



# DISCARICHE DI RIFIUTI E BONIFICHE DI SITI INQUINATI

progettare con geosintetici ad elevate prestazioni



## Discariche di rifiuti e bonifiche di siti inquinati

---

### Progettare con geosintetici ad elevate prestazioni

La divisione **seic geotecnica** di **Harpo spa** sulla scorta dell'esperienza accumulata in oltre trent'anni di presenza nel mercato dei geosintetici in Italia, ha sviluppato, in collaborazione con le società produttrici di riferimento del settore, una gamma di materiali in grado di assicurare, nel pieno rispetto della normativa in vigore, elevate prestazioni a lungo termine, che trovano applicazione nei nuovi sistemi destinati alla realizzazione del fondo e della copertura delle discariche di rifiuti ed alla bonifica dei siti inquinati.

## INDICE

---

INTRODUZIONE.....	6
QUADRO NORMATIVO.....	7
NORMA DI RIFERIMENTO .....	8
SISTEMA FONDO - criteri costruttivi .....	10
SISTEMA COPERTURA - criteri costruttivi .....	12
SISTEMI SEIC GEOTECNICA.....	15
INTRODUZIONE.....	16
SISTEMA FONDO - criteri costruttivi .....	19
SISTEMA COPERTURA - criteri costruttivi .....	20
SISTEMA BONIFICHE - criteri costruttivi.....	23
MATERIALI .....	25

---

L'utilizzo dei geosintetici nella realizzazione degli impianti di discarica di rifiuti, in alternativa ai materiali di origine naturale, argilla e ghiaia, tradizionalmente impiegati nel settore, è da considerarsi ormai una tecnica consolidata. La motivazione deve essere ricercata nella possibilità di avanzare con costi e tempi contenuti nelle fasi di realizzazione e nella possibilità di ridurre lo spessore finale della stratigrafia di base o della stratigrafia di copertura, liberando volume utile per lo smaltimento dei rifiuti, nelle fasi di coltivazione. Le conoscenze acquisite nel corso di anni di utilizzo, associate all'avanzamento tecnico dei materiali, consentono oggi di poter fare ricorso ai geosintetici assicurando il raggiungimento di prestazioni pari o superiori a quelle assicurate dai materiali di origine naturale nel pieno rispetto della normativa in vigore.

I valori prestazionali riportati nelle schede tecniche dei materiali misurano la prestazione del materiale per il tempo necessario all'esecuzione della prova. Hanno pertanto valore a breve termine. Non forniscono di conseguenza alcuna informazione in merito al valore prestazionale assicurato a lungo termine. La necessità di minimizzare le possibili ripercussioni negative degli impianti di discarica, durante il loro intero ciclo di vita, sull'ambiente e, di conseguenza sulla salute delle comunità che vivono in prossimità di essi, obbliga, come d'altronde previsto dalla normativa tecnica di settore, ad affrontarne la progettazione verificando anche a lungo termine l'adeguatezza delle prestazioni offerte dai materiali prescelti. La scelta dei materiali condotta attraverso il confronto fra le prestazioni dei materiali a breve termine e le richieste progettuali deve essere pertanto riverificata a lungo termine in quanto è facilmente ipotizzabile un decadimento delle prestazioni del materiale nel tempo.

Alla definizione dei valori prestazionali dei materiali a lungo termine da impiegarsi nel dimensionamento si può pervenire mediante due approcci distinti. Il primo ricava i valori prestazionali a lungo termine analiticamente riducendo, mediante l'utilizzo di opportuni fattori di riduzione in relazione alla procedura di calcolo adottata, i valori prestazionali a breve termine, riportati nelle schede tecniche dei materiali. Il secondo ricava i valori prestazionali a lungo termine direttamente dai risultati di specifici test condotti a tale scopo. Nel secondo caso si perviene ad una valutazione più attendibile e più aderente alla realtà rispetto a quanto avvenga nel primo. E questo consente di sfruttare a pieno le prestazioni offerte da un materiale senza incorrere in errori o comunque imprecisioni dovute alla procedura di calcolo adottata.

# QUADRO NORMATIVO

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il quadro normativo di riferimento è costituito dal Decreto Legislativo n. 121 del 3 settembre 2020.

Il Decreto adegua la classificazione delle discariche alla vigente normativa europea. Le discariche vengono classificate nelle seguenti categorie:

- **discarica per rifiuti inerti**
- **discarica per rifiuti non pericolosi**
- **discarica per rifiuti pericolosi**

Il Decreto prevede che, nella fase di caratterizzazione del sito destinato ad ospitare l'impianto di discarica, venga verificato, mediante specifiche indagini geotecniche, che il substrato, in relazione alla morfologia della discarica ed ai carichi previsti, nonché alle condizioni operative, non vada soggetto a cedimenti che possano arrecare danni ai sistemi di confinamento adottati. Prevede inoltre che venga verificata la stabilità dell'insieme terreno di fondazione-discarica con particolare riferimento alla stabilità dei pendii e delle coperture.

Il Decreto prevede, in linea generale, che gli impianti di discarica vengano realizzati in siti caratterizzati dalla presenza di una barriera geologica naturale di fondo di caratteristiche tali da evitare rischi per il suolo e le acque, alla quale può essere eventualmente abbinata una ulteriore

barriera artificiale di confinamento, che diventa obbligatoria qualora la barriera geologica naturale non disponga delle caratteristiche richieste.

Il Decreto prevede inoltre che vengano adottate tecniche di coltivazione e gestionali atte a minimizzare l'infiltrazione delle acque meteoriche nella massa dei rifiuti e che in ogni caso al termine della fase di coltivazione si realizzi una copertura finale della parte superiore a chiusura della discarica. La copertura superficiale finale della discarica può essere preceduta da una copertura provvisoria allo

scopo di isolare la massa dei rifiuti in corso di assestamento. Il percolato e le acque di discarica devono comunque essere captati, raccolti e smaltiti per tutto il ciclo di vita dell'impianto di discarica.

Le discariche che accettano rifiuti biodegradabili, e che quindi producono biogas derivante dalla degradazione biologica della massa dei rifiuti, devono essere dotate di impianti per l'estrazione dei gas ed il conseguente utilizzo a fini di produzione energetica. La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e per la salute umana. Il sistema di estrazione e trattamento del gas deve essere mantenuto in esercizio fino a quando non si registra più formazione di gas.

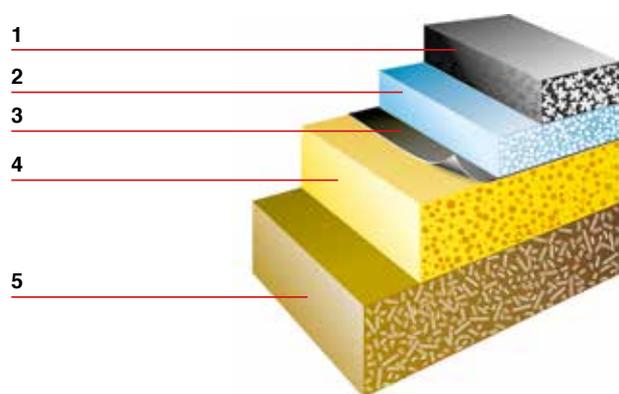




### DISCARICHE PER RIFIUTI INERTI

Nel caso di impianti di discarica per rifiuti inerti, il substrato di base deve essere costituito da una barriera geologica naturale caratterizzata da una conducibilità idraulica  $k \leq 10^{-7}$  m/s e da uno spessore  $s$  pari ad almeno 1 m.

Qualora la barriera geologica naturale non soddisfi tali requisiti deve essere realizzata una barriera di confinamento artificiale aggiuntiva avente uno spessore non inferiore a 50 cm. Il Decreto Legislativo non definisce il valore di conducibilità idraulica della barriera di confinamento artificiale.



#### Stratigrafia di fondo - Discarica per rifiuti inerti

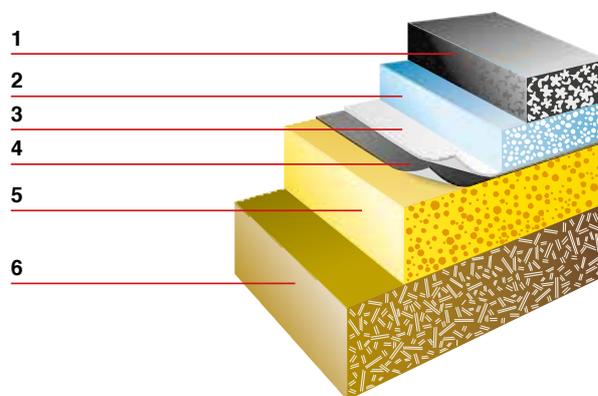
- 1) rifiuti
- 2) strato drenante
- 3) strato di protezione
- 4) barriera confinamento artificiale  $s \geq 50$  cm e  $K < 5 \times 10^{-8}$  m/s + eventuale geomembrana
- 5) barriera geologica naturale  $K \leq 10^{-7}$  m/s  $s \geq 1$  m

### DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

Nel caso di impianti di discarica per rifiuti non pericolosi il substrato di base della discarica deve essere costituito da una barriera geologica naturale caratterizzata da una conducibilità idraulica  $k \leq 10^{-9}$  m/s e da uno spessore  $s$  pari ad almeno 1 m.

Deve essere in ogni caso prevista una barriera artificiale di confinamento posta al di sopra della barriera geologica naturale. La barriera di confinamento artificiale generalmente è realizzata mediante l'accoppiamento di uno strato di materiale minerale compattato, caratterizzato da una conducibilità idraulica  $k$  pari ad almeno  $k \leq 10^{-9}$  m/s e da uno spessore  $s$  pari ad almeno 1 m, depositato preferibilmente in strati uniformi compattati dello spessore massimo di 20 cm, con una geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore pari ad almeno 2,5 mm.

Sul fondo della discarica, al di sopra del rivestimento impermeabile, deve essere previsto uno strato di materiale drenante realizzato con materiale granulare di spessore pari ad almeno 50 cm con la funzione di captare ed allontanare le acque di percolazione. La membrana impermeabile sarà protetta da uno strato naturale o da un t.n.t. da 1200 g/mq, resistenza nelle due direzioni di 60 KN/m e resistenza al punzonamento CBR maggiore uguale 10 KN.



#### Stratigrafia di fondo - Discarica per rifiuti non pericolosi

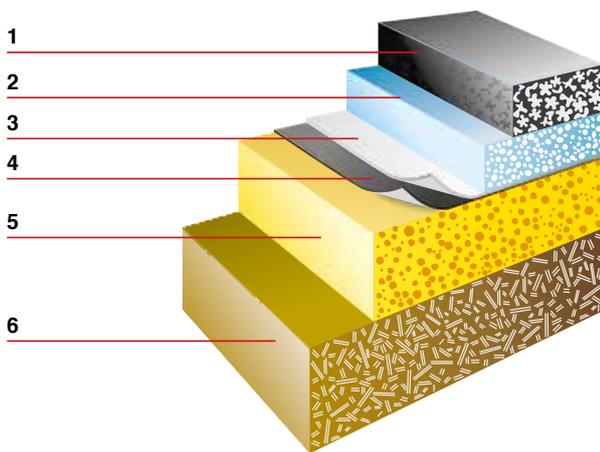
- 1) rifiuti
- 2) strato drenante in granulare  $s \geq 50$  cm e  $k \geq 10^{-5}$  m/s
- 3) protezione naturale o t.n.t. da 1200 g/mq
- 4) geomembrana HDPE  $s \geq 2,5$  mm
- 5) impermeabilizzazione artificiale  $s \geq 1$  m e  $k \leq 10^{-9}$  m/s
- 6) barriera geologica naturale  $s \geq 1$  m e  $k \leq 10^{-9}$  m/s

## DISCARICHE PER RIFIUTI PERICOLOSI

Nel caso di impianti di discarica di rifiuti pericolosi il substrato di base della discarica deve essere costituito da una barriera geologica naturale caratterizzata da una conducibilità idraulica  $k \leq 10^{-9}$  m/s ed uno spessore  $s$  pari ad almeno 5 m.

Come per gli impianti di discarica di rifiuti non pericolosi la barriera di confinamento artificiale generalmente è realizzata mediante l'accoppiamento di uno strato di materiale minerale compattato caratterizzato da una conducibilità idraulica  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s, e da uno spessore  $s$  pari ad almeno 1 m, depositato preferibilmente in strati uniformi compattati dello spessore massimo di 20 cm, con una geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore pari ad almeno 2,5 mm.

Come per gli impianti discarica di rifiuti non pericolosi sul fondo della discarica, al di sopra del rivestimento impermeabile, deve essere previsto uno strato di materiale drenante realizzato con materiale granulare di spessore pari ad almeno 50 cm con la funzione di captare ed allontanare le acque di percolazione. La membrana impermeabile sarà protetta da uno strato naturale o da un t.n.t. da 1200 g/mq, resistenza nelle due direzioni di 60 KN/m e resistenza al punzonamento CBR maggiore uguale 10 KN.



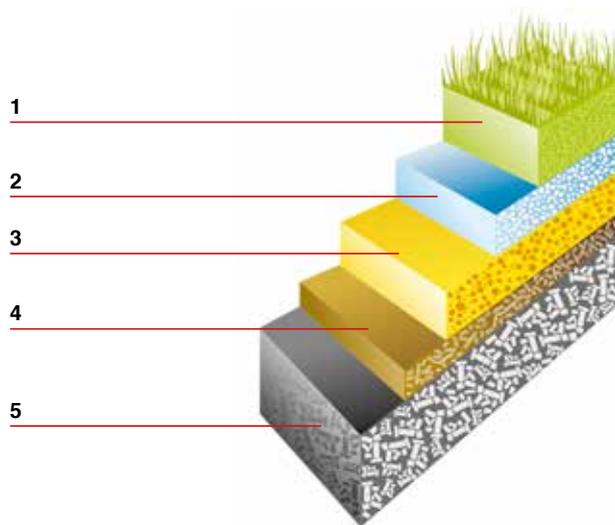
### Stratigrafia di fondo - Discarica per rifiuti pericolosi

- 1) rifiuti
- 2) strato drenante in granulare  $s \geq 50$  cm e  $k \leq 10^{-5}$  m/s
- 3) protezione naturale o t.n.t. da 1200 g/m<sup>2</sup>
- 4) geomembrana HDPE  $s \geq 2,5$  mm
- 5) impermeabilizzazione artificiale  $s \geq 1$  m e  $k \leq 10^{-9}$  m/s
- 6) barriera geologica naturale  $s \geq 5$  m e  $k \leq 10^{-9}$  m/s

## DISCARICHE PER RIFIUTI INERTI

Nel caso di impianti di discarica di rifiuti inerti la copertura deve essere realizzata dal basso verso l'alto da:

- strato di regolarizzazione per consentire la corretta messa in opera degli strati sovrastanti
- strato minerale di impermeabilizzazione compattato di spessore almeno pari a 50 cm e conducibilità idraulica  $\leq 10^{-8}$  m/s eventualmente sostituito con materiali geosintetici
- strato di drenaggio di spessore almeno pari a 50 cm eventualmente sostituito con materiali geosintetici in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra lo strato barriera. Lo strato drenante può essere sostituito da un geocomposito drenante con caratteristiche prestazionali equivalenti
- strato superficiale di copertura di spessore almeno pari a 1 m in grado di favorire lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ed al tempo stesso di fornire adeguata protezione dalle escursioni termiche agli strati sottostanti

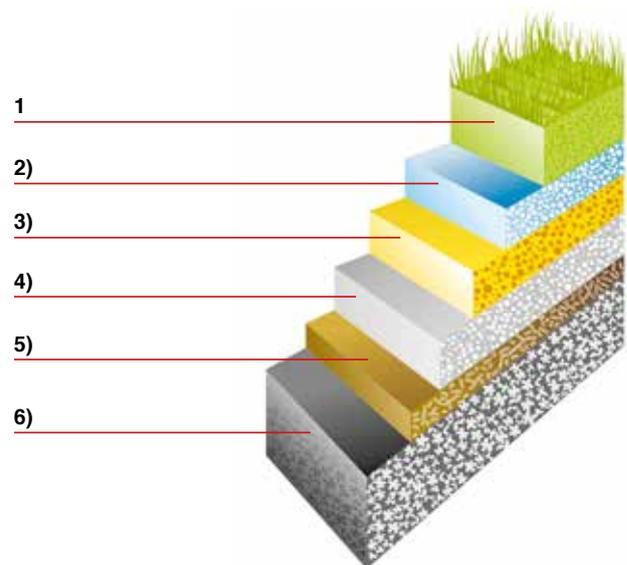

**Stratigrafia di copertura superficiale -  
Discarica per rifiuti inerti**

- 1) terreno di copertura  $s \geq 1$  m
- 2) strato drenante  $s \geq 50$  cm e  $k \geq 10^{-5}$  m/s eventualmente sostituito da geocompositi drenanti
- 3) strato minerale  $s \geq 50$  cm e  $k \leq 10^{-8}$  m/s eventualmente sostituito da materiali geosintetici
- 4) strato di regolarizzazione
- 5) rifiuti

## DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

Nel caso di impianti di discarica di rifiuti non pericolosi la copertura deve essere realizzata mediante un sistema multistrato costituito dal basso verso l'alto da:

- strato di regolarizzazione per consentire la corretta messa in opera degli strati sovrastanti
- strato di rottura capillare e di captazione e drenaggio del biogas di spessore almeno pari a 50 cm protetto da eventuali intasamenti
- strato minerale di impermeabilizzazione di spessore almeno pari a 50 cm e di conducibilità idraulica inferiore a  $k=10^{-8}$  m/s
- strato di drenaggio di spessore almeno pari a 50 cm
- strato superficiale di copertura di spessore almeno pari a 1 m

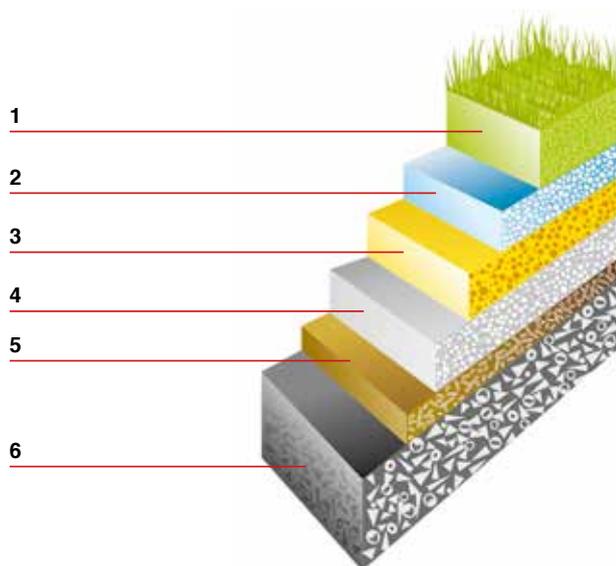

**Stratigrafia di copertura superficiale -  
Discarica per rifiuti non pericolosi**

- 1) terreno di copertura  $s \geq 1$  m
- 2) strato drenaggio acqua di infiltrazione  $s \geq 50$  cm e  $k \leq 10^{-5}$  m/s eventualmente sostituito da geocompositi drenanti
- 3) strato minerale  $k < 10^{-8}$  m/s  $s \geq 50$  cm e  $k \leq 10^{-8}$  m/s eventualmente sostituito da geocompositi drenanti più geosintetico impermeabilizzante
- 4) strato drenaggio biogas  $s \geq 50$  cm
- 5) strato di regolarizzazione
- 6) rifiuti

## DISCARICHE PER RIFIUTI PERICOLOSI

Nel caso di impianti di discarica di rifiuti pericolosi la copertura deve essere realizzata mediante una struttura multistrato costituita dall'alto verso il basso da:

- strato di regolarizzazione per consentire la corretta messa in opera degli strati sovrastanti
- strato di rottura capillare e di captazione e drenaggio del biogas di spessore almeno pari a 50 cm protetto da eventuali intasamenti
- strato minerale di impermeabilizzazione di spessore almeno pari a 50 cm e di conducibilità idraulica inferiore a  $k=10^{-8}$  m/s
- strato di drenaggio di spessore almeno pari a 50 cm
- strato superficiale di copertura di spessore almeno pari a 1 m



### Stratigrafia di copertura superficiale - Discarica per rifiuti pericolosi

- 1) terreno di copertura  $s \geq 1$  m
- 2) strato drenaggio acqua di infiltrazione  $s \geq 50$  cm e  $k \leq 10^{-5}$  m/s eventualmente sostituito da geocompositi drenanti
- 3) strato minerale  $k < 10^{-8}$  m/s  $s \geq 50$  cm  $k \leq 10^{-8}$  m/s eventualmente sostituito da geocompositi drenanti più geosintetico
- 4) strato drenaggio biogas  $s \geq 50$  cm
- 5) strato di regolarizzazione
- 6) rifiuti



Copertura definitiva discarica di rifiuti non pericolosi



# SISTEMI SEIC GEOTECNICA

## INTRODUZIONE

### L'ALTERNATIVA: I GEOSINTETICI

Il Decreto Legislativo n. 121 del 3 settembre 2020 prevede che gli Enti Territoriali competenti possano approvare soluzioni progettuali alternative, caratterizzate da spessori inferiori rispetto a quanto stabilito dalla normativa, purché garantiscano prestazioni equivalenti a quelle derivanti dall'adozione degli spessori previsti. Un numero crescente di Amministrazioni a partire dall'entrata in vigore del Decreto, ha adottato stratigrafie alternative, che prevedono l'impiego dei geosintetici per ragioni di ordine tecnico e di ordine economico.

L'utilizzo dei geosintetici in alternativa a quanto previsto dal Decreto Legislativo trova il suo fondamento nel **principio di equivalenza prestazionale** e riscontro nella pratica operativa consolidata da anni di utilizzo. Il sistema fondo ed il sistema copertura **seic geotecnica** prevedono la sostituzione dei materiali prescritti dalla normativa, argilla con funzione di impermeabilizzazione e ghiaia con funzione drenante, con specifici geosintetici, rispettivamente geomembrane di impermeabilizzazione in HDPE e geocompositi bentonitici con funzione di impermeabilizzazione e geocompositi drenanti con funzione di drenaggio, in grado di assicurare prestazioni equivalenti, almeno pari o superiori, a quelle rese disponibili dai materiali naturali previsti.



Inoltre i sistemi **seic geotecnica** assicurano significativi benefici aggiuntivi. Consentono infatti di:

- ridurre lo spessore finale della stratigrafia di base o della stratigrafia di copertura liberando volume utile per lo smaltimento dei rifiuti nell'impianto di discarica
- ridurre il carico sul corpo rifiuti a favore della stabilità complessiva del corpo dell'impianto di discarica
- ridurre l'altezza finale dell'impianto di discarica mitigandone di conseguenza l'impatto ambientale
- ridurre l'approvvigionamento di inerti e di argille alleggerendo la pressione sulle cave di prestito
- ridurre il trasporto di inerti e di argille dalle cave di prestito all'impianto di discarica alleggerendo la pressione sulla rete viaria locale in termini di usura e di inquinamento
- ridurre i tempi necessari al completamento dell'opera posa in opera in virtù della immediata reperibilità del materiale e della facilità di movimentazione
- ridurre i controlli in fase di esecuzione del sistema di chiusura facilitandone il completamento in tempi ridotti
- ridurre i rischi a carico dei lavoratori in fase di lavorazione semplificando al tempo stesso le misure di sicurezza da adottare
- ridurre le incertezze in fase di dimensionamento derivanti dal comportamento disomogeneo dei materiali naturali assicurando di contro omogeneità di prestazioni conseguente all'impiego di prodotti industriali di caratteristiche note

In determinate situazioni i sistemi **seic geotecnica** costituiscono poi l'unica soluzione percorribile per ottenere il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla normativa. Quando ad esempio l'inclinazione delle pareti o della copertura finale dell'impianto di discarica supera il valore limite oltre il quale non è più assicurata la stabilità complessiva della stratigrafia prevista dalla normativa, il ricorso ad una stratigrafia basata sull'impiego dei geosintetici è l'unica alternativa percorribile. Lo stesso può essere detto ad esempio quando l'inclinazione delle pareti o della copertura dell'impianto di discarica supera il valore limite oltre il quale operativamente non risulta più possibile procedere efficacemente alla posa in opera dei materiali previsti dalla normativa.

## Elevate prestazioni a lungo termine

La necessità di minimizzare le possibili ripercussioni negative degli impianti di discarica, durante il loro intero ciclo di vita, sull'ambiente e, di conseguenza sulla salute delle comunità che vivono in prossimità di essi, obbliga, come d'altronde previsto dalla normativa tecnica di settore, ad affrontarne la progettazione verificando anche a lungo termine l'adeguatezza delle prestazioni offerte dai materiali da impiegarsi.

I valori prestazionali riportati nelle schede tecniche dei materiali misurano la prestazione del materiale per il tempo necessario all'esecuzione della prova. Hanno pertanto valore a breve termine. Non forniscono alcuna informazione in merito al valore prestazionale assicurato nel lungo termine. La scelta dei materiali condotta attraverso il confronto fra le prestazioni dei materiali a breve termine, desumibili dalle schede tecniche, e le richieste progettuali deve essere pertanto riverificata a lungo termine in quanto è facilmente ipotizzabile un decadimento delle prestazioni del materiale nel tempo.

Alla definizione dei valori prestazionali dei materiali a lungo termine, da impiegarsi nel dimensionamento, si può pervenire mediante due approcci distinti. Il primo ricava i valori prestazionali a lungo termine analiticamente, riducendo, mediante l'utilizzo di opportuni fattori di riduzione in relazione alla procedura di calcolo adottata, i valori prestazionali a breve termine, riportati nelle schede tecniche dei materiali. Il secondo ricava i valori prestazionali a lungo termine direttamente dai risultati di specifici test condotti a tale scopo.

Nel secondo caso si perviene ad una valutazione più attendibile e più aderente alla realtà rispetto a quanto avvenga nel primo. E questo consente di sfruttare a pieno le prestazioni offerte da un materiale senza incorrere in errori o comunque imprecisioni dovute alla procedura di calcolo adottata.

Si riporta di seguito un esempio di quanto detto a proposito dei geocompositi drenanti e nello specifico a proposito del geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**.

Dalla scheda tecnica del materiale si possono ricavare facilmente i valori di capacità drenante a breve termine:

Capacità drenante a breve termine [l/sm] valori di capacità drenante a breve termine ottenuti a seguito di test condotti dai laboratori interni della Enka Solutions opzione R/F.	Gradiente idraulico	Carico [kPa]	Norma di riferimento
2,7	i=1	20	EN ISO 12958
2,4		50	
2,3		100	
1,4		200	
0,70	i=0,10	20	EN ISO 12958
0,65		50	
0,60		100	
0,24		200	
0,35	i=0,03	20	EN ISO 12958
0,30		50	
0,24		100	
0,11		200	

Il valore di capacità drenante a lungo termine come ricordato in precedenza può invece essere ricavato per via analitica scegliendo una fra le equazioni disponibili nella letteratura tecnica di settore che consente di stimare la capacità drenante ammissibile in base alla capacità drenante a breve termine imponendo dei fattori di riduzione per tenere conto del decadimento prestazionale derivante principalmente dai fenomeni di creep a carico del nucleo drenante e dei non tessuti filtranti, di clogging di origine biologica e chimica. Il valore di capacità drenante a lungo termine che si ricava utilizzando i metodi analitici, può essere però decisamente sovrastimato, come dimostrato dalle recenti pubblicazioni sull'argomento, in quanto i fattori di riduzione impiegati non forniscono una quantificazione adeguata dei fenomeni che intendono descrivere.

Per evitare di incorrere in questo genere di errori è opportuno pertanto ricavare il valore di capacità drenante a lungo termine, non per via analitica ma per via diretta, mediante l'esecuzione di test condotti specificatamente per ricavare direttamente il valore di capacità drenante a lungo termine.

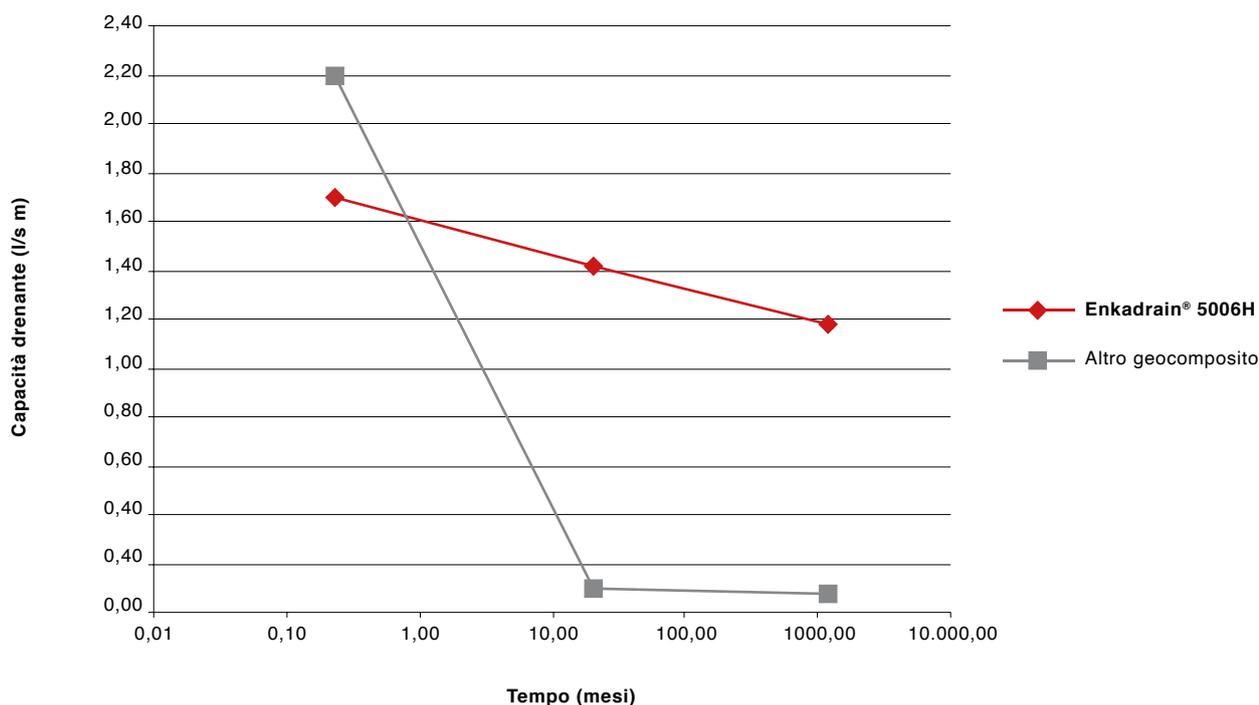
A tale scopo il geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** è stato sottoposto a "long term compressive creep test" sotto il controllo di un istituto di prova esterno riconosciuto con l'intento di pervenire ad una valutazione del valore di capacità drenante a lungo termine più affidabile rispetto a quanto possibile con i metodi analitici da utilizzare con maggiore sicurezza nella progettazione dei drenaggi in discarica.

Capacità drenante a lungo termine (100 anni) [l/sm] valori di capacità drenante a lungo termine (100 anni) estrapolati a seguito di "long term creep tests" condotti presso istituto di prova esterno riconosciuto.	Gradiente idraulico	Carico [kPa]	Norma di riferimento
2,1	i=1	20	EN ISO 12958



Messa in sicurezza discarica rifiuti non pericolosi – Noci (BA)

Di seguito si propone un grafico che mette a confronto il valore di capacità drenante a lungo termine dell'**Enkadrain® 5006H** con quello di altri geocompositi. La differenza evidente in termini di prestazioni è dovuta alla particolare struttura del nucleo drenante ed all'utilizzo di geotessili non tessuti filtranti di tipo termosaldati che risentono meno del creep rispetto ai geotessili non tessuti di tipo agugliato generalmente impiegati nei geocompositi drenanti comunemente presenti sul mercato.

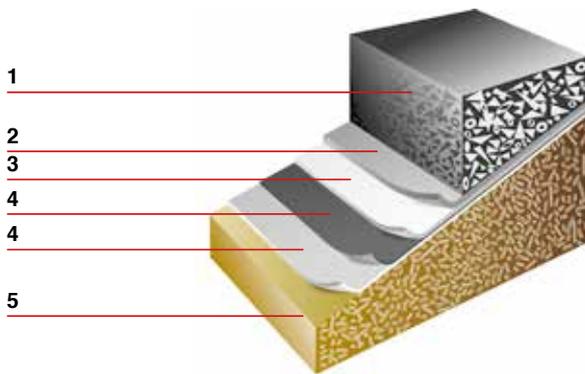


## Criteria costruttivi

### DISCARICHE PER RIFIUTI PERICOLOSI (PARETI)

Per le pareti la precedente stratigrafia può essere modificata come di seguito riportato:

- geocomposito bentonitico tipo **BentoShield** in sostituzione della barriera artificiale di confinamento qualora la barriera geologica di base non risponda ai requisiti previsti dalla normativa in termini di conducibilità idraulica e spessore
- geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato alle specifiche condizioni di impiego
- geotessile non tessuto di protezione meccanica **Bontec NW** di caratteristiche adeguate alle specifiche condizioni di impiego
- geocomposito drenante **Enkadrain® 5004C** in sostituzione dello strato drenante in materiale granulare

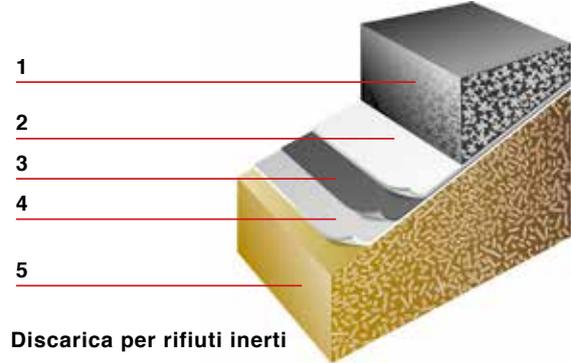


#### Discarica per rifiuti pericolosi

- 1) rifiuti
  - 2) geocomposito drenante **Enkadrain® 5004C**
  - 3) geotessile non tessuto **Bontec NW**
  - 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
  - 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- barriera geologica naturale  $s \geq 1 \text{ m}$   $k \leq 10^{-9} \text{ m/s}$



### DISCARICHE PER RIFIUTI INERTI (PARETI)



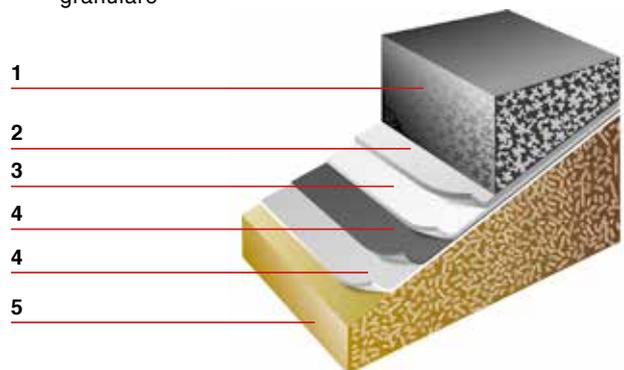
#### Discarica per rifiuti inerti

- 1) rifiuti
- 2) geotessile non tessuto **Bontec SNW**
- 3) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 4) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 5) barriera geologica naturale  $s \geq 1 \text{ m}$   $k \leq 10^{-7} \text{ m/s}$

### DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI (PARETI)

Per le pareti la precedente stratigrafia può essere modificata come di seguito riportato:

- geocomposito bentonitico tipo **BentoShield** in sostituzione della barriera artificiale di confinamento, qualora la barriera geologica di base non risponda ai requisiti previsti dalla normativa in termini di conducibilità idraulica e spessore
- geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato alle specifiche condizioni di impiego
- geotessile non tessuto di protezione meccanica **Bontec SNW** di caratteristiche adeguate alle specifiche condizioni di impiego
- geocomposito drenante **Enkadrain® 5004C** in sostituzione dello strato drenante in materiale granulare



#### Discarica per rifiuti non pericolosi

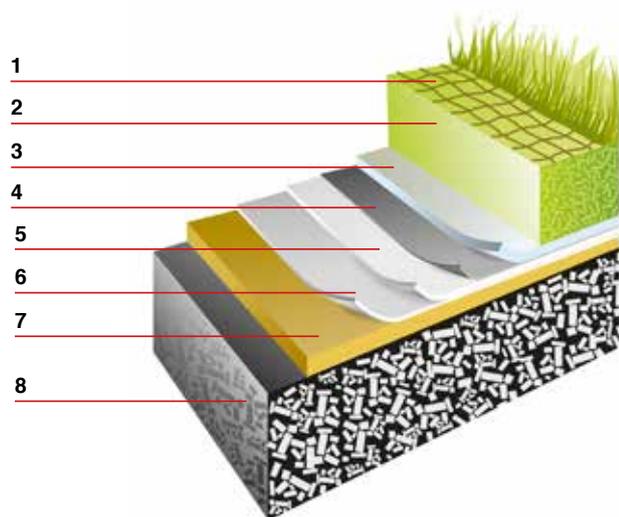
- 1) rifiuti
  - 2) geocomposito drenante **Enkadrain® 5004C**
  - 3) geotessile non tessuto **Bontec SNW**
  - 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
  - 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- oppure
- barriera geologica naturale  $s \geq 1 \text{ m}$   $k \leq 10^{-9} \text{ m/s}$

### DISCARICHE PER RIFIUTI INERTI

#### Inclinazione inferiore all'angolo critico

Il sistema copertura per gli impianti di discarica per rifiuti inerti si compone dei seguenti materiali a partire dallo strato di regolarizzazione al di sopra dei rifiuti per arrivare al terreno vegetale di copertura procedendo dal basso verso l'alto nel caso di inclinazione della scarpata inferiore all'angolo critico:

- geotessile non tessuto di protezione meccanica **Bontec NW** di caratteristiche adeguate alla specifico impiego in parziale sostituzione dello strato di regolarizzazione
- geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego in ogni caso non inferiore a 2 mm in sostituzione dello strato di impermeabilizzazione in materiale minerale
- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione delle acque di infiltrazione provenienti dal terreno di copertura in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



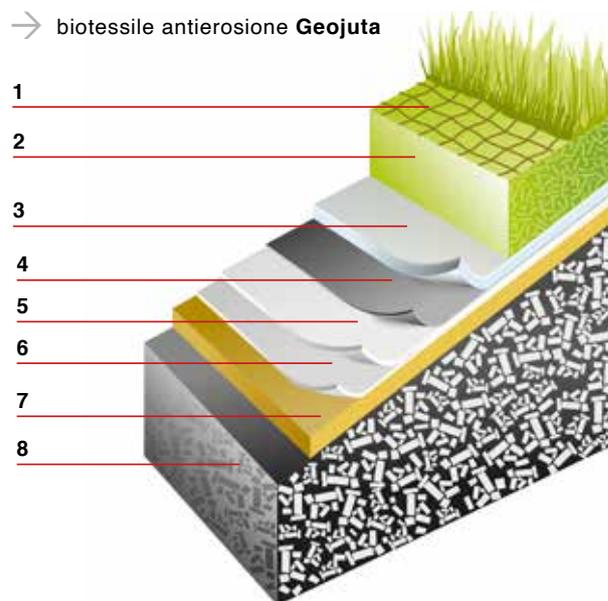
**Sistema copertura - Discarica per rifiuti inerti - Inclinazione inferiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geotessile non tessuto **Bontec NW**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

#### Inclinazione superiore all'angolo critico

Nel caso di inclinazione della scarpata superiore all'angolo critico:

- geotessile non tessuto di protezione meccanica **Bontec SNW** di caratteristiche adeguate alla specifico impiego in parziale sostituzione dello strato di regolarizzazione
- geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego in ogni caso non inferiore a 2 mm ed eventualmente con trattamento superficiale liscio/ruvido o ruvido/ruvido in sostituzione dello strato di impermeabilizzazione in materiale minerale
- tricomposito con funzione di drenaggio delle acque di infiltrazione, protezione meccanica della geomembrana di impermeabilizzazione e trattenimento del terreno di copertura **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010** in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



**Sistema copertura - Discarica per rifiuti inerti - Inclinazione superiore all'angolo critico**

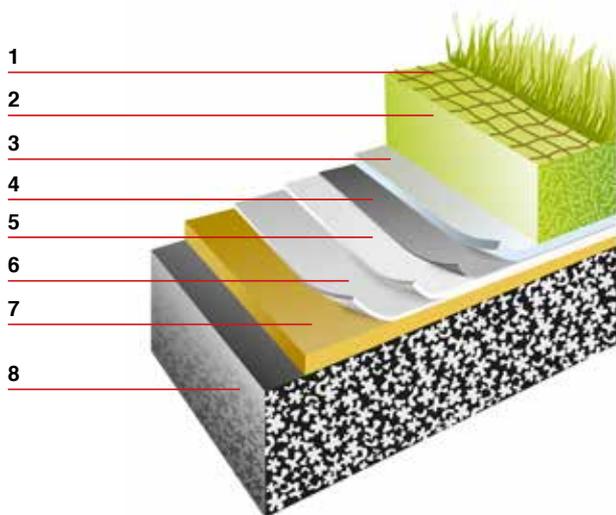
- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) tricomposito **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geotessile non tessuto **Bontec NW**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

## DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

### Inclinazione inferiore all'angolo critico

Il sistema copertura per gli impianti di discarica per rifiuti non pericolosi si compone dei seguenti materiali a partire dallo strato di regolarizzazione al di sopra dei rifiuti per arrivare al terreno di copertura procedendo dal basso verso l'alto nel caso di inclinazione della scarpata inferiore all'angolo critico:

- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione ed il drenaggio del biogas in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- geocomposito bentonitico **Bentoshield** e geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego in ogni caso non inferiore a 2 mm in sostituzione dello strato minerale di drenaggio
- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione delle acque di infiltrazione provenienti dal terreno di copertura in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



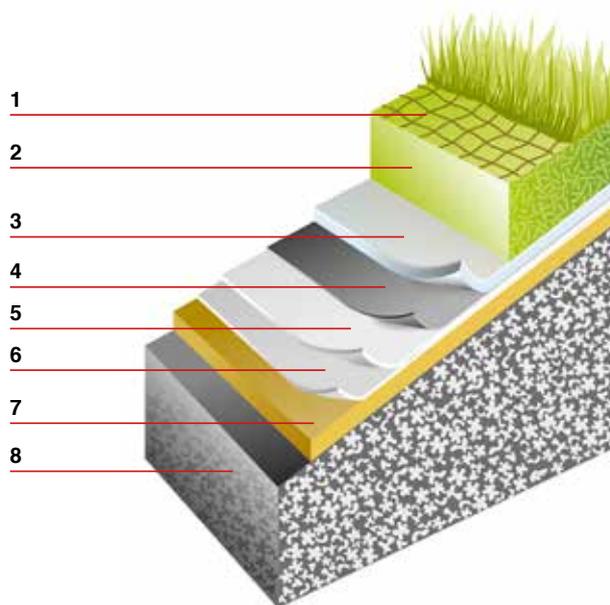
**Sistema copertura - Discarica per rifiuti non pericolosi - Inclinazione inferiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

### Inclinazione superiore all'angolo critico

Nel caso di inclinazione della scarpata superiore all'angolo critico:

- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione ed il drenaggio del biogas in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- geocomposito bentonitico **Bentoshield** e geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego in ogni caso non inferiore a 2 mm ed eventualmente con trattamento superficiale liscio/ruvido o ruvido/ruvido in sostituzione dello strato di impermeabilizzazione in materiale minerale
- tricomposito con funzione di drenaggio delle acque di infiltrazione, protezione meccanica della geomembrana di impermeabilizzazione e trattenimento del terreno di copertura **Enkadrain® 5006H/5-1s/PET+7010** in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



**Sistema copertura - Discarica per rifiuti non pericolosi - Inclinazione superiore all'angolo critico**

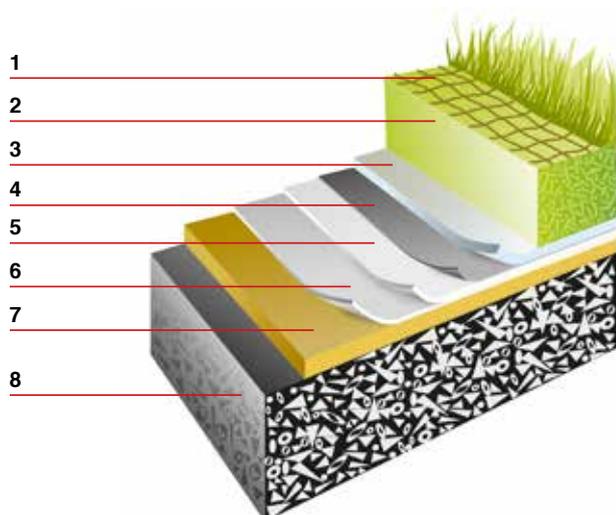
- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) tricomposito **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

## DISCARICHE PER RIFIUTI PERICOLOSI

### Inclinazione inferiore all'angolo critico

Il sistema copertura per gli impianti di discarica per rifiuti pericolosi si compone dei seguenti materiali a partire dallo strato di regolarizzazione al di sopra dei rifiuti per arrivare al terreno vegetale di copertura procedendo dal basso verso l'alto nel caso di inclinazione della scarpata inferiore all'angolo critico:

- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione ed il drenaggio del biogas in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- geocomposito bentonitico **Bentoshield** e geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego, in ogni caso non inferiore a 2 mm in sostituzione dello strato minerale di impermeabilizzazione
- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione delle acque di infiltrazione provenienti dal terreno di copertura in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



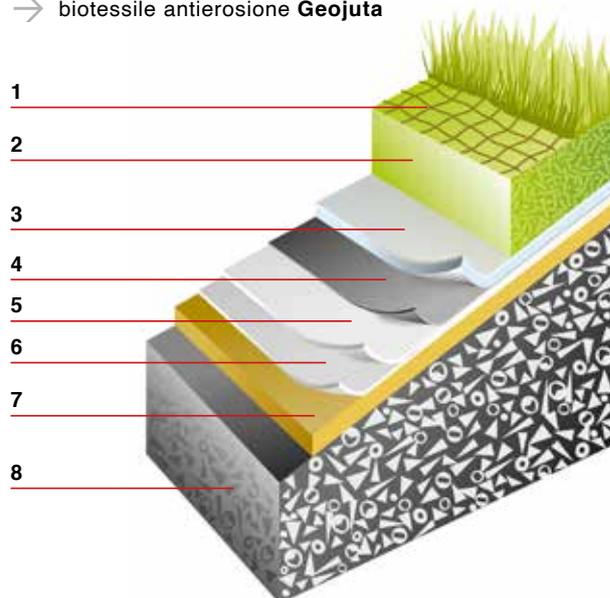
**Sistema copertura - Discarica per rifiuti pericolosi - Inclinazione inferiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

### Inclinazione superiore all'angolo critico

Nel caso di inclinazione della scarpata superiore all'angolo critico:

- geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** per la captazione ed il drenaggio del biogas in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- geocomposito bentonitico **Bentoshield** e geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE di spessore adeguato allo specifico impiego in ogni caso non inferiore a 2 mm ed eventualmente con trattamento superficiale liscio/ruvido o ruvido/ruvido in sostituzione dello strato di impermeabilizzazione in materiale minerale
- tricomposito con funzione di drenaggio delle acque di infiltrazione, protezione meccanica della geomembrana e trattenimento del terreno di copertura **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010** in sostituzione dello strato di drenaggio in materiale granulare
- terreno di copertura
- biotessile antierosione **Geojuta**



**Sistema copertura - Discarica per rifiuti pericolosi - Inclinazione superiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) tricomposito **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti

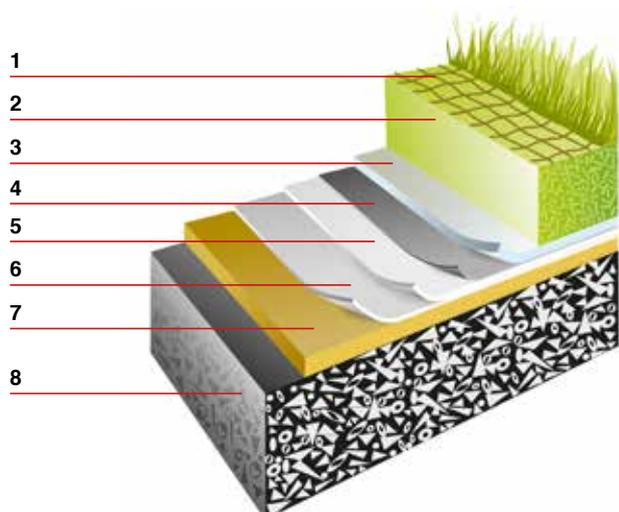
## Criteri costruttivi

### BONIFICHE DI SITI INQUINATI

Gli interventi di bonifica di siti inquinati sono condotti generalmente allo scopo di isolare l'area inquinata in modo tale da prevenire la diffusione dei contaminanti alle aree limitrofe. Tralasciando gli interventi di confinamento laterale che prevedono la realizzazione di setti di marginamento, la soluzione più comunemente adottata prevede il capping definitivo del sito riconducendosi alla stratigrafia prevista per la copertura definita degli impianti di discarica di rifiuti.

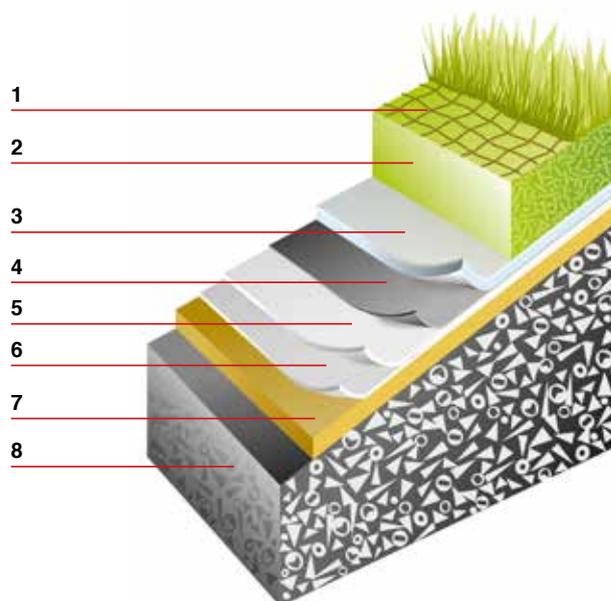
A lato si propone il sistema bonifica per inclinazione della scarpata inferiore all'angolo critico e per inclinazione superiore all'angolo critico. Il sistema proposto rappresenta la soluzione maggiormente cautelativa. In ogni caso è sempre possibile adattarlo alle esigenze connesse alle specifiche condizioni operative.

Nel caso non sia prevista la produzione di biogas è possibile sostituire il geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H** con il geotessile non tessuto **Bontec NW**. Nel caso sia previsto un adeguato spessore di terreno di ricoprimento è possibile sostituire la geomembrana in HDPE con il geocomposito bentonitico **BentoShield** o con geomembrane laminate in HDPE/LDPE.



**Sistema bonifica siti inquinati -  
Inclinazione inferiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti



**Sistema bonifica siti inquinati -  
Inclinazione superiore all'angolo critico**

- 1) biotessile **Geojuta**
- 2) terreno di copertura
- 3) tricomposito **Enkagrip&Drain 5006H/5-1s/PET+7010**
- 4) geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE
- 5) geocomposito bentonitico **BentoShield**
- 6) geocomposito drenante **Enkadrain® 5006H**
- 7) strato di regolarizzazione
- 8) rifiuti



# MATERIALI

## Geocompositi bentonitici

### BentoShield

I geocompositi bentonitici **BentoShield** previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da bentonite sodica granulare preidratata racchiusa tra due geotessili in polipropilene. Il processo di interagugliatura meccanica dei due geotessili impedisce i movimenti laterali della bentonite in essi contenuta e conferisce al geocomposito bentonitico elevata stabilità anche su scarpate a forte inclinazione.

In base all'impiego previsto ed alle esigenze di progetto è possibile individuare in fase di produzione la tipologia di geotessili di confinamento più adatta fra geotessili tessuti e non tessuti di diversa grammatura e resistenza, e variare la quantità di bentonite in essi contenuta per assicurare il raggiungimento del valore di permeabilità richiesto.



## Geomembrane di impermeabilizzazione

Le geomembrane di impermeabilizzazione previste nei sistemi fondo e copertura sono prodotte impiegando polietilene ad alta densità da resine vergini mediante il ricorso ad un processo produttivo di estrusione in grado di assicurare il raggiungimento delle prestazioni richieste dall'impiego in impianti di discarica con funzione di impermeabilizzazione a carattere definitivo. Lo spessore dei modelli disponibili varia da 1 mm a 3 mm e la finitura superficiale può essere liscio/liscio, liscio/ruvido, ruvido/ruvido.



## Geomembrane di impermeabilizzazione

Le geomembrane di impermeabilizzazione previste nei sistemi fondo e copertura sono prodotte per laminazione di due film di polietilene a bassa densità su di un geotessuto in polietilene ad alta densità. Il materiale trova impiego negli impianti di discarica con funzione di impermeabilizzazione a carattere provvisorio durante la fase di coltivazione, al termine di essa durante la fase di assestamento dell'ammasso dei rifiuti in attesa della realizzazione della copertura definitiva o negli interventi di bonifica con funzione di impermeabilizzazione a carattere definitivo.



## Geotessili non tessuti di protezione meccanica

### Bontec NW

I geotessili non tessuti **Bontec NW** previsti nei sistemi fondo e copertura sono prodotti impiegando fibre vergini di polipropilene mediante il ricorso ad un processo produttivo di agugliatura meccanica e successiva termocalandratura in grado di assicurare il raggiungimento delle prestazioni richieste dallo specifico impiego del materiale in impianti di discarica con funzione di protezione meccanica delle geomembrana di impermeabilizzazione. I geotessili non tessuti di protezione meccanica **Bontec NW** assicurano elevati valori di efficienza protettiva associati ad elevati valori di durabilità e di resistenza ossidativa, chimica e microbiologica.



## Geotessili non tessuti di separazione e filtrazione

### Typar® SF

I geotessili non tessuti **Typar® SF** previsti nei sistemi fondo e copertura sono prodotti per termosaldatura di monofilamenti continui in fibra di polipropilene. Trovano applicazione con funzione di separazione e filtrazione fra strati caratterizzati a differente granulometria (ghiaia, sabbia, argilla) nella costruzione degli impianti di discarica. I geotessili non tessuti **Typar® SF** assicurano elevata isotropia, elevata permeabilità associata ad una ridotta tendenza all'intasamento.



## Geotessili tessuti di filtrazione e separazione

### Bontec HF

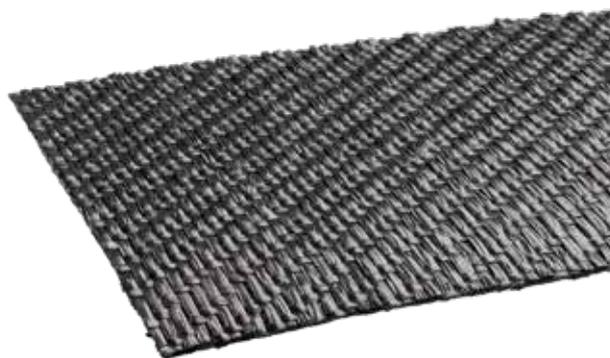
I geotessili tessuti ad elevata capacità filtrante **Bontec HF** previsti nei sistemi fondo e copertura sono prodotti impiegando monofilamenti di polietilene e polipropilene mediante un processo di tessitura. Trovano impiego negli impianti di discarica con funzione di filtrazione e separazione sul fondo interposti fra l'ammasso dei rifiuti e lo strato drenante in genere realizzato in materiale granulare. I geotessili tessuti di filtrazione e separazione **Bontec HF** assicurano elevati valori di permeabilità associati ad elevati valori di resistenza meccanica.



## Geotessili tessuti di separazione e rinforzo

### PP (Polipropilene)

I geotessili tessuti **PP** previsti nei sistemi fondo e copertura sono prodotti impiegando filamenti di polipropilene mediante il ricorso ad un processo di tessitura in grado di assicurare il raggiungimento delle prestazioni richieste per l'impiego in impianti di discarica o nell'ambito di interventi di bonifica con funzione di separazione e rinforzo. I geotessili tessuti di filtrazione **PP** assicurano elevati valori di resistenza associati a ridotti valori di allungamento.



## Geocompositi drenanti

### Enkadrain® 5006H

I geocompositi drenanti **Enkadrain® 5006H** previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da un nucleo drenante tridimensionale realizzato in monofilamenti di polipropilene, in grado di assicurare elevati valori di trasmissività anche se sottoposto ad elevati valori di pressione di confinamento, accoppiato per cucitura a due non-tessuti termosaldati filtranti in monofilamenti di polipropilene, idonei a preservare la capacità drenante del nucleo drenante a lungo termine. I geocompositi drenanti **Enkadrain® 5006H** trovano impiego negli impianti di discarica, con funzione di captazione e drenaggio del biogas e con funzione di captazione e drenaggio delle acque di infiltrazione nel sistema di copertura.



## Geocompositi drenanti

### Enkadrain® 5004C

I geocompositi drenanti **Enkadrain® 5004C** previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da un nucleo drenante tridimensionale realizzato in monofilamenti di polipropilene, in grado di assicurare elevati valori di trasmissività anche se sottoposto ad elevati valori di pressione di confinamento, accoppiato per cucitura a due non-tessuti termosaldati filtranti in monofilamenti di polipropilene, idonei a preservare la capacità drenante del nucleo drenante a lungo termine. I geocompositi drenanti **Enkadrain® 5004C** trovano impiego negli impianti di discarica con funzione di drenaggio del percolato lungo le pareti nel sistema fondo.



## Geocompositi di aggrappo

### Enkagrip 7010W

I geocompositi di aggrappo **Enkagrip 7010W** previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da una geostuoia tridimensionale realizzata in monofilamenti di poliammide termosaldati nei punti di contatto accoppiata mediante cucitura ad un geotessile tessuto di rinforzo in multifilamenti di poliestere ad elevata tenacità. I geocompositi di aggrappo **Enkagrip 7010W** trovano impiego con funzione di aggrappo per il terreno vegetale di ricoprimento nel sistema di copertura quando l'inclinazione del profilo supera l'angolo critico oltre il quale non è assicurata la stabilità dei materiali per scivolamento.

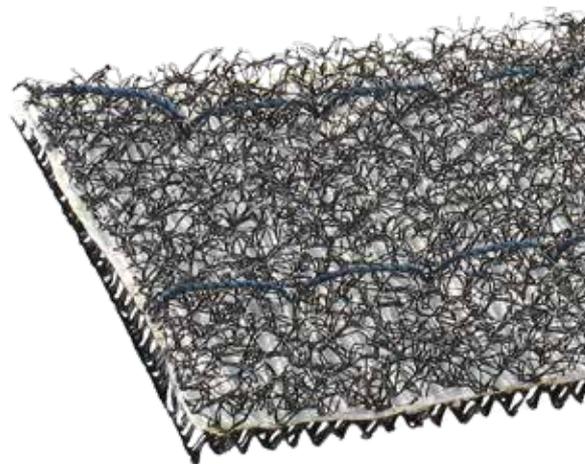
In base all'impiego previsto ed alle esigenze di progetto è possibile individuare in fase di produzione la tipologia di geotessili tessuti di rinforzo in multifilamenti di poliestere in grado di assicurare il contributo di resistenza a trazione necessario ad assicurare la stabilità della sistema di copertura in relazione a lunghezza della scarpata, inclinazione e spessore del terreno di ricoprimento.



## Tricompositi di aggrappo, protezione meccanica e drenaggio

### Enkagrip&Drain 5006H/5/PET+7010

I tricompositi **Enkagrip&Drain® 5006H/5/PET+7010** previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da un nucleo drenante tridimensionale realizzato in monofilamenti di polipropilene, in grado di assicurare elevati valori di trasmissività anche se sottoposto ad elevati valori di pressione di confinamento, accoppiato per cucitura ad un geotessile tessuto di rinforzo in multifilamenti di poliestere ad elevata tenacità ed ad una geostuoia tridimensionale realizzata in monofilamenti di poliammide termosaldati nei punti di contatto. I tricompositi **Enkagrip&Drain 5006H/5/PET+7010** trovano impiego, con funzione di aggrappo per il terreno vegetale di ricoprimento, nel sistema copertura quando l'inclinazione del profilo supera l'angolo critico oltre il quale non è assicurata la stabilità dei materiali per scivolamento, con funzione separazione e filtrazione per impedire l'ingresso della frazione fina del terreno di ricoprimento all'interno del nucleo drenante, con funzione di protezione meccanica della geomembrana di impermeabilizzazione e con funzione di captazione e drenaggio delle acque di infiltrazione nel sistema di copertura.



### Biotessili antierosione

I biotessili antierosione previsti nei sistemi fondo e copertura sono costituiti da biostuoie realizzate in fibre di paglia (**Strawmat**), cocco (**Stcmat**) e miste paglia-cocco (**Stcmat**) confinate da una biorete in juta e da una georete fotossidabile in polipropilene, da bioreti realizzate in fibra di juta e cocco (**Geojuta**, **Coconet**). Eventualmente disponibili anche in versione preseminata con essenze scelte fra quelle autoctone.

I biotessili antierosione trovano impiego con funzione di antierosione a completamento del sistema copertura offrono protezione temporanea al terreno vegetale di copertura favorendo lo sviluppo della vegetazione fino alla degradazione delle fibre naturali costituenti il materiale. Nel caso di elevata inclinazione della scarpata o condizioni di esposizione severe si consiglia di valutare l'impiego di una geostuoia tridimensionale antierosione sintetica in poliammide **Enkamat**<sup>®</sup> in grado di assicurare una protezione contro l'erosione duratura.





Design APG Trieste - ottobre 2022



**Harpo spa**  
tel. +39 040 3186611  
info@harpogroup.it  
harpogroup.it

**sede legale**  
via torino, 34  
34123 trieste  
italia

**sede operativa**  
via caduti sul lavoro, 7  
z.i. noghere 34015 muggia  
trieste italia