefici ambientali ed economici. Estrahendo e utilizzando il LFG, le discariche possono ridurre le loro emissioni di gas serra e



contribuire alla produzione di energia rinnovabile. Inoltre, l'utilizzo del biogas come fonte di combustibile può ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e fornire una fonte di energia sostenibile.

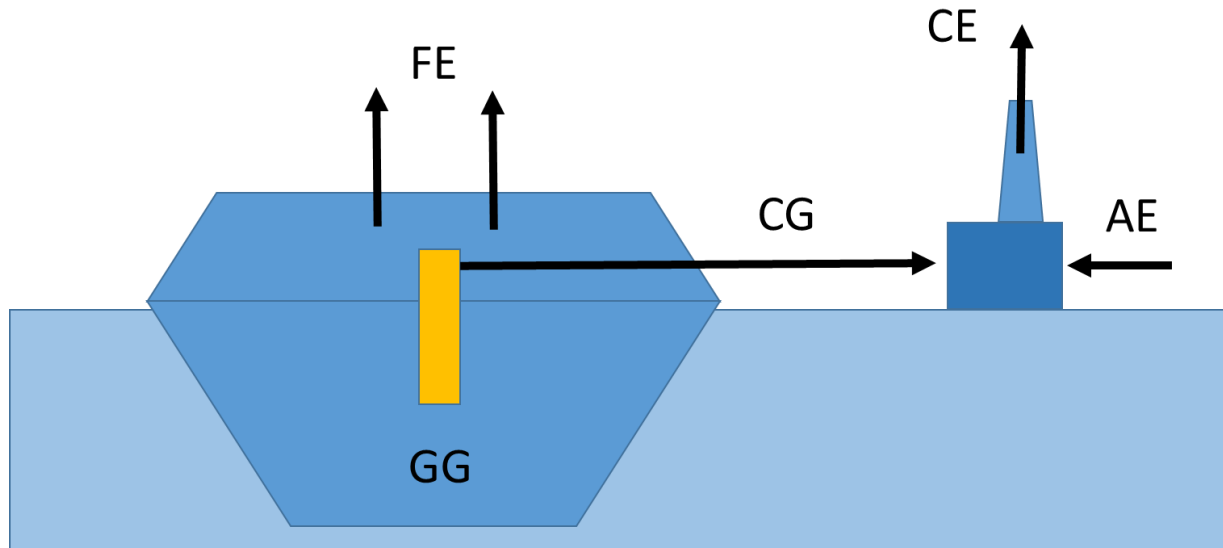


Fig. 3. Tipi di emissioni considerate nello Strumento decisionale

Nello Strumento vengono presi in considerazione i seguenti parametri per le emissioni di gas di discarica.

- **Generazione di biogas di discarica (GG)** - calcolo effettuato sulla base della massa, della composizione della frazione e dell'ambiente (umido, secco, medio).
- **Emissione in atmosfera (FE)** - emissione di gas di discarica che non viene raccolta dal sistema di raccolta del gas (efficienza inferiore al 100%).
- **Biogas captato (CG)** - parte del gas di discarica generato che viene raccolto dal sistema di raccolta del gas di discarica e indirizzato all'impianto di utilizzo.
- **Emissione di biogas evitate (AE)** - emissione che non si verificherà grazie alla sostituzione delle fonti energetiche (questo parametro è influenzato dalla posizione dell'impianto e dai parametri della rete energetica locale);
- **Emissioni da combustione (CE)** – emissione dell'impianto di utilizzo del gas di discarica (torcia o recupero energetico). Nell'impianto avviene un processo di combustione e il CH<sub>4</sub> viene trasformato in CO<sub>2</sub>. Questa CO<sub>2</sub> è neutra dal punto di vista climatico, il che significa che il CE è sempre pari a 0.
- **Emissione effettiva (EE)** - emissione finale di tutti i gas serra prodotti in CO<sub>2</sub> equivalente, compresi FE, CE, AE e l'efficienza della raccolta del gas e della generazione di energia. Può essere considerata una misura del reale impatto ambientale della discarica dal punto di vista del cambiamento climatici.

Se 1 kWh di energia proveniente dalla rete, che emette X kg di CO<sub>2</sub> viene sostituito da energia proveniente da un'altra fonte che emette Y kg di CO<sub>2</sub>, allora possiamo dire che questa azione ha causato un cambiamento nell'impatto ambientale. Sostituendo una fonte di energia con un'altra, abbiamo evitato una parte delle emissioni. Queste emissioni evitate sono la differenza tra le emissioni di CO<sub>2</sub> associate all'uso di entrambe le fonti energetiche: AE=X.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

**Le emissioni evitate** si riferiscono alla riduzione delle emissioni di gas serra che si sarebbero verificate se una particolare attività non fosse stata intrapresa. Nel caso dell'utilizzo del gas di discarica (LFG) per la produzione di energia, ci sono diversi modi in cui si possono ridurre le emissioni.

Tenendo conto delle **emissioni evitate**, le **emissioni effettive di gas serra (EE)** possono quindi avere un punteggio negativo e favorire la tutela ambientale secondo l'equazione:

$$EE=FE+CE-AE$$

L'utilizzo di LFG può essere considerato una fonte di energia rinnovabile, in grado di sostituire l'uso di combustibili fossili come carbone, petrolio e gas naturale, che emettono grandi quantità di CO<sub>2</sub> e altri gas serra quando vengono bruciati. Utilizzando il LFG al posto dei combustibili fossili, si evitano le emissioni di CO<sub>2</sub> e di altri gas a effetto serra, con conseguente riduzione dell'impronta di carbonio complessiva della generazione di energia.

La previsione e la valutazione delle emissioni di gas di discarica sono effettuate sulla base del modello LandGEM dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti.

## Emissioni di percolato

Il percolato di discarica è definito come un'acqua di scarico ad alta resistenza, con un elevato contenuto di sostanze inquinanti e tossiche. Il percolato è estremamente dannoso per l'ambiente. Uno degli effetti più importanti del percolato di discarica è che si mescola con gli ecosistemi acquatici come laghi e torrenti, causando un aumento di alghe e plancton. La quantità di ossigeno nel corpo idrico diminuisce e la vita dell'ecosistema acquatico viene messa in pericolo nel tempo. A causa della sua elevata tossicità, il percolato di rifiuti rappresenta una grave minaccia per le acque sotterranee e superficiali. Il contenuto del percolato di discarica dipende dalla composizione dei rifiuti, dalle condizioni climatiche, dall'età e dal tasso di degradazione dei rifiuti solidi.

Le caratteristiche qualitative e quantitative del percolato di discarica dipendono da molteplici fattori, alcuni dei quali sono difficili da controllare, come le condizioni meteorologiche, le caratteristiche idrologiche, la composizione e l'età dei rifiuti, ecc. Tutti questi elementi implicano criticità di gestione che hanno portato a diversi approcci sistemici, sia a livello europeo che nazionale.

Dal punto di vista quantitativo, la produzione di percolato è in gran parte attribuita a input esterni (infiltrazioni di acqua piovana, sia superficiali che sotterranee) e interni, come il livello di umidità dei rifiuti e i bilanci idrici legati alle reazioni biochimiche dello smaltimento dei rifiuti.

In particolare, gli apporti esterni riguardano:

- caratteristiche meteorologiche e idrogeologiche del sito, in particolare legate alle precipitazioni, alle temperature, all'esposizione solare o al vento, all'infiltrazione dei corpi idrici, sia superficiali che sotterranei.
- Il modello di gestione della discarica: presenza di drenaggio, sistema di rivestimento primario o secondario, estensione e copertura giornaliera della vasca dei rifiuti, eventuale ricircolo del percolato
- Caratteristiche dei rifiuti: composizione dei rifiuti, livello di umidità, eventuali pretrattamenti, dimensioni, livello di compattezza.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

La composizione e la forza del percolato variano notevolmente da discarica a discarica, anche all'interno di una stessa discarica. Va notato che, anche in assenza di input esterni (ad esempio, un sistema di copertura della discarica), la decomposizione anaerobica dei rifiuti e la produzione di percolato continuano anche dopo la fine del ciclo di vita della discarica. Ciò significa che i gestori delle discariche devono mantenere in funzione gli impianti di drenaggio e trattamento, garantendo al contempo che l'ambiente circostante sia al sicuro dalla contaminazione, in conformità alle leggi nazionali.

Dal punto di vista qualitativo, è impossibile descrivere la composizione tipica di un percolato di discarica, essendo esso influenzato da diversi fattori che incidono specificamente sul processo di biodegradazione dei rifiuti, contribuendo così all'infiltrazione di diversi inquinanti.

I principali fattori che influenzano il progresso della biodegradazione sono:

- Livello di umidità dei rifiuti stoccati
- Quantità e natura dei componenti organici (soprattutto se fanghi di depurazione, compost non specifico)
- Livelli di metalli e/o sostanze tossiche provenienti da batterie, farmaci, solventi, ecc.
- Livelli di raccolta differenziata nei dintorni dell'impianto di discarica, che possono variare il tipo di smaltimento dei rifiuti

I pretrattamenti dei rifiuti e la loro collocazione in discarica sono altri due fattori importanti che influenzano la capacità di assorbimento dell'acqua da parte della massa dei rifiuti, determinando la migrazione degli inquinanti nel percolato.

Studi consolidati dimostrano che la concentrazione di inquinanti all'interno del percolato è più elevata nel primo anno operativo della discarica e diminuisce progressivamente nel corso degli anni. Questa tendenza riguarda i parametri organici domanda chimica di ossigeno (COD) e domanda biochimica di ossigeno (BOD) e i principali sali inorganici (metalli pesanti, solfati, ecc.).

La rimozione del materiale organico basato su COD, BOD e ammonio dal percolato è il prerequisito fondamentale comune prima di procedere allo scarico dei percolati nelle acque naturali.

Dal punto di vista microbiologico, la proliferazione di funghi e batteri è inibita dalle comuni condizioni ambientali (alte temperature e pH) durante il processo di biodegradazione.

Nello Strumento decisionale online vengono valutati i seguenti parametri del percolato:

- **La generazione di percolato** - è l'acqua di scarico totale originata dalle precipitazioni e dal contenuto d'acqua dei rifiuti solidi.
- **La quantità di percolato** - dopo la compattazione è la quantità di acqua di scarico nel caso in cui il compattatore venga utilizzato in un'area di discarica non controllata/ a cielo aperto.
- **Il contenuto di acqua dei rifiuti solidi** è l'umidità dei rifiuti solidi in base alla loro composizione.
- **La quantità di percolato generata dalle precipitazioni** - è la quantità di acqua piovuta e nevicata sul corpo rifiuti.



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Ron (Totale)** indica l' infiltrazione delle precipitazioni sulla superficie.
- **Roff (Totale)** indica il flusso delle precipitazioni sulla superficie.
- **La domanda chimica di ossigeno (COD)** è calcolata in base alla composizione dei rifiuti.
- **Il carico organico espresso in COD** è calcolato in base alla concentrazione di COD e al volume del percolato

## Rischi associati alla stabilità dei versanti della discarica

L'instabilità dei versanti di una discarica può causare danni a cose e persone e contaminare l'ambiente circostante. Inoltre, quando si verifica un cedimento del pendio di una discarica, il gas contenuto nei rifiuti (se presente) può essere rilasciato nell'atmosfera, con conseguenze negative per l'ambiente. Di conseguenza, mantenere in sicurezza le discariche e garantire la loro stabilità è un dovere imprescindibile per i decisori pubblici e i professionisti del settore ambientale (Toprak et al., 2021). Tutto ciò è importante anche per le persone che vivono nelle zone circostanti alle discariche.

La stabilità dei versanti viene spesso misurata in termini di fattore di sicurezza (FS). Il fattore di sicurezza di un pendio è definito come il rapporto tra le forze resistenti e le forze motrici o trainanti presenti lungo la superficie di rottura. La formula del Fattore di sicurezza per la stabilità dei versanti è la seguente.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

In questa equazione,  $\tau_f$  è la resistenza media al taglio del terreno  $\tau_d$  è la sollecitazione media al taglio su una potenziale superficie di slittamento.

Quando le discariche vengono costruite in aree a rischio sismico, è necessario prestare attenzione all'effetto dei terremoti sia durante la progettazione e che la gestione della discarica. Per le condizioni sismiche, il metodo pseudo-statico è uno dei metodi più utilizzati. Questo metodo è anche uno dei più semplici per idealizzare il pendio soggetto al terremoto. Sebbene la forza di un terremoto sia dinamica, la causa principale dell'instabilità può essere considerata la forza inerziale. Nell'approccio pseudostatico, l'accelerazione causata dallo scuotimento di un terremoto è vista come la produzione di forze inerziali. Le forze sismiche operano sia in direzione orizzontale che verticale. Queste forze vengono calcolate con le seguenti formule:

$$f_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$$

$$f_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W$$

dove  $k_v$  e  $k_h$  sono coefficienti pseudostatici verticali e orizzontali adimensionali e  $W$  è il peso della massa in cedimento. Le forze che agiscono su un pendio per una superficie di cedimento circolare e per una superficie di cedimento lineare sono riportate nella Figura 4 e nella Figura 5.

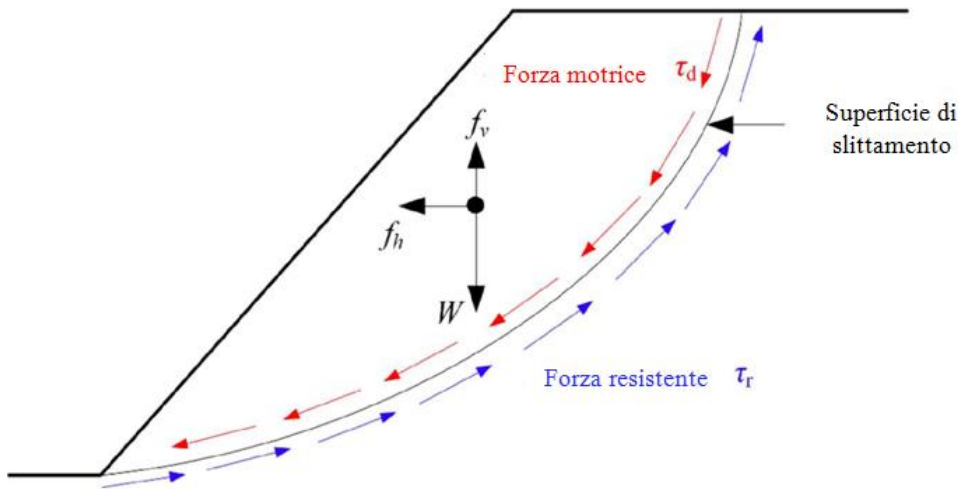


Fig. 4. Forze che agiscono su un pendio nell'analisi pseudostatica della stabilità dei pendii per una superficie di rottura circolare.

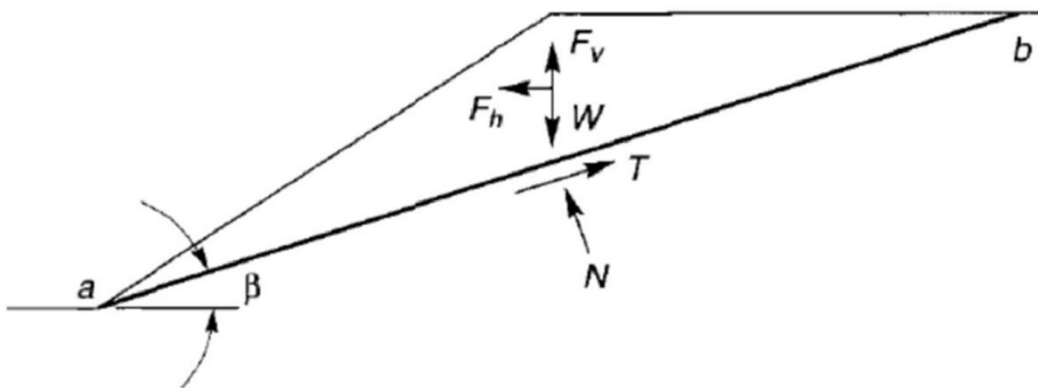


Fig. 5. Forze agenti su un pendio nell'analisi pseudostatica della stabilità dei pendii per una superficie di rottura lineare.

Il coefficiente FS del pendio della Fig. 5 si calcola con la seguente equazione:

$$FS = \frac{\text{forza motrice}}{\text{forza resistente}} = \frac{c l_{ab} + [(W - F_v) \cos \alpha \cos \beta - F_h \sin \beta] \tan \phi}{(W - F_v) \sin \alpha \sin \beta + F_h \cos \beta}$$

Come mostrato nell'equazione, la coesione (c), l'angolo di attrito interno ( $\phi$ ), il peso specifico dei rifiuti che influisce sul peso di scorrimento, i coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  possono influenzare i risultati della formula nel calcolo del FS del pendio. Il livello del percolato influisce sul peso unitario dei rifiuti e sulla pressione dell'acqua nella discarica, quindi si tratta di un parametro importante da considerare.



## Descrizione dei dati input e output

Per utilizzare lo Strumento, l'utente deve fornire i seguenti dati.

### Descrizione della discarica

In questa sezione l'utente deve definire la discarica fornendo le seguenti informazioni:

- **Inizio attività (DS)** – anno in cui i primi rifiuti sono stati stoccati nella discarica non controllata.
- **Fine attività**- tempo trascorso dall'inizio del funzionamento della discarica al momento in cui la discarica ha smesso di stoccare rifiuti.
- **Quantità di rifiuti stoccati** - massa totale dei rifiuti stoccati nella discarica (tonnellate) al momento della sua chiusura (DE).
- **Ambiente**- descrizione semplificata dell'ambiente in cui si trova la discarica. L'utente può scegliere tra umido, secco o medio. Questo influisce sul volume e sulla composizione del gas di discarica;
- **Paese** - l'ubicazione della discarica, necessaria per calcolare il potenziale risparmio di emissioni di gas serra dovuto alla sostituzione dell'elettricità di rete con quella generata dal gas di discarica (se il risanamento lo prevede). Sul lato destro viene mostrato il fattore di emissione di CO<sub>2</sub> relativo ai MWh di elettricità di rete nella località specificata. Viene calcolato automaticamente.
- **Precipitazioni (mm/anno)** - Le precipitazioni si riferiscono a qualsiasi forma di acqua che cade dall'atmosfera e raggiunge la superficie terrestre. Può includere pioggia, neve, nevischio, grandine e altre forme di precipitazione. Le precipitazioni si verificano quando le gocce d'acqua o i cristalli di ghiaccio nelle nuvole diventano abbastanza grandi da cadere al suolo sotto l'influenza della gravità. Le precipitazioni influiscono sulla produzione di percolato.
- **Area di stoccaggio (m<sup>2</sup>)** - L'area di stoccaggio totale ha un impatto significativo sulla generazione di percolato. Il percolato è il liquido che risulta dalla percolazione dell'acqua attraverso i materiali di scarto, tipicamente in una discarica o in un altro sito di smaltimento dei rifiuti. La quantità di percolato generato può dipendere da diversi fattori, tra cui la quantità di rifiuti presenti, il tipo di rifiuti, il contenuto di umidità e l'area di stoccaggio. Un'area di stoccaggio più grande può portare a una maggiore quantità di rifiuti stoccati, con conseguente aumento dei livelli di generazione di percolato. Inoltre, un'area di stoccaggio più ampia può consentire un maggiore accumulo di umidità nei rifiuti, con conseguente aumento della produzione di percolato.
- **Compattazione** - l'utente può scegliere se la compactazione è presente o meno. La compactazione della discarica è un aspetto importante della progettazione e del funzionamento della discarica.
- **Rapporto di compactazione (%)** - La compactazione si riferisce al processo di compressione dei materiali di scarto in una discarica per ridurre il volume e creare più spazio per altri rifiuti. Una compactazione efficace può anche contribuire a minimizzare la produzione di percolato, riducendo la quantità di aria e acqua che può penetrare nei rifiuti. Questo può aiutare a prevenire la contaminazione delle acque sotterranee e a ridurre il rischio di danni ambientali.



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Ci sono aree chiuse nelle discariche?** - Le discariche possono essere composte da diverse parti (lotti). Quando un'area è chiusa significa che è stata riempita di rifiuti e coperta di terra. Lo stoccaggio dei rifiuti continua in altre zone della discarica.
- **Percentuale di chiusura dell'area (%)** - la percentuale di area (lotto) in cui la discarica è stata chiusa e ricoperta di terra nella discarica.
- **Frazioni merceologiche: composizione e caratteristiche**- l'utente deve fornire dati sulla percentuale di rifiuti di carta, tessuti, alimenti, verde da potature e sfalci, fanghi di depurazione, pannolini usa e getta, legno e paglia, e rifiuto secco non biodegradabile nella massa totale dei rifiuti stoccati. I dati inseriti devono essere espressi in %. La frazione viene calcolata automaticamente.
- Il totale di tutte le frazioni deve essere pari al 100%. Se il valore della frazione inerte è inferiore a 0, significa che i dati inseriti non sono corretti e devono essere controllati. La composizione della frazione di rifiuti si riferisce ai diversi tipi e quantità di materiali di scarto. La composizione dei rifiuti può influenzare le caratteristiche del percolato, tra cui il pH, la composizione chimica e la pericolosità del danno ambientale. I rifiuti organici, ad esempio, possono produrre alti livelli di percolato a causa del loro elevato contenuto di umidità e della loro biodegradabilità. Analogamente, il gas di discarica è un sottoprodotto della decomposizione dei materiali di scarto in una discarica. La composizione dei rifiuti può influenzare i tipi e le quantità di gas prodotti. Ad esempio, i rifiuti organici possono produrre quantità significative di gas metano, un potente gas serra che contribuisce al cambiamento climatico.
- **Altezza della discarica** - l'utente deve inserire l'altezza attuale della discarica dal livello del suolo; è possibile selezionare un valore intero compreso tra 10 m e 60 m (Fig. 6).
- **Angolo di pendenza** - rappresenta l'angolo di pendenza della discarica; si possono scegliere 1V/1H (1 verticale: 3 orizzontale, 18,43°), 1V/2H (1 verticale: 2 orizzontale, 26,57°) e 1V/3H (1 verticale: 1 orizzontale, 45°) (Fig. 6).

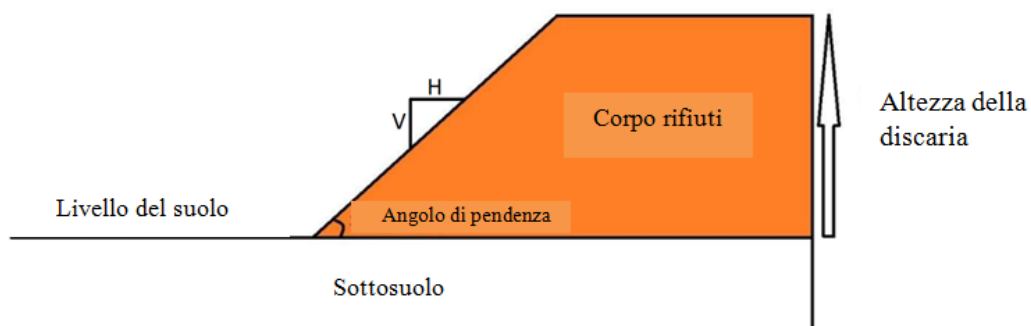


Fig. 6. Altezza e inclinazione del pendio della discarica

- **Livello dell'acqua (percolato) dal suolo/altezza della discarica** - quantifica il rapporto tra l'altezza del percolato e l'altezza della discarica aperta. Le opzioni sono 0 (nessun livello di percolato nei rifiuti), 0,25 e 0,75 (Fig. 7).

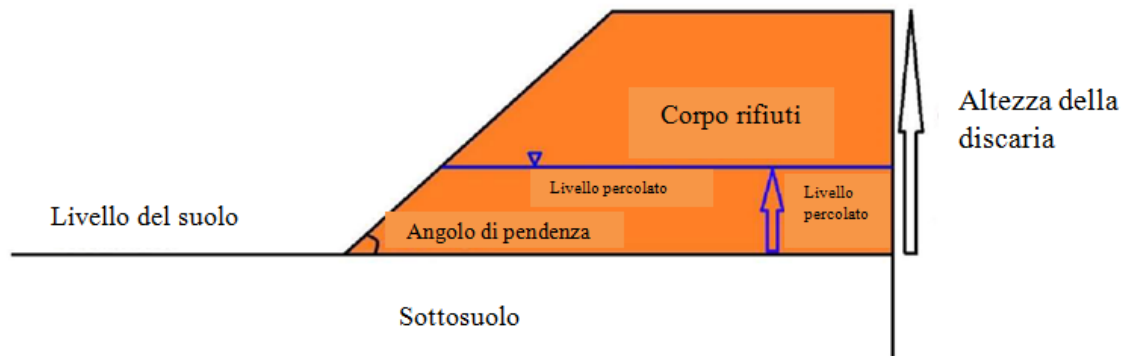


Fig. 7. Livello dell'acqua (percolato) dal suolo/altezza della discarica

- **Peso specifico dei rifiuti ( $\gamma$ )** - quantifica il peso per unità di volume dei rifiuti; l'utente può selezionare un valore intero compreso tra 6 and 14 kN/m<sup>3</sup>.
- **Coesione efficace ( $c$ ) (0 - 80 kPa)** - rappresenta la tendenza delle particelle dei rifiuti ad aderire tra loro. È uno dei parametri della resistenza al taglio, definita come la massima sollecitazione di taglio che i rifiuti possono sostenere senza subire cedimenti. L'utente può inserire un valore intero compreso tra 0 e 80 kPa.
- **Angolo di attrito interno ( $\phi$ ) (0-50 gradi)** - è un altro parametro della resistenza al taglio. L'utente può inserire un valore intero compreso tra 0° e 50°.
- **kh (coefficiente pseudostatico orizzontale) - kv (coefficiente pseudostatico verticale)** - vengono utilizzati per calcolare le forze orizzontali e verticali causate da un potenziale terremoto. Sono adimensionali. L'utente può selezionare un valore tra 0 - 0, 0.05 - 0, 0.05 - kh/2, 0.05 - kh, 0.1 - 0, 0.1 - kh/2, 0.1 - kh, 0.2 - 0, 0.2 - kh/2, 0.2 - kh, 0.3 - 0, 0.3 - kh/2, 0.3 - kh, 0.4 - 0, 0.4 - kh/2, 0.4 - kh.

In teoria, i valori dei coefficienti sismici dovrebbero basarsi su un qualche indicatore dell'entità della forza inerziale che le forze dinamiche di un terremoto provocano nel pendio. Poiché i versanti non sono rigidi e l'accelerazione di picco di un terremoto dura solo per un breve periodo, i valori di accelerazione utilizzati nella pratica sono di solito molto inferiori alle accelerazioni di picco stimate. La scelta dei coefficienti utilizzati nello studio di stabilità dei versanti dipende generalmente dal codice di progettazione utilizzato nel paese e dalla posizione della discarica rispetto alla mappa sismica. In letteratura sono disponibili anche alcuni suggerimenti generalizzati, come quelli di Marcuson e Franklin (1983), Hynes-Griffin e Franklin (1984) e Melo e Sharma (2004).

## Descrizione dell'intervento di risanamento

In questa sezione l'utente può inserire le misure che verranno adottate nel processo di risanamento. Devono essere riportate le seguenti informazioni:

- **Anno di risanamento della discarica (DR)**– anno in cui viene effettuata il risanamento.
- **Tipo di utilizzo del gas di discarica** – l'utente deve definire il tipo di gas di discarica che verrà utilizzato. Si può scegliere tra recupero energetico o torcia. In quanto sottoprodotto della decomposizione dei materiali di scarto in una discarica, questo gas può essere utilizzato



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

come fonte di energia rinnovabile. Il gas di discarica contiene tipicamente alti livelli di metano, che può essere catturato e utilizzato per generare elettricità, riscaldare edifici o alimentare veicoli. L'utilizzo del gas di discarica come fonte di energia presenta diversi vantaggi. In primo luogo, può contribuire a ridurre le emissioni di gas serra catturando il metano che altrimenti verrebbe rilasciato nell'atmosfera. Il metano è un potente gas serra che, secondo le stime, è oltre 20 volte più efficace nell'intrappolare il calore rispetto all'anidride carbonica, rendendo la sua cattura e il suo utilizzo un modo efficace per mitigare il cambiamento climatico. In secondo luogo, l'utilizzo del gas di discarica può fornire una fonte di energia rinnovabile che può contribuire a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili. Ciò può contribuire alla sicurezza energetica e alla promozione di un sistema energetico più sostenibile.

- **Efficienza di recupero del gas (%)** - l'utente può definire la percentuale di gas di discarica che verrà raccolta. 100% significa che tutto il gas di discarica sarà raccolto e utilizzato. Il gas di discarica può essere raccolto con diversi metodi, tra cui pozzi, tubi di raccolta, ecc. Purtroppo, nessun sistema di raccolta del gas è efficiente al 100%. Questi valori variano da Paese a Paese (ad esempio, Svezia -58%, Regno Unito -64% e Stati Uniti -63%) e dipendono da una serie di fattori, come le tubature di raccolta del gas poco profonde, le perdite dagli impianti (ad esempio, pozzi per il percolato, motori a gas), il basso recupero del gas dovuto a una produzione minima di gas o la mancanza di raccolta del gas nelle celle di rifiuti attive. L'utente deve determinare l'efficienza media sulla base dell'analisi tecnica della soluzione proposta (Duan Z. et al. 2022).
- **Efficienza della generazione energetica (%)** - l'utente può definire quale quota del potenziale energetico del gas sarà utilizzata. In altre parole, è la misura dell'efficienza della generazione di energia dal gas di discarica. Questa percentuale influenzerà il risultato nel caso in cui venga selezionato il recupero energetico. Una volta raccolto, il gas può essere pulito e trattato per rimuovere le impurità prima di essere utilizzato come fonte di energia. I progetti di utilizzo del gas di discarica possono variare in scala, da piccoli progetti in loco a operazioni commerciali su larga scala. L'efficienza della generazione di energia è diversa per le varie opzioni. Ad esempio, le turbine a gas hanno efficienze nette intorno al 30-40%, mentre i motori a gas mostrano valori fino al 46%. Applicando soluzioni di riciclo del calore, le efficienze nette delle turbine a gas aumentano fino a quasi il 60% e quelle dei motori fino al 50%. L'utente deve determinare l'efficienza media in base all'analisi tecnica della soluzione proposta.
- **Materiale di copertura** - l'utente può definire lo strato di copertura della discarica installato durante il processo di risanamento. È possibile selezionare terreno sabbioso - pendenza 0-7%, terreno sabbioso - pendenza >7%, argilla - pendenza 0-7%, argilla - pendenza >7%. Il coefficiente di slittamento superficiale viene visualizzato dopo la selezione del materiale di copertura. Questo dato viene calcolato automaticamente. Il materiale di copertura utilizzato in una discarica svolge un ruolo importante nel controllo della generazione e della migrazione del percolato. Impedendo all'acqua di entrare nella discarica, il materiale di copertura può anche influenzare la qualità del percolato generato. Se il materiale di copertura non è efficace nel prevenire l'infiltrazione dell'acqua, il percolato risultante può essere contaminato da sostanze inquinanti provenienti dai materiali di scarto.
- **Nuovo angolo di pendenza** - l'angolo di pendenza può essere diminuito. Le opzioni sono 1V/1H (1 verticale: 3 orizzontale, 18,43°), 1V/2H (1 verticale: 2 orizzontale, 26,57°) e 1V/3H (1 verticale: 1 orizzontale, 45°).



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Nuova altezza della discarica** - l'altezza della discarica può essere diminuita. L'utente può inserire un valore intero compreso tra 10 m e 60 m.
- **Nuovo livello di acqua (percolato) dal suolo/altezza della discarica** - l'utente può diminuire il rapporto tra il livello di acqua (percolato) dal suolo e l'altezza della discarica. Le opzioni sono 0 (nessun livello di percolato nei rifiuti), 0,25 e 0,75.
- **Altezza futura della discarica senza risanamento** - rappresenta l'altezza futura della discarica aperta dal livello del suolo senza risanamento. L'utente può selezionare un valore intero compreso tra 10 m e 60 m.
- **Livello futuro di acqua (percolato) sopra il suolo/altezza della discarica senza risanamento** - quantifica il rapporto tra l'altezza futura del percolato e l'altezza della discarica aperta senza risanamento. Le opzioni sono: 0 (nessun livello di percolato nei rifiuti), 0,25 e 0,75.

## Risultati – riassunto

In questa sezione vengono presentati i risultati più importanti dei dati calcolati. In una tabella l'utente può confrontare i valori per tutti e 3 gli scenari.

I risultati dello Scenario 1 forniscono una panoramica dell'impatto della discarica sull'ambiente dall'inizio della sua attività fino al momento di decisione di risanamento. Si tratta di risultati relativi al periodo passato. Il confronto tra gli scenari 2 e 3 dà un'idea del possibile impatto sull'ambiente in futuro, cioè dal momento della decisione di risanamento alla fine del periodo di attività della discarica. La differenza tra i risultati di entrambi gli scenari può essere considerata il valore della decisione stessa e dovrebbe essere una motivazione per intraprendere il risanamento.

In questa sezione lo Strumento mostra i seguenti risultati di calcolo:

- **Emissione effettive** (emissione totale di gas serra espressa in Mg di CO<sub>2</sub>eq) - comprende le emissioni proprie della discarica, dell'impianto di utilizzo del biogas e le emissioni evitate grazie all'energia generata dal biogas;
- **Recupero energetico da fonte rinnovabile** - energia generata nell'impianto di utilizzo del biogas;
- **Generazione di percolato** (emissione totale dalla discarica) - Totale del percolato originato dalle precipitazioni e dal contenuto di acqua dei rifiuti solidi.
- **Domanda chimica di ossigeno** - Domanda chimica di ossigeno del percolato in base alla composizione dei rifiuti.
- **Fattore di sicurezza per stabilità del pendio** - il rapporto tra la resistenza al taglio dei rifiuti e lo sforzo di taglio di una potenziale superficie di scorrimento del pendio.
- **Condizione di sicurezza** - in base al risultato del "Fattore di sicurezza", questo risultato mostra la sicurezza della discarica rispetto ai cedimenti del pendio/ versanti e come i gestori/dipendenti della discarica dovrebbero reagire al problema, se necessario.

## Biogas - risultati

I risultati sono raggruppati in sezioni relative agli scenari. In ogni scenario vengono calcolati i seguenti risultati:

### Scenario 1



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Produzione di biogas (GG)** - è il totale dei gas di discarica generati dall'inizio della costruzione della discarica (DS) fino al momento in cui deve essere presa la decisione di risanamento (DR). La stragrande maggioranza di questo gas è stata emessa nell'atmosfera. Avrebbe potuto essere utilizzato per la generazione di energia verde e pulita, ma non lo è stato a causa delle decisioni tardive di risanamento o di costruzione di una buona discarica. In altre parole, è la misura delle occasioni perse e sprecate.
- **Biogas captato (CG)** - rappresenta la quantità di gas di discarica raccolto nella discarica. Poiché lo scenario 1 si riferisce alla discarica aperta prima della risanamento, si presume che il sistema di raccolta del gas non sia installato. In questo scenario CG è sempre pari a 0.
- **Emissione in atmosfera (FE)** - Nello scenario 1 rappresenta il totale dei gas di discarica emessi dall'inizio dell'attività della discarica (DS) fino alla data di ripristino (DR). Si tratta di emissioni già avvenute. Il gas di discarica emesso è composto da diversi gas. La maggior parte di essi sono CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. L'emissione è calcolata ed espressa in CO<sub>2</sub> equivalente, che rappresenta l'impatto totale del gas emesso sul cambiamento climatico. Si presume che il flusso di rifiuti diretti alla discarica sia costante per tutto il periodo di funzionamento. Ciò significa che ogni anno viene depositata la stessa quantità di rifiuti. Questa ipotesi influisce sulla stima delle emissioni di biogas e di percolato.
- **Emissioni evitate (AE)** - poiché nello scenario 1 non sono stati installati dispositivi per l'utilizzo del gas di discarica, non c'è la possibilità di generare energia che possa sostituire quella proveniente dalla rete. In questo scenario AE è sempre 0.
- **Emissione effettiva (EE)** - nello scenario 1 EE è uguale a FE perché non è stato installato un sistema di raccolta del gas.
- **Recupero energetico da fonte rinnovabile** - rappresenta la quantità di energia che sarà generata nel periodo di tempo che va da DR a DE. Dato che in questo scenario non sono stati installati dispositivi di utilizzo del gas, la quantità di energia è sempre pari a 0.

## Scenario 2

- **Produzione di biogas (GG)** - è il totale del gas di discarica generato nella discarica nel periodo che va dalla decisione di risanamento (DR) alla fine della sua attività (DE). Come nello scenario 1, poiché il sistema di raccolta del gas non è installato, il gas di discarica viene emesso liberamente nell'atmosfera. Potrebbe essere considerato come una misura della potenziale fonte di energia verde se si decidesse di riabilitare l'impianto. In altre parole, è la misura dei benefici potenzialmente persi in futuro.
- **Biogas captato (CG)** - rappresenta la quantità di gas di discarica raccolto nella discarica nel periodo compreso tra DR e DE. Poiché lo scenario 2 si riferisce alla situazione in cui il risanamento non viene attuato, si presume che il sistema di raccolta del gas non venga installato. In questo scenario CG è sempre 0.
- **Emissione in atmosfera (FE)** - rappresenta l'emissione che si verificherà se la decisione sul ripristino non viene presa. L'emissione è calcolata per il tempo che intercorre tra la decisione di risanamento (DR) e la fine della vita della discarica (DE), ovvero il momento in cui la discarica non produrrà più gas di discarica. Le emissioni sono calcolate ed espresse in CO<sub>2</sub> equivalente. Come nello scenario 1, tutto il gas di discarica viene emesso liberamente nell'atmosfera. Questa è la misura del totale dei gas serra che si verificheranno in futuro.



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Emissioni evitate (AE)** - poiché nello scenario 2 non sono stati installati dispositivi per l'utilizzo del gas, non ci si può aspettare alcuna emissione evitata. e AE è sempre pari a 0.
- **Emissione effettiva (EE)** - nello scenario 2 EE è uguale a FE perché non è stato installato un sistema di raccolta del gas.

### Scenario 3

- **Produzione di biogas (GG)** - è il totale del gas di discarica generato nella discarica nel periodo che va dalla decisione di risanamento (DR) alla fine della sua attività (DE). Il volume di gas generato nello scenario 3 è lo stesso dello scenario 2. Tuttavia, grazie all'installazione di un sistema di raccolta del gas, può essere utilizzato in torcia o in un impianto di recupero energetico.
- **Biogas captato (CG)** - rappresenta la quantità di gas di discarica raccolto nella discarica nel periodo che va da DR a DE. Nello scenario 3 è stato installato un sistema di raccolta del gas. Tuttavia, non è efficiente al 100%. Di conseguenza, solo una parte del gas generato nella discarica viene raccolto e trasportato all'impianto di utilizzo del gas.
- **Emissioni in atmosfera (FE)** - Poiché il sistema di raccolta del gas non è efficiente al 100%, una parte del gas viene emessa liberamente nell'atmosfera senza essere utilizzata. FE rappresenta questa parte del gas di discarica. FE rappresenta l'emissione che si verificherà se non viene presa la decisione di risanamento. L'emissione è calcolata per il tempo trascorso dalla decisione alla fine della vita della discarica (quando la discarica non produrrà più gas di discarica). L'emissione è calcolata ed espressa in CO<sub>2</sub> equivalente. Analogamente allo scenario 1, tutto il gas di discarica viene emesso liberamente nell'atmosfera. Questa è la misura del totale dei gas serra che si verificheranno in futuro.
- **Emissioni evitate (AE)** - nello scenario 3 vengono installati dispositivi di utilizzo del gas. Se si tratta di un sistema di recupero energetico, l'energia prodotta potrebbe sostituire quella della rete. Di conseguenza, si verificheranno alcune emissioni evitate. Maggiore è l'efficienza del sistema di raccolta del gas e maggiore è l'efficienza del sistema di generazione di energia, maggiore è la quantità di emissioni evitate.
- **Emissioni effettive (EE)** - rappresenta l'emissione che si verificherà se si intraprende l'intervento di risanamento della discarica. L'emissione è calcolata per il tempo trascorso dalla decisione alla fine del ciclo di vita della discarica (quando la discarica non produrrà più gas di discarica). Se l'emissione è inferiore a quella indicata nel caso in cui non si proceda alla risanamento, ciò è dovuto a una migliore gestione e utilizzo del gas di discarica. L'emissione potrebbe anche essere negativa (indicata come valore tra parentesi - per esempio (100) Mg CO<sub>2</sub>eq significa meno di 100 MgCO<sub>2</sub>eq). L'emissione negativa potrebbe essere dovuta alla sostituzione dell'elettricità di rete in un determinato luogo con l'elettricità generata dal gas di discarica raccolto. Se l'impatto ambientale di quest'ultimo è inferiore (in relazione all'unità di energia) a quello dell'elettricità di rete, potrebbe comparire un'emissione negativa. In questo caso si può parlare di sgravio ambientale.
- **Recupero energetico da fonte rinnovabile** - rappresenta l'energia totale che sarà generata grazie al risanamento e all'implementazione di un sistema di recupero energetico del biogas captato.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Grafico: Proiezione delle emissioni (con e senza risanamento)** - questo grafico mette a confronto l'impatto ambientale in termini di cambiamento climatico nel caso in cui venga presa o meno la decisione di intervenire. In altre parole, il grafico aiuta a visualizzare il valore dell'intervento di risanamento della discarica non controllata/ a cielo aperto.

## Percolato - risultati

- **Generazione di percolato** - indica il totale delle acque reflue originate dalle precipitazioni e dal contenuto idrico dei rifiuti solidi. L'acqua generata durante la digestione anaerobica dei rifiuti è trascurata.
- **Quantità di percolato dopo la compattazione** - indica la quantità di percolato in caso di utilizzo del compattatore in un'area della discarica.
- **Contenuto d'acqua dei rifiuti solidi** - Rappresenta l'umidità dei rifiuti solidi in base alla loro composizione.
- **Quantità di percolato originata dalle precipitazioni** - Rappresenta la quantità di pioggia e neve sulla superficie del corpo rifiuti.
- **Ron (totale)** - Rappresenta l'infiltrazione delle precipitazioni sulla superficie.
- **Roff (totale)** - Rappresenta il flusso delle precipitazioni sulla superficie.
- **Domanda chimica di ossigeno (COD)** - Rappresenta la domanda chimica di ossigeno del percolato. Questo valore viene calcolato in base alla composizione dei rifiuti.
- **Carico organico espresso in COD** - Questo valore viene calcolato in base alla concentrazione di COD e al volume del percolato.
- **Quantità di percolato fino al momento del risanamento** - Indica un valore riferito al periodo che va dall'inizio dell'attività della discarica fino al momento della decisione di risanamento.
- **Valori COD fino al momento del risanamento** - Indica un valore riferito al periodo che va dall'inizio dell'attività della discarica fino al momento della decisione di risanamento.
- **Quantità futura di percolato senza risanamento** - Indica un valore riferito a periodo che va dalla decisione sulla risanamento alla fine dell'attività della discarica, senza aver optato per il risanamento.
- **Carico futuro di COD senza risanamento** - Indica un valore riferito a periodo che va dal momento della decisione sulla risanamento fino la fine dell'attività della discarica, senza aver optato per il risanamento.
- **Quantità futura di percolato con risanamento** - Indica un valore riferito al tempo che intercorre tra la decisione di risanamento e la fine dell'attività della discarica, avendo optato per l'intervento. Questo valore sarà "0". Dopo il risanamento, la generazione di percolato non aumenta grazie allo strato di copertura finale sulla superficie della discarica.
- **Valore futuro di COD con il risanamento** - Rappresenta la valutazione del tempo che intercorre tra il momento della decisione di risanamento e la fine dell'attività della discarica, avendo optato per l'intervento. Questo valore sarà "0". Dopo il risanamento, il carico di COD non aumenta a causa dello strato di copertura finale della discarica.

## Stabilità dei versanti - risultati

I risultati sono determinati in base alle Fattore di sicurezza del pendio (FS) e si dispongono secondo due colonne:



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Fattore di sicurezza per stabilità del pendio** - il rapporto tra la resistenza al taglio dei rifiuti e lo sforzo di taglio di una potenziale superficie di slittamento del pendio. I risultati possibili per sono riportati nella Tabella 1.
- **Condizione di sicurezza** - In base al risultato riportato nel "Fattore di sicurezza per stabilità del pendio", questa sezione mostra la condizione della discarica rispetto a possibili cedimenti dei versanti; inoltre viene riportato come i gestori/dipendenti della discarica dovrebbero reagire in caso di pericolo, se necessario. I risultati possibili sono riportati nella Tabella 1.

Questi risultati sono calcolati anche per ogni processo di risanamento e per tutti i processi di risanamento, per vederne l'effetto sulla stabilità dei versanti della discarica presa in considerazione. Pertanto, come valutazione preliminare, coloro che utilizzano questo Strumento possono facilmente vedere l'impatto di queste opzioni di risanamento sulla discarica. Il FS determina per condizioni statiche e dinamiche e i possibili risultati sono riportati nella Tabella 1.

Tabella 1: Possibili risultati nella sezione Risultati del calcolo.

Condizione	Fattore di sicurezza per stabilità del pendio	Condizione di sicurezza
Statica (kh=0, kv=0)	>1.5	SICURA
	1.1-1.5	NON SICURA - Intervenire urgentemente
	<1.1	NON SICURA - Intervenire urgentemente
Dinamica (kh≠0)	>1.2	SICURA
	<1.2	NON SICURA

## Bibliografia

1. Agdag, O.N., Yilmaz Cincin, R.G., Toprak, S., Kaplan, Y., Degirmenci, R., Agdag, F., Gebes, S., Cetin, B., De Angelis, E., Pikon, K., Kujumdzieva, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Frulla, D., Dal, O., Balcik, C., De Angelis, K., Dinu, F., Nedeva, T., Bogacka, M. (2022). Rehabilitation Methods for Open Dumps and its Global Applications: SMARTEnvi Eu Project. 6th EurAsia Waste Management Symposium, 24-26 October 2022, Istanbul, Türkiye.
2. Dal O., (2023), "Static and Dynamic Slope Stability Of MSW Landfills", MSc. Thesis, Gebze Technical University, Kocaeli, Türkiye.
3. Duan Z. et al. Efficiency of gas collection systems at Danish landfills and implications for regulations, Waste Management, Volume 139, 2022, Pages 269-278, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.023>.
4. Hynes-Griffin ME, Franklin AG. "Rationalizing the seismic coefficient method." U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1984, Miscellaneous Paper GL-84-13, 21 pp.
5. Marcuson WF, Franklin AG. "Seismic Design, Analysis, and Remedial Measures to Improve the Stability of Existing Earth Dams - Corps of Engineers Approach", in Seismic Design of Embankments and Caverns, T.R. Howard, Ed., New York, ASCE, 1983.
6. Melo, C., & Sharma, S. (2004, August). Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis. In 13th World conference on earthquake engineering (Vol. 369, p. 15).
7. Toprak S., Agdag O.N., Cetin B., De Angelis E., Pikon K., Kujumdzieva A., Petrova V., Panaitescu C., Degirmenci R., Frulla D., Dal O., Balcik C., Yilmaz Cincin R.G., De Angelis K.,



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*2020-1-TR01-KA226-VET-098150*

- Dinu F., Nedeva T., Kaplan Y., Agdag F., Bogacka M., (2021a), "A Project on Reducing Risks Associated with MSW Open Dumps", 6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 1316-1325, Kocaeli, Türkiye.
8. Toprak, S., Cetin, B., Agdag, O.N., De Angelis, E., Górski, M., Kujumdziewa, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Degirmenci, R., Frulla, D., Yilmaz Cincin, R.G., Balcik, C., Pikon, K., Dinu, F., Nedeva, T., Kaplan, Y., Dal, O., De Angelis, K., Agdag, F. (2021b). A Joint Effort to Reduce Hazards to the Environment and Water Resources by Rehabilitating Open Dumps. 14th International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 September 2021, Istanbul, Türkiye.
  9. Toprak S., Dal O., (2022), "Factors Affecting Slope Stability In Landfills", 18th National Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference, Kayseri, Türkiye (in Turkish).