

TeMa
Technologies
and Materials

KMat, XGrid, QDrain, Barrier BENTO, Barrier HDPE

sistemi di controllo dell'erosione superficiale, rinforzo, drenaggio, barriera



DISCARICHE E SITI CONTAMINATI

sistemi di controllo dell'erosione superficiale,
rinforzo, drenaggio, barriera



KMat, XGrid, QDrain, Barrier BENTO, Barrier HDPE

sistemi di controllo dell'erosione superficiale, rinforzo, drenaggio, barriera



KMat, XGrid, QDrain, Barrier BENTO, Barrier HDPE

sistemi di controllo dell'erosione superficiale, rinforzo, drenaggio, barriera

La sicurezza nella progettazione delle discariche controllate

Le discariche controllate rappresentano oggi un'area di rilevante interesse sociale ed economico. Il rifiuto, di qualunque tipologia esso sia, va mantenuto isolato nel tempo per la salvaguardia dell'ambiente e della salute delle persone. Queste opere hanno però dei costi di progettazione, realizzazione e gestione di forte impatto sui bilanci dei singoli enti e, indirettamente, del cittadino.

Tema, società specializzata nell'ambito dei sistemi di drenaggio, rinforzo, controllo dell'erosione superficiale, barriera, mette la sua esperienza decennale al servizio della progettazione.

Progettare con i nostri geocomposti drenanti, le nostre geogriglie di rinforzo, le nostre geostuoie antierosive e le nostre geomembrane con funzione barriera è facile e di comprovato risparmio economico, sia per l'elevata efficienza prestazionale che per l'elevata velocità di posa.

CAPPING TIPO

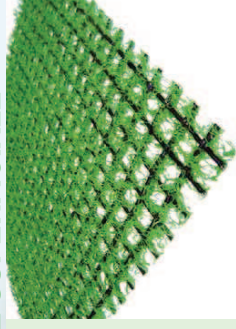


Sito di stoccaggio rifiuti in fase di realizzazione secondo il metodo TeMa: **barriera [B]**, drenaggio acque meteoriche **[D]**, rinforzo **[R]**

C CONTROLLO DELL'EROSIONE SUPERFICIALE

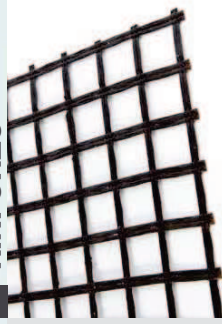


K-Mat L



K-Mat RF Green

R RINFORZO

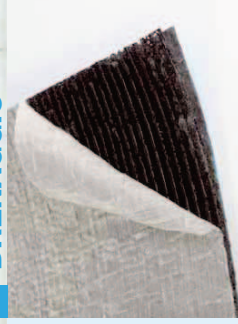


X-Grid



T-System

D DRENAGGIO

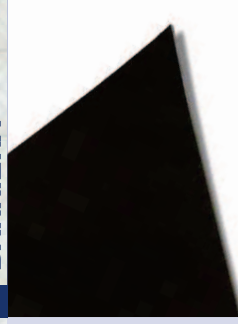


Q-Drain ZW8



Q-Drain C20

B BARRIERA



Barrier HDPE



Barrier BENTO

La normativa italiana in materia di discariche

La realizzazione di queste opere richiama, ormai da molti anni, l'attenzione di ricercatori a livello mondiale. La materia è certamente ben conosciuta ma si notano ancora indicazioni contenute nella Direttiva Europea 1999/31/CE relativa alle discariche dei rifiuti. Questo importante D. lgs. abbraccia tutti gli aspetti del normativo. Lo smaltimento controllato dei rifiuti è stato regolamentato in Italia a partire dagli anni '80 con una normativa nazionale, D.P.R. 10/09/1982, N° 915 abrogata nel 1997 con il D. lgs 05/02/1997 N°22. Nel 2003 poi viene emanato il D. lgs. 13/01/2003 n°36 che recepisce le indicazioni contenute nella Direttiva Europea 1999/31/CE relativa alle discariche dei rifiuti.

- D. lgs. 13/01/2003 n°36**
- Art. 1 Finalità**
- Art. 2 Definizioni**
- Art. 3 Ambito di applicazione**
- Art. 4 Classificazione delle discariche**
- Art. 5 Obiettivi di riduzione del conferimento di rifiuti in discarica**
- Art. 6 Rifiuti non ammessi in discarica**
- Art. 7 Rifiuti ammessi in discarica**
- Art. 8 Domanda di autorizzazione**
- Art. 9 Condizioni per il rilascio dell'autorizzazione delle discariche**
- Art. 10 Contenuto dell'autorizzazione**
- Art. 11 Procedure di ammissione**
- Art. 12 Procedura di chiusura**
- Art. 13 Gestione operativa e post-operativa**
- Art. 14 Garanzie finanziarie**
- Art. 15 Costi dello smaltimento**
- Art. 16 Sanzioni**
- Art. 17 Disposizioni transitorie e finali**

In allegato al Decreto vengono riportati:
Allegato 1 Criteri costruttivi e gestionali degli impianti di discarica
Allegato 2 Piano di gestione operativa di ripristino ambientale, di gestione post-operativa, di sorveglianza e controllo, finanziario.

L'art. 4 della Direttiva Europea 1999/31/CE altro non è che una classificazione dei tipi di discarica:

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

L'allegato 1 descrive nel dettaglio le stratigrafie per ciascun tipo di discarica. Nelle pagine successive analizzeremo queste stratigrafie che metteremo a confronto con quelle americane dell'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) e quelle proposte da Tema.

Compatibilità dei materiali con le norme di riferimento

Nella progettazione di una discarica particolare attenzione va data alla verifica della compatibilità dei materiali scelti con la specifica normativa di riferimento. Di seguito viene riportato il quadro normativo che regola l'utilizzo di alcuni materiali con una specifica funzione nell'applicazione in discarica.

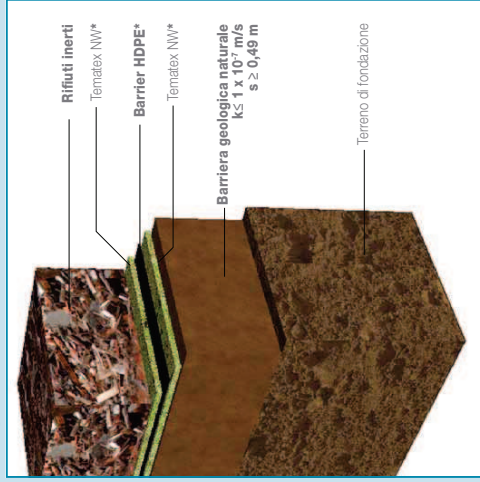
ELEMENTO	FUNZIONE	APPLICAZIONE	NORMA DI RIFERIMENTO
Geompositi drenanti	Drenaggio	Discarica di rifiuti liquidi e solidi	EN 13492
Geogriglie di rinforzo	Rinforzo	Discarica di rifiuti liquidi	EN 13265
Geogriglie di rinforzo	Rinforzo	Discarica di rifiuti solidi	EN 13257
Geostuoie antierosione	Controllo dell'erosione superficiale	Discarica di rifiuti liquidi e solidi	-
Geomembrane bentonitiche e geomembrane in HDPE	Barriera	Discarica di rifiuti liquidi	EN 13492
Geomembrane bentonitiche e geomembrane in HDPE	Barriera	Discarica di rifiuti solidi	EN 13493



Impianti di discarica per rifiuti inerti

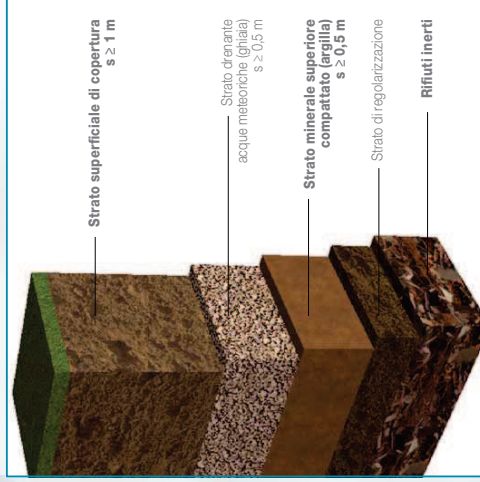
FONDO E SPONDE D B

Stratigrafia secondo il D. lgs. 36/2003



CAPPING C R D B

Stratigrafia secondo il D. lgs. 36/2003



Estratto del D. lgs. 36/2003:

[...] Il substrato della base e dei lati della discarica consiste in una formazione geologica naturale che risponda a requisiti di permeabilità e spessore almeno equivalente a quello risultante dai seguenti criteri:

- conducibilità idraulica $k \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$;
- spessore $s \geq 1 \text{ m}$.

* La barriera geologica, qualora non soddisfi naturalmente le condizioni di cui sopra (per mancanza di spessore e/o conducibilità idraulica), può essere completata artificialmente attraverso un sistema barriera di confinamento opportunamente realizzato che fornisca una protezione equivalente.

La barriera messa in opera artificialmente deve avere uno spessore non inferiore a 0,5 metri. [...]

La soluzione sintetica che potrà essere scelta per la creazione della barriera artificiale consiste in geomembrane sintetiche in HDPE tipo Barrier HDPE accoppiate ad un doppio strato di protezione in tessuto non tessuto tipo Tematex NW.

Decisione della Commissione del 30 aprile 2009, che integra la definizione di rifiuto inerte ai fini dell'applicazione dell'articolo 22, paragrafo 1, lettera f, della direttiva 2006/21/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive.

Articolo 1

1. I rifiuti sono considerati inerti ai sensi dell'articolo 3, paragrafo 3, della direttiva 2006/21/CE, quando soddisfano, nel breve e nel lungo termine, tutti i criteri seguenti:

- i rifiuti non subiscono alcuna disintegrazione o dissoluzione significativa o altri cambiamenti significativi che potrebbero comportare eventuali effetti negativi per l'ambiente o danni alla salute umana;
- i rifiuti possiedono un tenore massimo di zolfo sotto forma di solfuro pari a 0,1 % oppure hanno un tenore massimo di zolfo sotto forma di solfuro pari all'1 % se il rapporto potenziale di neutralizzazione, definito come il rapporto tra il potenziale di neutralizzazione e il potenziale acido determinato sulla base di una prova statica conforme alla norma prEN 15875, è maggiore di 3;
- i rifiuti non presentano rischi di autocombustione e non sono infiammabili;
- il tenore nei rifiuti, e segnatamente nelle polveri sottili isolate dei rifiuti, di sostanze potenzialmente nocive per l'ambiente o per la salute, in particolare As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn, è sufficientemente basso da non comportare, nel breve e nel lungo termine, rischi significativi per le persone o per l'ambiente. Per essere considerato sufficientemente basso da non comportare rischi significativi per le persone e per l'ambiente, il tenore di tali sostanze non deve superare i valori limite nazionali stabiliti per i siti classificati come non contaminati né i livelli di fondo naturali nazionali;

- i rifiuti sono sostanzialmente privi di prodotti utilizzati nell'estrazione o nel processo di lavorazione che potrebbero nuocere all'ambiente o alla salute umana.
2. I rifiuti possono essere considerati inerti senza dover procedere a prove specifiche se può essere dimostrato all'autorità competente che i criteri di cui al paragrafo 1 sono stati adeguatamente tenuti in considerazione e soddisfatti sulla base delle informazioni esistenti o di piani e procedure validi.

- Gli Stati membri possono preparare elenchi dei rifiuti da considerare inerti ai sensi dei criteri di cui ai paragrafi 1 e 2.

Articolo 2

La valutazione della natura inerte dei rifiuti ai sensi della presente decisione è effettuata nel quadro della caratterizzazione dei rifiuti di cui alla decisione 2009/360/CE e si basa sulle stesse fonti d'informazione.

Articolo 3

Gli Stati membri sono destinatari della presente decisione.

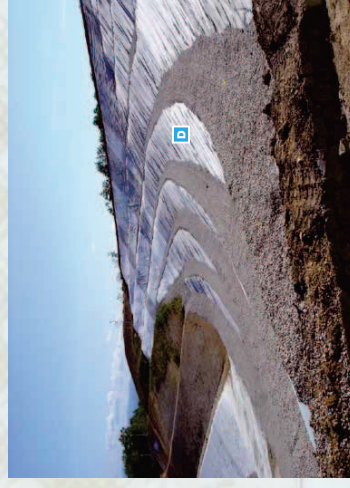
Fatto a Bruxelles, il 30 aprile 2009.



Capping di discarica (strato di regolarizzazione) secondo il metodo Tema



Capping di discarica secondo il metodo Tema: geomembrana con funzione barriera in HDPE B



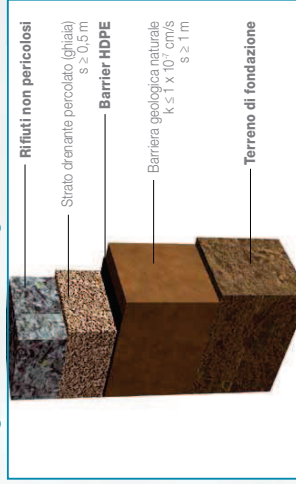
Capping di discarica secondo il metodo Tema: drenaggio acque meteoriche con QDrain D



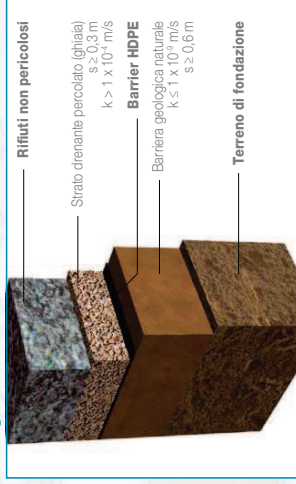
Impianti di discarica per rifiuti non pericolosi e pericolosi

FONDO E SPONDE **D B**

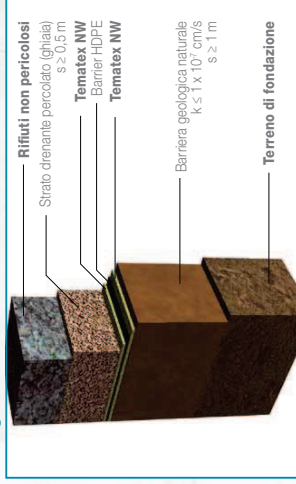
Stratigrafia secondo il D. lgs. 36/2003



Stratigrafia secondo la D.A. americana US EPA

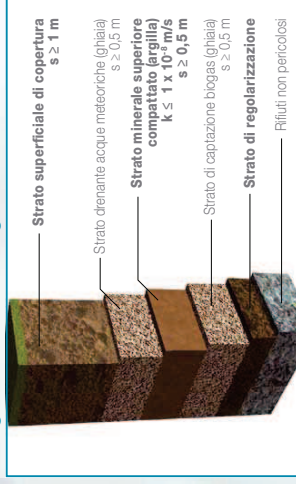


Stratigrafia secondo il metodo TeMa

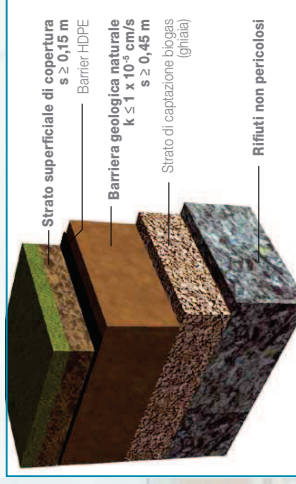


CAPPING **C R D B**

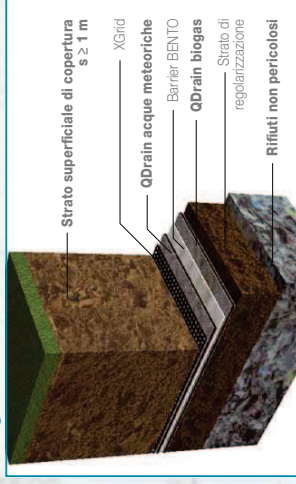
Stratigrafia secondo il D. lgs. 36/2003



Stratigrafia secondo la D.A. americana US EPA



Stratigrafia secondo il metodo TeMa



Vantaggi dei geosintetici rispetto ai materiali naturali

C Controllo dell'erosione superficiale

Le geostuoie antierosive della famiglia **K-Mat** proteggono la vegetazione in fase di crescita.

Una vegetazione forte e rigogliosa protegge il terreno di riporto dall'erosione dovuta al vento e all'acqua piovana, che esporrebbe i materiali sottostanti alla severa azione meteorica, con conseguenti pericoli di cedimento.

La presenza di geostuoie antierosione della famiglia **K-Mat** proteggendo le sponde dall'erosione ne migliora anche l'aspetto estetico.

R Rinforzo

La normativa non tiene conto delle diverse possibili geometrie della discarica che rendono inapplicabili le prescrizioni imposte. Infatti, se l'angolo di progetto è maggiore degli effettivi angoli d'attrito tra i materiali, dobbiamo aspettarci un sicuro scivolamento degli strati. Ciò comporterebbe danneggiamenti agli strati barriera e drenanti. Le possibili soluzioni sono:

- progettare discariche meno pendenti;
- costruire pendii con più berme;
- interporre **X-Grid** all'interfaccia critica (nella foto a lato si è ipotizzata come interfaccia critica quella tra terreno vegetale e dreno acque meteoriche);

D Drenaggio delle acque meteoriche e captazione dei biogas (capping)

Drenaggio della barriera superiore (fondo e sponde)

In aggiunta ai problemi di stabilità della ghiaia oltre una certa pendenza, si deve considerare l'enorme quantità di ghiaia in gioco (0.5 m per le acque meteoriche + 0.5 m per la captazione dei biogas). In questo caso l'utilizzo dei geocompositi drenanti presenta i seguenti vantaggi:

- guadagno di circa 1 m³ di rifiuto per m² di superficie;
- minori costi rispetto alla ghiaia in €/m²;
- riduzione del numero di autotreni movimentabili nel rapporto 1:200 (con diminuzione dei relativi costi di trasporto e l'incremento della velocità con cui i materiali arrivano in cantiere);
- accelerazione dei tempi di esecuzione del lavoro grazie alla velocità di posa del GCD rispetto alla lentezza con cui si posa la ghiaia.

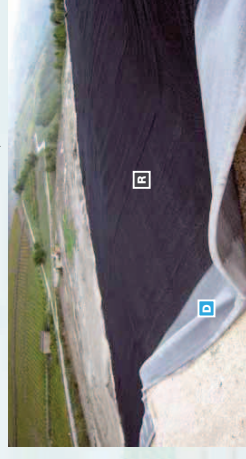
B Barriera

La sagoma della discarica è talvolta costituita da sponde/pa-
reti con inclinazioni elevate. In questi casi l'utilizzo di un GCL
è in grado di assicurare un'impermeabilizzazione assimilabile
a quella di 0.5 m di argilla. In verità la stessa norma consente
(in base al principio di equivalenza idraulica) che ove la barriera
naturale non soddisfi le condizioni richieste, possa essere com-
pletata artificialmente.

- Oltre a ciò vi sono i seguenti vantaggi:
- si guadagna 0.5 m³ di rifiuto ogni m² di superficie;
 - minori costi rispetto all'argilla in €/m²;
 - si riducono i numeri di autotreni movimentabili;
 - si accelerano i tempi di esecuzione del lavoro.



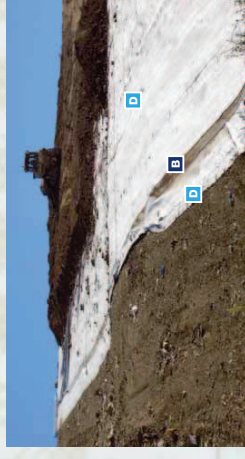
Realizzazione di capping di una discarica secondo il D.lgs. 36/2003: drenaggio biogas **D**, barriera **B**, drenaggio acque meteoriche **D**, controllo dell'erosione superficiale **C**



Realizzazione di capping di una discarica secondo il metodo Tema: drenaggio acque meteoriche con QDrain **D**, rinforzo con XGrid **R**



Realizzazione di fondo e sponde di una discarica secondo il D.lgs. 36/2003: barriera con geomembrana in HDPE **B**, drenaggio con ghiaia **D**



Realizzazione di capping di una discarica secondo il metodo Tema: drenaggio biogas con QDrain **D**, barriera con geocomposito bentonitico **B**, drenaggio acque meteoriche con QDrain **D**

Verifiche di stabilità del sistema di copertura delle discariche mediante geosintetici

Il tema relativo la stabilità di un sistema composito costituito da elementi sintetici (geosintetici) e materiale naturale (terreno di riporto), rappresenta sicuramente una dei problemi più rilevanti per chi deve affrontare la progettazione di un sistema di copertura sintetica di una discarica (capping o il fondo vasca).

La logica progettuale che verrà esposta di seguito ha chiaramente validità anche per gli interventi di chiusura di discariche abusive o in generale siti contaminati, per i quali è stata scelta la tecnica del confinamento. Prima di affrontare nello specifico gli algoritmi che si è deciso di proporre è doveroso introdurre brevemente quali sono stati, nel tempo, i passaggi fondamentali nell'elaborazione dei modelli di calcolo, che hanno consentito la formulazione delle attuali teorie. I primi a sviluppare degli studi specifici sull'argomento sono stati Giroud e Ah-Line.

• Giroud e Ah-Line (1984).

I due studiosi proposero infatti il primo modello concettuale che prendeva in considerazione le forze stabilizzanti presenti al piede del pendio, la resistenza mobilitata in corrispondenza della superficie critica da parte dei geosintetici posti superiormente la medesima e la resistenza offerta dalla trincea di ancoraggio sommitale.

• Koerner e Martin (1985)

Koerner e Martin proposero un modello analitico, considerando un pendio indefinito, per il caso di spessore uniforme di terreno sopra gli strati geosintetici, mentre un modello a doppio cuneo nel caso di non perfetta uniformità di rivestimento. Giunsero alla formulazione del solo caso di pendio indefinito.

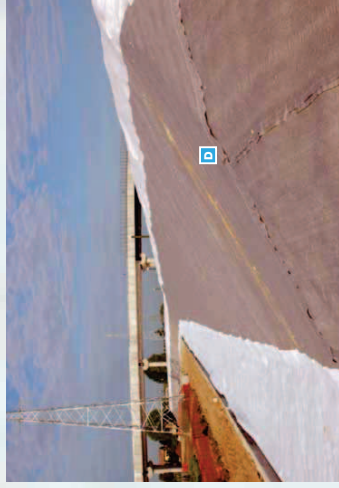
• Giroud e Bech (1989)

Giroud e Bech, successivamente, pubblicarono uno studio dettagliato, analizzando i tre possibili meccanismi che possono essere interessati nel corso della verifica di stabilità di un sistema geosintetico composito.

Considerarono il fenomeno correlato alle forze generate dall'angolo di interfaccia lungo la superficie critica, analizzarono l'entità della forza resa disponibile dal riporto di terreno posto al piede del pendio e considerarono la componente stabilizzante fornita al sistema da parte dei geosintetici posti nella parte superiore della superficie critica.

Infine, vi sono i due approcci dimensionali più comunemen-

te utilizzati, che prevedono il ricorso ad un modello concettuale valido per un pendio definito, scorciato in due cunei (cuneo attivo e passivo), sviluppati separatamente da Giroud e da Koerner e Soong.



Fase di capping di una discarica secondo il metodo Tema:

drenaggio biogas con QDrain

• Giroud e altri (1995), Koerner e Soong (1998).

La geometria adottata dai due modelli di calcolo prevede il ricorso alla suddivisione geometrica della porzione di pendio definito, quale oggetto dell'intervento di chiusura, in due cunei (di tipo attivo W_1 = wedge 1 e di tipo passivo W_2 = wedge 2).

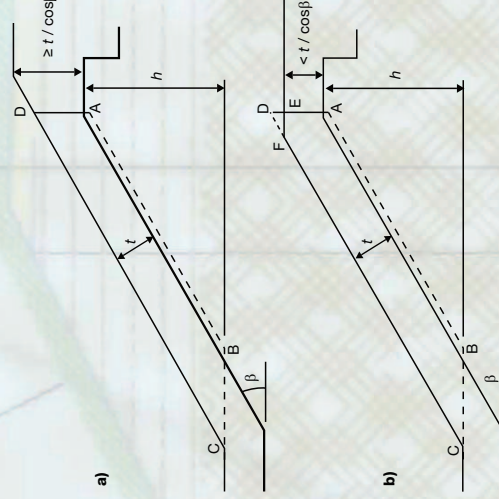
Il modello di Giroud e altri (1995) non prevede l'introduzione del fattore di sicurezza in corrispondenza della superficie di scivolamento orizzontale AB, definendo invece il fattore di sicurezza come il rapporto tra le forze resistenti e quelle instabilizzanti, relative al cuneo attivo (wedge 2).

Con questo tipo di approccio, lo studioso definisce ed introduce nella sua formulazione del FS cinque componenti separate.

In questo modo è agevole impostare un'analisi di sensitività che permetterà al progettista di identificare e quantificare in termini numerici, l'apporto di ciascun parametro alle performance del sistema. Il modello proposto da Koerner e Soong (1998) prevede, invece, la quantificazione delle forze stabilizzanti e di quelle instabilizzanti, dal rapporto delle quali determinare il valore del FS.

L'equazione risoltrice del modello di Koerner è un'equazione di secondo grado, nell'incognita FS.

fig. 1



La superficie critica ipotizzata dal modello è raffigurata in fig.1, attraverso la linea ABC. Il tratto orizzontale BC si è constatato che non influisce su una successione di prodotti geosintetici determinano, al variare dei valori dell'angolo di attrito all'interfaccia, il posizionamento della superficie critica.

Molto importante notare che l'altezza del pendio (h) viene misurata come distanza verticale tra i punti A e B (in maniera del tutto analoga al modello di Koerner).

Per quanto riguarda invece i parametri da valutare attentamente relativi al terreno di riporto sono:

- Lo spessore **t**;
- Il peso specifico **γ**;
- L'angolo di attrito interno **φ**;
- Coesione **c**.

Modello di Giroud e altri (1995)

Prima di presentare analiticamente il modello matematico sviluppato da Giroud e altri (1995) è necessario premettere le ipotesi che sono alla base del metodo e alcune definizioni.

Le ipotesi su cui si fonda il metodo sono:

- Non è prevista l'ingerenza di forze di filtrazione lungo il pendio definito utilizzato per impostare la verifica di stabilità. Ciò non significa che il modello non sia in grado di gestire anche questa eventualità; è necessario però in questo frangente introdurre altri parametri che in questa fase non vengono indicati.
- Il pendio non può essere interessato da un battente idrico che riguarda lo sviluppo del versante medesimo;
- Il sistema geosintetico ipotizzato dispone di uno spessore uniforme lungo tutto lo sviluppo lineare del pendio.

Le componenti principali di cui si compone il modello sono rappresentate da:

- La superficie critica è la linea in corrispondenza della quale potenzialmente può avvenire lo scivolamento del sistema composito (geosintetico-terreno);
- Il terreno di riporto posto sopra la superficie critica di potenziale scivolamento;
- Il o i geosintetici posti sopra la superficie critica di potenziale scivolamento.

Infine, per quanto attiene i materiali geosintetici facenti parte della stratificazione posta sopra la superficie critica di scivolamento, è doveroso osservare che, nel caso in cui siano presenti più elementi, la resistenza a trazione **T** considerata nel modello è data dalla somma delle resistenze sviluppate da ciascun elemento in corrispondenza di un fissato livello deformativo introdotto e deciso in fase preliminare dal progettista. Chiaramente, nel caso in cui la superficie critica si trovasse nella parte superiore dell'ultimo elemento geosintetico, nel modello analitico non verrà inserito nessun valore relativo alla resistenza a trazione **T**.

Per quanto attiene gli elementi geosintetici presenti negli strati superiori alla superficie critica è doveroso premettere che andrebbero considerati ai fini del calcolo della resistenza T , i soli elementi sintetici in grado di sostenere agevolmente le sollecitazioni indotte dai carichi esterni, trascurando quindi quegli elementi non specificatamente studiati per resistere a sforzi prolungati di trazione.

Il metodo adottato da Giroud si basa sulla teoria dell'equilibrio limite, assumendo un pendio definito geometricamente suddiviso in due cunei (wedge 1 e 2). La superficie di separazione tra i due cunei è assunta verticale (BB') come illustra la figura 2 - a.

La forza trasmessa tra due cunei in corrispondenza della superficie di confine (BB') è da ritenersi parallela al piano del pendio.

I dati geometrici di partenza da considerarsi validi per la definizione del pendio sono lo spessore t del terreno di riporto, l'altezza h e l'inclinazione β .

Si considerino le forze caratterizzanti il cuneo 1 (wedge 1) e si impostino le relazioni di equilibrio secondo la teoria dell'equilibrio limite.

Innanzitutto si definisce il peso proprio del cuneo 1:

Dove:

γ = peso specifico del terreno posto sopra la superficie critica di scivolamento [kN/m³];

t = spessore del terreno di riporto posto superiormente la superficie critica [m];

β = inclinazione del pendio [°].

$$W_1 = \frac{\gamma * t^2}{2 * \sin(\beta) * \cos(\beta)}$$

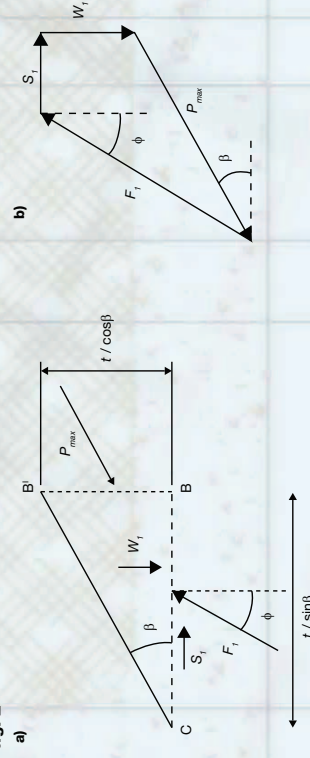
$$S_1 = \frac{c * t}{\sin(\beta)}$$

La componente F_1 non è nota, ma è noto il valore dell'angolo ϕ . Si procederà pertanto proiettando le forze presenti nel cuneo 1 in direzione perpendicolare a F_1 , eliminando quindi di fatto la componente F_1 dall'analisi.

$$P_{\max} * \cos(\beta + \phi) = S_1 * \cos(\phi) + W_1 * \sin(\phi)$$

Da cui conoscendo S_1 e W_1 , si ottiene il valore di $P_{\max}$.

fig. 2



$$P_{\max} * \cos(\beta + \phi) = \frac{c * t}{\sin(\beta)} * \cos(\phi) + \frac{\gamma * t^2}{2 * \sin(\beta) * \cos(\beta)} * \sin(\phi)$$

Per quanto attiene invece alle forze chiamate in gioco nel cuneo 2, avremo:

$$W_2 = \frac{\gamma * h * t}{\sin(\beta)} \quad S_2 = \frac{a * h}{\sin(\beta)}$$

Dove S_2 è la forza che si origina lungo il piano AB per effetto del fattore coesivo a che si genera all'interfaccia tra il terreno e la superficie critica.

Anche in questo caso, per ovviare alla mancanza di informazioni riguardo la F_2 , si eseguirà una proiezione delle forze, in direzione perpendicolare al pendio.

$$F_2 * \cos(\delta) = W_2 * \cos(\beta)$$

Dove:

δ = angolo di attrito all'interfaccia tra il terreno posto superiormente la superficie critica e la superficie critica medesima [°].

A questo punto gli elementi per calcolare il valore del fattore di sicurezza allo scivolamento sono noti e quindi si procede impostando il rapporto tra le componenti stabilizzanti e quelle instabilizzanti il sistema.

$$FS = \frac{F_{R \text{ / slope}}}{F_{D \text{ / slope}}}$$

Dove:

$F_{R \text{ / slope}}$ rappresentano le componenti stabilizzanti mentre $F_{D \text{ / slope}}$ quelle instabilizzanti.

$$F_{R \text{ / slope}} = P_{\max} + S_2 + T + F_2 * \sin(\delta)$$

Con

$$P_{\max} * \cos(\beta + \phi) = \frac{c * t}{\sin(\beta)} * \cos(\phi) + \frac{\gamma * t^2}{2 * \sin(\beta) * \cos(\beta)} * \sin(\phi)$$

Siccome

$$S_2 = \frac{a * h}{\sin(\beta)}$$

T = resistenza ammissibile dei geosintetici posti superiormente la superficie critica in funzione della deformazione ammessa;

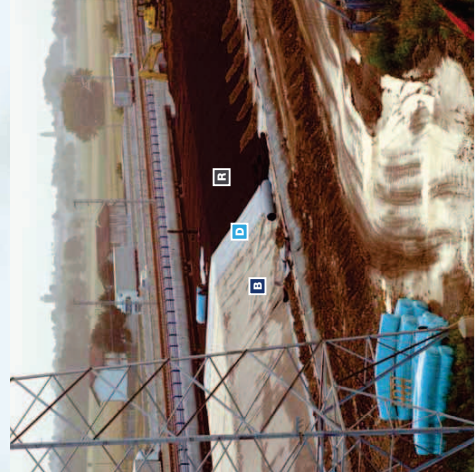
$$F_2 * \cos(\delta) = W_2 * \cos(\beta)$$

Mentre le forze instabilizzanti sono date dalla seguente relazione:

$$F_{D \text{ / slope}} = W_2 * \sin(\beta)$$

Il fattore di sicurezza che ne scaturisce è pertanto il seguente:

$$FS = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\beta)} + \frac{a}{\gamma * t * \sin(\beta)} + \frac{t}{h} * \frac{\sin(\phi)}{\sin(2\beta) * \cos(\beta + \phi)} + \frac{c}{\gamma * h} * \frac{1}{1 - \tan(\beta) * \tan(\phi)} + \frac{T}{\gamma * h * t}$$



Fase di capping di una discarica secondo il metodo Tema:

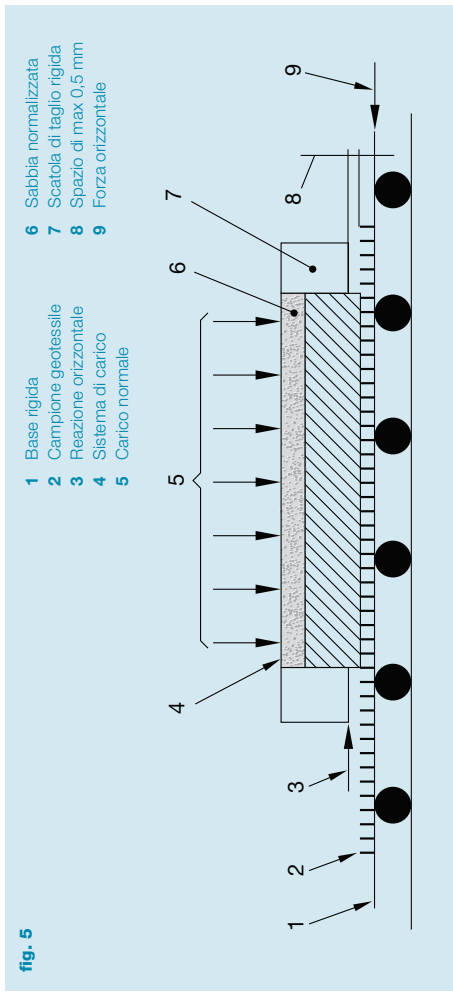
barriera con geomembrana in HDPE B, drenaggio acque meteoriche con QDrain D, rinforzo con XGrid R

L'importanza di conoscere i parametri caratteristici all'interfaccia gsy/gy oppure gsy/terreno

Studiare il comportamento di un sistema di copertura geosintetico, per la chiusura definitiva di una discarica di RSU, prevede l'adozione di modelli di calcolo che basano la loro attendibilità anche sulla conoscenza di alcuni parametri meccanici che dipendono dai materiali impiegati. Nel momento in cui si installano lungo un piano inclinato (sullo strato di regolarizzazione del rifiuto) una geomembrana impermeabilizzante liscia su entrambi i lati in HDPE, un geocomposito drenante tridimensionale in PP, una geostuoia rinforzata tridimensionale in PP e uno strato di terreno vegetale avente spessore noto, in corrispondenza delle 4 interfacce (strato di regolarizzazione del rifiuto / GMB - GMB/terreno) si generano degli stati tensionali, in termini di angolo di attrito all'interfaccia δ [°] e adesione a [kPa], i cui valori in termini numerici dipendono dal tipo di superficie, dal carico applicato sulla stratigrafia e dalle condizioni al contorno in termini di grado di saturazione del terreno.

La procedura di esecuzione della prova di taglio diretto, per esempio, è dotata di una struttura rigida scomposta in due sezioni. La parte superiore della scatola di taglio dovrà disporre di adeguate dimensioni interne che risulteranno non inferiori a 300 mm (fig. 5).

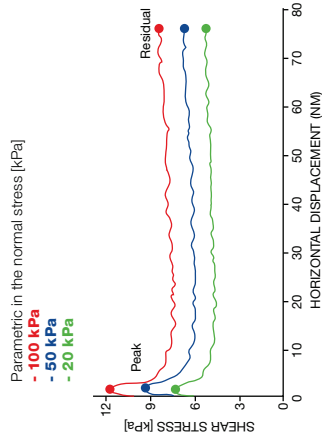
La struttura inferiore, invece, dovrà ospitare il supporto del provino e quanto necessario per impedire che quest'ultimo possa scivolare durante la prova.



Il concetto chiave su cui si basa la logica del test è porre a diretto contatto le superfici dei due materiali di cui si desidera conoscere le proprietà all'interfaccia, in modo ottimale. Una volta predisposta la scatola occorrerà imporre un carico normale e uno spostamento controllato.

Terminato il test si ottengono dei diagrammi (fig. 6) in cui in ordinate abbiamo gli sforzi di taglio [kPa] registrati all'interfaccia, mentre in ascissa si ha lo spostamento [mm]. Variando l'intensità del carico normale applicato si ottengono chiaramente dei grafici differenti.

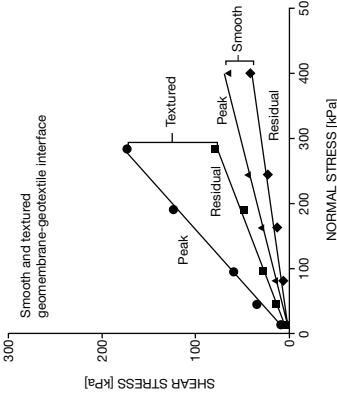
fig.6 - Diagramma tipico di una prova di taglio diretto



Il passaggio finale, che consentirà di definire angoli di attrito all'interfaccia e adesione, consisterà nella creazione di un diagramma di Mohr, in cui per punti si andrà a costruire per interpolazione la linea di stato critico (fig. 7).

L'intercetta sull'asse delle ordinate risulterà essere il parametro di adesione a [kPa] che stavamo ricercando, mentre il coefficiente angolare della retta corrisponderà all'angolo di attrito all'interfaccia δ [°].

fig.7 - Linea di stato critico



Esempi di angoli di attrito all'interfaccia

	BARRIER BENTO	QDRAIN	TEMATEX NW	BARRIER HDPE L	BARRIER HDPE AM	SABBIA	GHIAIA	TERRENO VEGETALE
Geocomposito bentonitico	BARRIER BENTO	18°/23°		9°/12°	28°/32°	28°/32°	30°/33°	24°/26°
Geocomposito drenante	QDRAIN	18°/23°		8°/14°	28°/32°	28°/32°	30°/33°	24°/26°
Geotessile tessuto non tessuto	TEMATEX NW			8°/14°	28°/32°	28°/32°	30°/33°	24°/26°
Geomembrana in HDPE liscia	BARRIER HDPE L	9°/12°	10°/12°		14°/18°			
Geomembrana in HDPE ad adesione migliorata	BARRIER HDPE AM	28°/32°	28°/32°		25°/29°			
Sabbia	SABBIA	28°/32°	28°/30°	8°/14°	22°/25°			
Ghiaia	GHIAIA	30°/33°	32°/34°					
Terreno vegetale	TERRENO VEGETALE	24°/26°	24°/28°					



Teoria del drenaggio

Premessa

La normativa italiana sulle discariche (**Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 - Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti**) prevede l'utilizzo di materiale inerte per la realizzazione dei sistemi di captazione dei liquidi (acque meteoriche e percolato) e aeriformi (biogas).

Dall'intercettazione del percolato (fondo) alla captazione del biogas e delle acque meteoriche (capping) il legislatore ha recepito integralmente quanto riportato dalla Direttiva comunitaria 1999/31/CE, sottovalutando aspetti di natura tecnica e realizzativa relativi la messa in opera di queste stratigrafie.

Oggi è possibile proporre soluzioni tecniche alternative mediante l'utilizzo di geocompositi drenanti.

L'approccio metodologico che occorre seguire per impostare un confronto tecnico tra i due sistemi è il seguente:

- valutare le prestazioni idrauliche che un sistema costituito da materiale inerte naturale (es. ghiaia) è in grado di garantire (in termini di portata specifica q_{ghiaia} in l/sm oppure m^3/sm);
- valutare le prestazioni idrauliche che un geocomposito drenante sintetico (es. QDrain ZW8) è in grado di garantire (in termini di portata specifica q_{GCD} l/s m oppure m^3/sm), sia in termini di trasmissività nominale $q_{GCD_{nom}}$ che di trasmissività ammissibile $q_{GCD_{amm}}$;
- introdurre il fattore prestazionale di merito che sancisca oggettivamente la validità della soluzione alternativa proposta.

Calcolo delle prestazioni idrauliche di uno strato di inerte naturale

Per valutare la portata che uno strato drenante in materiale naturale è in grado di garantire, occorre innanzitutto valutare le condizioni di flusso al contorno e definire se queste possano ricondursi a condizioni di flusso di tipo laminare. Se si ritenesse anche applicabile la condizione di completa saturazione dello strato, allora sarebbe lecito ritenere valida la relazione di Darcy, da cui desumere, quindi, il dato di portata Q [m^3/s] dello strato di ghiaia ricercato:

$$Q_{ghiaia} = k_{ghiaia} * A * i = k_{ghiaia} * L * t * i \quad [m^3/s]$$

$$q_{ghiaia} = \frac{Q_{ghiaia}}{L} = k_{ghiaia} * t * i \quad [m^3/sm]$$

Dove k_{ghiaia} è il dato di permeabilità [m/s], i è il dato di gradiente idraulico [ad.] e t è lo spessore [m].

Esempio di calcolo delle prestazioni idrauliche di uno strato di inerte naturale.

Si deve calcolare la massima portata idraulica specifica smaltibile da uno strato di $t = 50$ cm di ghiaia avente valore medio di permeabilità pari a $k = 10^{-3}$ m/s, posto su un piano inclinato di 3° .

Assumendo valida la relazione di Darcy, il dato di portata idraulica specifica [l/sm] è facilmente ottenibile applicando la seguente relazione analitica:

$$q_{ghiaia} = \frac{Q_{ghiaia}}{L} = k_{ghiaia} * t * i$$

posto il valore del gradiente idraulico $i = \sin(\beta)$ con $\beta = 3^\circ$

$$q_{ghiaia} = 10^{-3} * 0,5 * 0,05 = 0,025 * 10^{-3} \text{ m}^2/s = 0,025 * 10^{-3} \text{ m}^3/sm = 0,025 \text{ l/sm}$$

Calcolo delle prestazioni idrauliche nominali di uno strato drenante geosintetico (trasmissività nominale)

Per calcolare la portata specifica che un sistema drenante sintetico (geocomposito drenante) è in grado di evacuare occorre definire due categorie di parametri:

- Parametri di natura idraulica;
- Parametri di natura meccanica.

Il parametro idraulico che è necessario conoscere è il gradiente idraulico (i), che esprime sostanzialmente l'inclinazione del piano su cui verrà installato il sistema geosintetico (si ricorda la relazione analitica che intercorre tra i e l'angolo di inclinazione del piano $i = \sin(\beta)$).

Per quanto riguarda invece il parametro di natura meccanica, esso si riferisce all'entità dei carichi applicati sul prodotto (la cui natura può essere permanente, variabile oppure anche ciclica).

Noti che siano i valori di gradiente idraulico e carico applicato, è immediata la lettura del dato di trasmissività idraulica nominale ricercato (portata specifica nel piano del prodotto in termini di l/sm oppure in m^3/sm) analizzando la scheda tecnica del prodotto.

Dato che le schede tecniche relative ai sistemi sintetici sono concepite e realizzate limitando il caso delle combinazioni carichi / gradienti, si avranno a disposizione al massimo 9 valori di trasmissività idraulica, ciascuno derivante dalla combinazione di un valore di carico con un dato di gradiente idraulico.

Può accadere pertanto che il dato ricercato di portata specifica del geocomposito si debba riferire ad una combinazione carico / gradiente non presente sulla scheda tecnica.

In questo frangente si potrà ricorrere all'utilizzo di una formula speditiva (Rimoldi '89) che approssimerà il dato ricercato.

$$q_{i,1} = q * \sqrt{\frac{i}{i_1}} \quad \text{Dove:}$$

$q_{i,1}$ = portata specifica ricercata relativa alle condizioni in situ;
 q = portata specifica nota da scheda tecnica;
 i_1 = gradiente idraulico relativo alle condizioni in situ;
 i = gradiente idraulico inserito in scheda tecnica.

Esempio di calcolo della trasmissività idraulica nominale.

Si deve valutare la possibile sostituzione di uno strato drenante in ghiaia trattato nell'esempio di calcolo precedente con un sistema drenante sintetico.

Si calcoli pertanto il valore di trasmissività nominale:

per quanto riguarda il parametro di natura idraulica (i), si consideri lo stesso dato adottato per il caso in ghiaia ($\beta = 3^\circ$ con $i = 0,05$), mentre il parametro di natura meccanica, si consideri che il sistema drenante sintetico sarà soggetto ad un carico statico pari a 20 kPa (avendo considerato uno strato di terreno di riporto di 1 m di spessore avente un peso specifico di 20 kN/m³) ed un carico variabile dovuto ai mezzi d'opera eventualmente circolanti sopra lo strato installato pari a 50 kPa.

Il carico complessivamente gravante sul prodotto è pari a 70 kPa approssimato a 100 kPa per poterci ricondurre ad un dato solitamente presente nelle schede tecniche di questi sistemi.

Il dato di trasmissività che andrà pertanto ricercato all'interno della scheda tecnica di prodotto sarà quello relativo alla combinazione pressione applicata = 100 kPa / gradiente idraulico = 0,04, ed è pari a $q = 0,41$ l/sm, ipotizzando di considerare il geocomposito QDrain ZW8 14P.

Applicando poi la formula di Rimoldi (1989) avremo:

$$q_{i,1} = q_{nom} = 0,41 * \sqrt{\frac{0,05}{0,04}} = \approx 0,46 \text{ l/sm}$$

quindi un valore di trasmissività nominale pari 0,46 l/sm.



Calcolo delle prestazioni idrauliche ammissibili di uno strato drenante geosintetico (trasmissività ammissibile)

Una volta ottenuto il dato di trasmissività idraulica nominale, si dovrà procedere al calcolo del relativo valore ammissibile. In letteratura esistono numerosi approcci analitici che conducono alla definizione del valore ammissibile a partire dal dato nominale.

In questa sede si è deciso di prendere in considerazione l'approccio introdotto dal GRI (Geosynthetic Research Institute) secondo il protocollo GRI-GC8 standard – *Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite*.

La metodologia di calcolo assunta dall'istituto americano si basa sulla seguente relazione:

$$q_{allow} = \frac{q_{100}}{\left[\frac{RF_{creep}}{RF_{bc}} * RF_{cc} * RF_{cc} \right]}$$

Dove:

q_{allow} = trasmissività ammissibile [l/sm];

q_{100} = trasmissività calcolata a seguito di test idraulici aventi durata minima pari a 100 ore [l/sm];

RF_{creep} = fattore riduttivo per creep della struttura interna [ad];

RF_{bc} = fattore riduttivo per fenomeni biologici [ad];

RF_{cc} = fattore riduttivo per fenomeni chimici [ad].

Il ragionamento che conduce a impostare il calcolo del valore di trasmissività ammissibile secondo tale procedimento si fonda sull'evidente decadimento fisico e meccanico del sistema nel tempo.

Risulta pertanto fondamentale conoscere il comportamento nel tempo del sistema per poterne valutare le prestazioni, non solo all'istante della posa, ma anche nel corso della sua vita utile.

Rivestono, in tal senso, un ruolo fondamentale i test di creep sulla parte interna del geocomposito (anima tridimensionale drenante). A tal proposito si riporta, per completezza espositiva, la relazione adottata sempre dal GRI per il calcolo del fattore riduttivo per creep:

$$FS_{creep} = \left[\frac{\left(\frac{t_{100}}{t_{originale}} \right) - (1 - n_{originale})}{\left(\frac{t_{5100}}{t_{originale}} \right) - (1 - n_{originale})} \right]^3$$

Dove:

$t_{originale}$ = spessore originale del GCD [mm];

t_{100} = spessore del GCD dopo il test di 100 ore [mm];

t_{5100} = spessore del GCD dopo il test con durata superiore alle 100 ore [mm];

$n_{originale}$ = porosità iniziale.

$$n_{originale} = 1 - \frac{\mu}{\rho t_{originale}}$$

Dove:

ρ = densità [kg/m³];

μ = massa per unità di superficie [kg/m²].

Per quanto riguarda le altre due categorie di fattori riduttivi (RF_{bc} - biological clogging e il RF_{cc} - chemical clogging) si rimanda alla sottostante tabella per i range numerici consigliati da Koerner (1998).

Esempio di calcolo della trasmissività idraulica ammissibile.
Si supponga di assumere per i GCD i seguenti valori:

$$\frac{RF_{creep}}{RF_{bc}} = 1,3$$

$$\frac{RF_{bc}}{RF_{cc}} = 1,8$$

Adottando la precedente formula otteniamo:

$$q_{GCD_{amm}} = \left[\frac{RF_{creep}}{RF_{bc}} * RF_{bc} * RF_{cc} \right] \frac{q_{nom}}{[1,3 * 1,8 * 1,2]} = \frac{0,46}{1,2} = 0,163 \text{ l/sm}$$

Range of clogging Reduction Factors (modified from Koerner, 1998)

Application	Chemical Clogging (RF _{cc})	Biological Clogging (RF _{bc})
Sport fields	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Capillary breaks	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Roof and plaza decks	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Retaining walls, seeping rock and soil slopes	1.1 to 1.5	1.0 to 1.2
Drainage blankets	1.0 to 1.2	1.0 to 1.2
Landfill caps	1.0 to 1.2	1.2 to 3.5
Landfill leak detection	1.1 to 1.5	1.1 to 1.3
Landfill leachate collection	1.5 to 2.0	1.1 to 1.3

Calcolo del fattore prestazionale di merito

Si utilizzi la formula:

$$FS = q_{GCD_{amm}} / q_{ghiaia}$$

Esempio di calcolo del fattore prestazionale di merito.
Utilizzando la formula suddetta otteniamo:

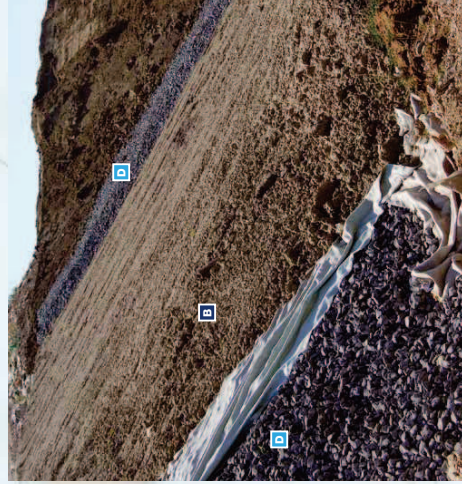
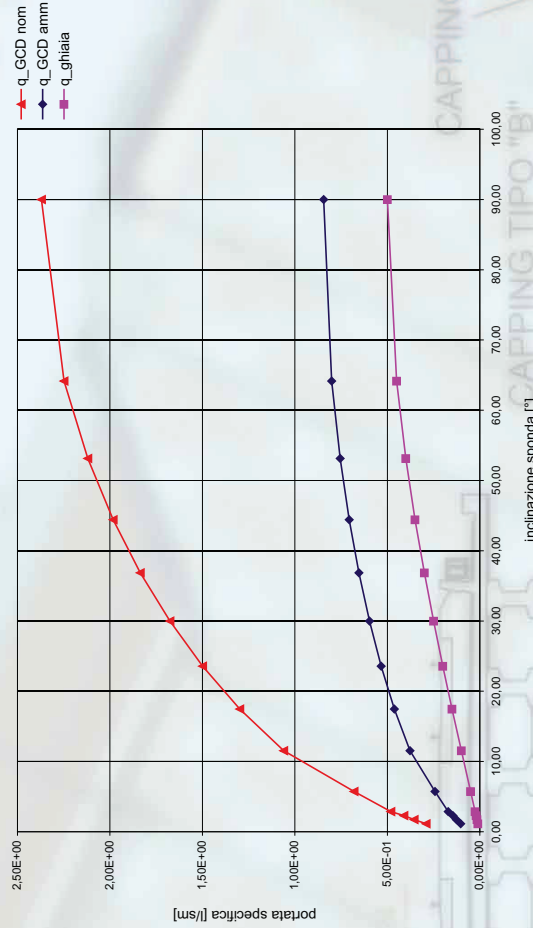
$$FS = \frac{0,163}{0,0262} = 6,22$$

Perciò, qualora il dato relativo al fattore di sicurezza sia > 2, si ritiene che il confronto prestazionale GCD/ghiaia sia pienamente a favore della soluzione sintetica, giustificando così il ricorso a tale alternativa.

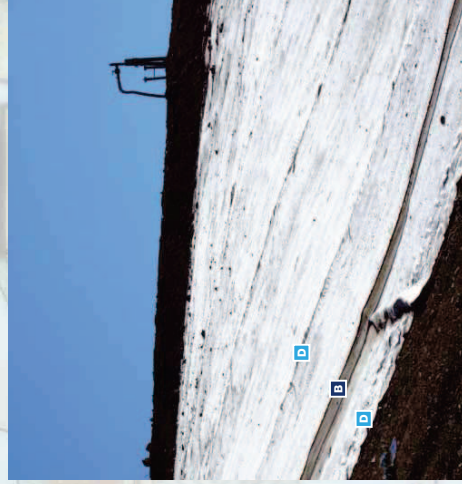
Risultati riportati nel seguente foglio di calcolo:

k = 1,00E-03 m/s	permeabilità della ghiaia
t = 0,5 m	spessore dello strato
i = sen (β) = 0,05 -	gradiente idraulico
β = 3 °	pendenza del piano di posa
q _{ghiaia} = 2,62E-05 m³/sm	trasmissività dello strato in GHIAIA
i = sen (β) = 0,05 -	gradiente idraulico
β = 3 °	pendenza del piano di posa
P ₁ = 20 kPa	carichi permanenti
P ₂ = 50 kPa	carichi variabili
P ₃ = 0 kPa	carichi ciclici
P _{tot} = 70 kPa	carichi totali
q = 0,41 l/sm	trasmissività tabulata in scheda tecnica a 100 kPa e i = 0,04
i1 = 0,05 -	gradiente idraulico relativo alle condizioni in situ
i = 0,04	gradiente idraulico tabulato in scheda tecnica
q _l = q * √(i1/i) = 0,46	gradiente idraulico tabulato in scheda tecnica
q _{l1} = qGCD _{nom} = 4,58E-04 m³/sm	trasmissività nominale del GCD
4,58E-01 l/sm	
RF _{creep} = 1,2	fattore riduttivo per creep
RF _{bc} = 2,2	fattore riduttivo per aspetti biologici
RF _{cc} = 1,1	fattore riduttivo per aspetti chimici
RF _{tot} = 2,81	fattore riduttivo totale
q GCD amm = 1,63E-04 m³/sm	trasmissività ammissibile del GCD
1,63E-01 l/sm	
FS = qGCD _{amm} / q _{ghiaia} = 6,22	fattore di merito

Valore di trasmissività del geocomposito e della ghiaia all'aumentare dell'inclinazione della sponda



Capping di discarica secondo il D. lgs. 36/2003: drenaggio biogas con ghiaia **D**, barriera con argilla **B**, drenaggio acque meteoriche con ghiaia **D**



Capping di discarica secondo il metodo Tema: drenaggio biogas con QDrain **D**, barriera con geomembrana bentonitica **B**, drenaggio acque meteoriche con QDrain **D**

Anche per il sistema di captazione del biogas, previsto ovviamente per i soli impianti che trattano anche le frazioni degradabili del rifiuto, la normativa italiana prevede l'utilizzo, in fase di chiusura definitiva dell'impianto, di uno strato di 50 cm minimo di materiale inerte (fig. 8). Analogamente a quanto riportato per il caso dello strato di intercettazione delle acque meteoriche, anche la soluzione prevista per la gestione del biogas prodotto non è esente da problematiche sia di natura tecnica che gestionale. Dal punto di vista tecnico vi è sicuramente la questione relativa alla messa in opera dello strato di 50 cm lungo un piano "fortemente inclinato" (a volte caratterizzato da angoli di inclinazioni superiori ai 40°). La stabilità intrinseca del sistema, soprattutto nel tempo, è un aspetto a volte trascurato ma che potrebbe generare in fase gestionale non pochi problemi all'ente gestore del sito.

Dal punto di vista gestionale/logistico è indubbia la disconomia associata ad una simile soluzione, visti i volumi in gioco di materiale inerte da posare, con la non trascurabile perdita di volume utile di stoccaggio.

Una possibile soluzione alternativa è costituita dall'installazione di appropriati sistemi geosintetici di drenaggio che, grazie alle loro intrinseche proprietà, sono in grado di rappresentare una valida alternativa non solo per la gestione dei liquidi (vedi strato di intercettazione delle acque meteoriche), ma anche degli aeriformi (vedi strato di intercettazione del biogas).

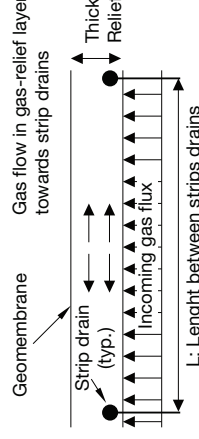


fig. 8 - Capping di discarica secondo il D. lgs. 36/2003: drenaggio biogas con ghiaia **D**, barriera con argilla **B**, drenaggio acque meteoriche con ghiaia **D**

Strato di captazione del biogas

Tecnicamente, per valutare la possibilità di utilizzare un geocomposito drenante come strato di captazione del biogas, occorre seguire i seguenti passaggi:

- A.** Stimare la quantità di biogas potenzialmente generabile dai rifiuti presenti nell'impianto;
- B.** Calcolare il valore di trasmissività richiesto nominale necessario affinché il geocomposito sia in grado di gestire il quantitativo di biogas prodotto (trasmissività richiesta nominale per aeriformi);
- C.** Calcolare il dato di trasmissività richiesta ammissibile per aeriformi partendo dal dato di trasmissività richiesta nominale per aeriformi applicando opportuni fattori riduttivi;
- D.** Impostare la relazione di equivalenza che consenta di calcolare, a partire dal valore di trasmissività richiesta ammissibile per aeriformi (biogas) il valore di trasmissività richiesta ammissibile riferita ad un liquido (acqua);
- E.** Calcolare il valore di trasmissività idraulica ammissibile del GCD prescelto in funzione delle condizioni al contorno del problema (pressione applicata al GCD e gradiente idraulico) a partire dal dato nominale, applicando sempre gli opportuni fattori riduttivi;
- F.** Introduzione del fattore di merito FS che andrà a confrontare i dati calcolati al punto D con i dati del punto E.



Stima del tasso di produzione annuale di biogas

Per eseguire questa valutazione è necessario riferirsi alla seguente relazione analitica (tratta da *Design of Lateral Drainage Systems for Landfills*, 2000):

$$Q_{gas} = r_{gas} H_{media\ rifiuto} \gamma_{rifiuto}$$

Dove:

r_{gas} = portata specifica di biogas [m³/s/m²];

$H_{media\ rifiuto}$ = altezza media del rifiuto stoccato in discarica [m];

$\gamma_{rifiuto}$ = peso specifico del rifiuto [kN/m³].

Calcolo del valore di trasmissività richiesta nominale per aeriformi ($\theta_{richiesta\ gas}$)

Per valutare il valore minimo richiesto in termini di trasmissività che il sistema sintetico dovrà essere in grado di garantire si applica la seguente relazione (Thiel, 1999):

$$\theta_{richiesta\ gas} = \frac{Q_{gas} \gamma_{gas}}{u_{gas\ max}} \left[\frac{L^2}{\delta} \right]$$

Dove:

Q_{gas} = portata specifica di biogas [$m^3/s/m^2$];

γ_{gas} = peso specifico del gas [kN/m^3];

$u_{gas\ max}$ = pressione massima del gas sotto copertura [kPa];

L = distanza tra i collettori drenanti [m];

Calcolo del valore di trasmissività richiesta ammissibile per aeriformi ($\theta_{amm\ gas}$)

Ottenuto il valore di trasmissività minima richiesta (valore nominale), sarà poi necessario adottare l'usuale relazione che consentirà di ottenere il dato ammissibile (gas) attraverso l'introduzione dei fattori riduttivi:

$$\theta_{amm\ gas} = \theta_{richiesta\ gas} \cdot \prod_{i=1}^5 FS_i$$

Dove:

$$\prod_{i=1}^5 FS_i = FS_{in} \cdot FS_{cr} \cdot FS_{cc} \cdot FS_{bc} \cdot FS_{OVERALL}$$

FS_{in} = fattore correttivo all'intrusione del geotessile all'interno dell'anima drenante;

FS_{cr} = fattore correttivo dovuto al fenomeno del creep;

FS_{cc} = fattore riduttivo al fenomeno del chemical clogging;

FS_{bc} = fattore riduttivo al fenomeno del biological clogging;

$FS_{OVERALL}$ = fattore riduttivo generale.

Relazione di equivalenza

Mediante il ricorso alla seguente relazioni di equivalenza, si sarà in grado di stimare il dato di trasmissività rapportato al caso di sostanze liquide partendo dal dato relativo a sostanze aeriformi:

$$\theta_{amm\ H_2O} = \frac{\mu_{gas} \gamma_{H_2O}}{\mu_{H_2O} \gamma_{gas}} \theta_{amm\ gas}$$

Dove:

$\theta_{amm\ H_2O}$ = trasmissività ammissibile richiesta dell'acqua [m^2/s];

$\theta_{amm\ gas}$ = trasmissività ammissibile richiesta del gas [m^2/s];

μ_{gas} = viscosità dinamica del gas [m^2/s];

μ_{H_2O} = viscosità dinamica dell'acqua [m^2/s];

γ_{gas} = peso specifico del gas [kN/m^3];

γ_{H_2O} = peso specifico dell'acqua [kN/m^3].

Mediante l'ultima relazione di equivalenza si è definito il valore di trasmissività ammissibile (di lungo termine) che il nostro sistema geosintetico dovrà essere capace di garantire.

Calcolo del valore di trasmissività richiesta nominale del GCD ($\theta_{nom\ GCD}$)

Una volta nota la trasmissività ammissibile richiesta al nostro sistema ($\theta_{amm\ H_2O}$), dovremo calcolare il valore di trasmissività ammissibile che il nostro prodotto è effettivamente in grado di garantire ($\theta_{nom\ GCD}$), in funzione delle condizioni al contorno (pressione applicata e gradiente idraulico).

Il calcolo del dato relativo alla trasmissività idraulica nominale ($\theta_{nom\ GCD}$), noti i parametri di pressione applicata al prodotto (kPa) e gradiente idraulico, è immediato consultando la scheda tecnica del materiale selezionato.

Ipotizzando l'inserimento di uno strato di captazione del biogas sintetico lungo un piano inclinato di 2,3° (che corrispondono ad un valore di gradiente idraulico di 0,04) e prevedendo un dato di pressione massima applicata pari a 100 kPa , sarà sufficiente all'utente incrociare questi due dati sulla scheda tecnica di prodotto e leggere il dato di trasmissività idraulica nominale ricercata ($\theta_{nom\ GCD}$).

Nel caso in cui il dato di gradiente idraulico corrispondente alle condizioni in situ non dovesse corrispondere ad uno dei tre dati che solitamente vengono riportati in scheda tecnica, sarà necessario applicare la formula semplificata di Rimoldi.

Calcolo del valore di trasmissività richiesta ammissibile del GCD ($\theta_{amm\ GCD}$)

Dal dato di trasmissività idraulica nominale ($\theta_{nom\ GCD}$) desunto da una lettura appropriata della scheda tecnica, si procederà al calcolo del valore ammissibile ($\theta_{amm\ GCD}$), secondo la seguente relazione (GRI standard method):

$$\theta_{amm\ GCD} = \left[\frac{RF_{creep}}{RF_{bc}} \cdot RF_{in} \cdot RF_{cc} \right] \theta_{nom\ GCD}$$

Dove:

$\theta_{amm\ GCD}$ = trasmissività idraulica ammissibile [$l/s/m$];

$\theta_{nom\ GCD}$ = trasmissività idraulica nominale [$l/s/m$];

RF_{creep} = fattore riduttivo per creep della struttura interna [ad];

RF_{bc} = fattore riduttivo per fenomeni biologici [ad];

RF_{in} = fattore riduttivo per fenomeni chimici [ad];

RF_{cc} = fattore riduttivo per intrusione del geotessile all'interno dell'anima drenante[ad].

Calcolo del fattore di merito FS

Per verificare quanto la soluzione sintetica proposta sia adeguata alle richieste del sistema (ricordiamo che il termine di paragone con cui ci si sta confrontando è la trasmissività di lungo termine richiesta del sistema) introdurremo un fattore di merito FS, definito come il rapporto tra la trasmissività idraulica ammissibile del GCD ($\theta_{amm\ GCD}$) e la trasmissività idraulica ammissibile richiesta del sistema ($\theta_{amm\ H_2O}$). La soluzione con geocomposito drenante sarebbe ritenuta giustificata in alternativa alla soluzione con materiale granulare naturale se il valore numerico di FS risultasse superiore a 2.

$$FS = \frac{\theta_{amm\ GCD}}{\theta_{amm\ H_2O}}$$

Case histories

Campo di applicazione:	Funzione	Campo di applicazione
Il capping geosintetico di una discarica di RSU	SEPARAZIONE	BACINI IDRICI
Realizzazione dello strato di captazione del biogas, delle acque meteoriche e del controllo dell'erosione nel capping di una discarica di RSU	FILTRAZIONE	CANALI
	RINFORZO	RILEVATI STRADALI
	CONTROLLO EROSIONE	RILEVATI FERROVIARI
	DRENAGGIO	DISCARICHE
Località: Milano	IMPERMEABILIZZAZIONE	SISTEMI DI DRENAGGIO
Periodo: 2008	PROTEZIONE	FONDAZIONI/ OPERE DI SOSTEGNO

Premessa

La normativa italiana, che recepisce la direttiva comunitaria 33/1999/CE sulle discariche di rifiuti (D. lgs. 36/2003) per la realizzazione degli strati di captazione del biogas e delle acque meteoriche, prevede la realizzazioni di strati da 50 cm di materiale inerte granulare.

Per molti progettisti/gestori di impianti uno dei problemi più sentiti è la fattibilità degli interventi alla luce delle sempre più attuali esigenze di recuperare spazi utili all'interno dei siti. La realizzazione dello strato drenante, mediante materiale granulare lungo scarpate sempre più inclinate, ha indotto le aziende del comparto di materiali geosintetici a studiare e proporre nuovi sistemi più efficienti e duraturi rispetto alle soluzioni tradizionali.

I materiali di cui la presente nota esporrà sinteticamente alcune caratteristiche tecniche rappresentano, ad oggi, le soluzioni alternative più efficienti che il mercato è in grado di proporre.

La soluzione sintetica è più veloce da posare, più prestan- te dal punto di vista idraulico rispetto allo strato granulare con uno spessore decisamente di un ordine di grandezza inferiore (si parla infatti di 8 mm rispetto ai 50 cm della ghiaia); presenta una minore incidenza dei costi di trasporto nel conferire in cantiere il materiale, rispetto a quanto risulterebbe essere la soluzione con inerte (3 camion trasporto materiale per coprire 10.000 mq di discarica rispetto a con- ferire 5.000 mc di ghiaia), con possibilità di installare anche su scarpate molto inclinate.

Dal punto di vista del confronto tecnico, il rendimento idrau-

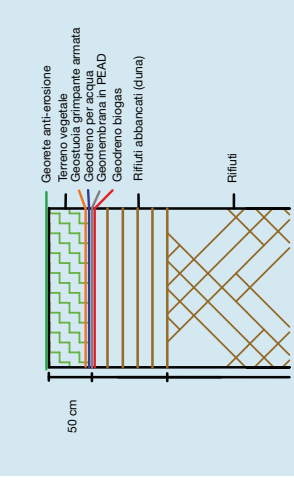
lico di uno strato di ghiaia viene calcolato assumendo valida la relazione di Darcy.

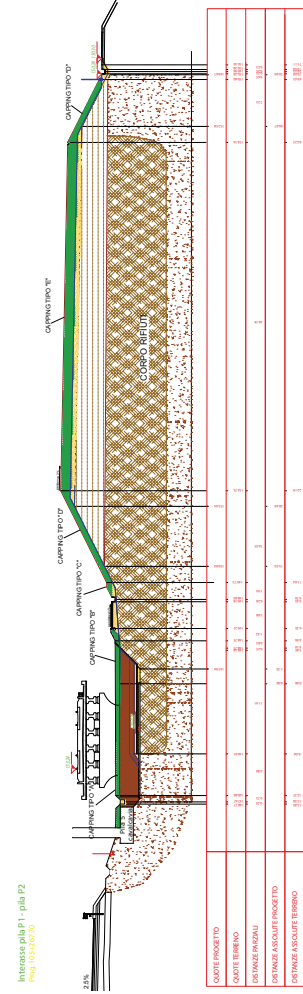
Definito spessore, coefficiente di permeabilità, e gradiente idraulico, è possibile risalire al valore di portata specifica drenabile dallo strato naturale in termini di $l/s/m$.

Parallelamente le performances idrauliche di uno strato dre- nante geosintetico vengono desunte dai valori riportati in scheda tecnica, correlando il dato in base al valore di gra- diente idraulico e pressioni di confinamento applicato sul materiale.

Soluzione adottata per lo strato drenante del biogas
La normativa prevede la posa in opera di uno strato di 50 cm di ghiaia. Nel caso specifico lo strato drenante in corri-

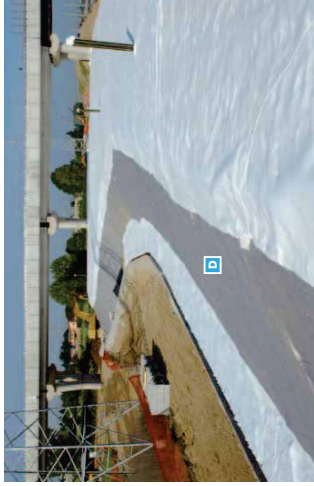
CAPPING TIPO "D": DUNA - SCARPATA





spondenza del piano orizzontale è stato realizzato con materiale granulare, mentre per il tratto in pendenza (scarpata esterna) è stato utilizzato un geocomposito drenante da 8 mm di spessore tipo QDrain ZW8 75 14P.

L'anima drenante interna del prodotto è ottenuta per estrusione di monofilamenti di PP; la struttura geometrica che viene impartita è a canali paralleli, con geotessile non tessuto in PP da 140 gr/mq su entrambi i lati.

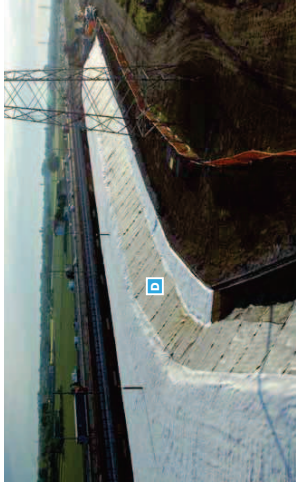


Fasi di installazione del drenaggio biogas con QDrain **b**. Lo strato di captazione del biogas è stato collocato lungo la scarpata esterna dell'impianto, garantendo maggiore velocità di posa e stabilità superiore del sistema lungo il piano inclinato

Soluzione adottata per lo strato drenante delle acque meteoriche

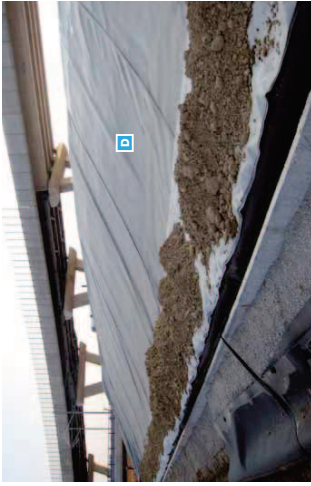
Una volta realizzato lo strato di captazione del biogas è stata posata una geomembrana in HDPE dello spessore di 2 mm, per garantire un'adeguata tenuta idraulica del sistema di copertura. Lo strato successivo che si è quindi dovuto prevedere era rappresentato dallo strato di captazione delle acque meteoriche.

Al posto di uno strato di 50 cm di ghiaia è stato posizionato un secondo geocomposito drenante tipo QDrain ZW8 75 14P e caratteristiche idrauliche del geocomposito sono



Visione d'insieme del tratto di discarica per cui è stata prevista l'installazione del geocomposito drenante QDrain **b** per la captazione del biogas lungo la scarpata

circa 15 volte superiore al rendimento dello strato di ghiaia. Ipotizzando una ghiaia con permeabilità 10^{-3} m/s e uno spessore pari a 50 cm, con un gradiente idraulico pari a 0,04, la ghiaia per la legge di Darcy presenta una capacità idraulica pari a 2×10^{-5} m³/s m equivalenti a 2×10^{-2} l/sm.



Fasi di installazione del drenaggio delle acque meteoriche con QDrain **b**

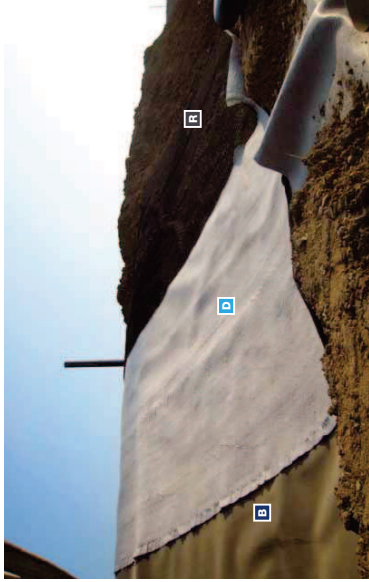
Il geocomposito drenante a pressione di confinamento pari a 50 kPa e gradiente idraulico pari a 0,04 dichiara un valore pari a 0,3 l/sm.

Strato di rinforzo inserito tra lo strato drenante sintetico e il terreno vegetale

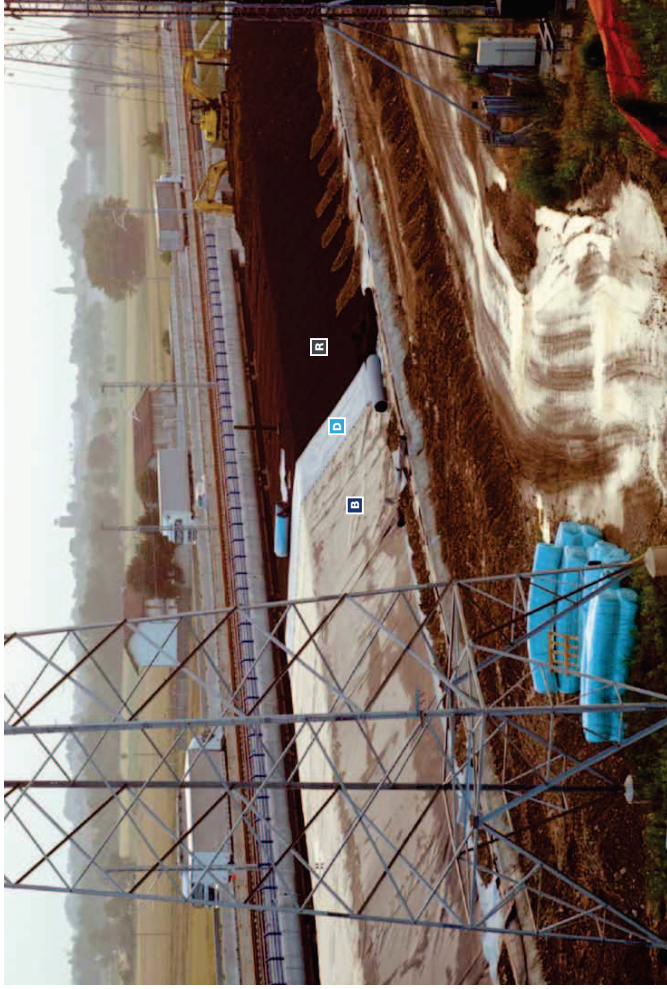
Un problema che può effettivamente accadere quando si installano dei sistemi geosintetici in discarica è la stabilità del terreno di coltivo previsto sopra gli strati artificiali.

Per risolvere tale contrattempo, è possibile mediante algoritmi di calcolo all'equilibrio limite dimensionare degli strati di rinforzo che, posti all'interfaccia tra lo strato drenante acque meteoriche e il terreno di copertura finale, garantiscono migliori condizioni di stabilità al pacchetto.

In questo caso specifico è stata installata una geostuoia ad elevato indice di vuoti accoppiata ad una geogriglia in PET tessuta avente una resistenza nominale pari a 80 kN/m.



Sopra alla geomembrana in HDPE **b** è stato installato il geocomposito drenante QDrain **b** per il drenaggio delle acque meteoriche. Sopra quest'ultimo è stata prevista la posa di una geostuoia rinforzata XGrid **R** per migliorare l'attrito all'interfaccia con il terreno di riporto



La geostuoia rinforzata XGrid **a** viene collocata sopra lo strato drenante sintetico QDrain **b** per migliorare le condizioni di attrito all'interfaccia e garantire migliori condizioni di stabilità allo scivolamento del pacchetto di copertura. Il geocomposito drenante per il drenaggio delle acque meteoriche è stato installato sopra ad una geomembrana in HDPE **b**



Case histories

Campo di applicazione:	Drenaggio delle acque meteoriche in discarica	FUNZIONE	CAMPO DI APPLICAZIONE
Titolo:	Realizzazione dello strato drenante per la raccolta delle acque meteoriche in un capping di una discarica di RSU esaurita		BACINI IDRICI
			CANALI
			RILEVATI STRADALI
			RILEVATI FERROVIARI
Località:	Veneto		DISCARICHE
			SISTEMI DI DRENAGGIO
Periodo:	2007		FONDAZIONI/ OPERE DI SOSTEGNO

Premessa

Alla luce della presente normativa sulle discariche di rifiuti (D. lgs. 36/2003) lo strato drenante per le acque meteoriche è costituito da un riparto di 50 cm di ghiaia naturale. Il problema di dover realizzare lo strato drenante anche lungo le scarpate a volte molto inclinate ha suggerito negli ultimi anni l'utilizzo di nuovi materiali che, oltre a garantire una maggiore prestazione in termini idraulici (maggiori valori di capacità idraulica), offrono anche maggiori garanzie dal punto di vista della costanza ed omogeneità del dato idraulico per tutta l'area su cui vengono installati.

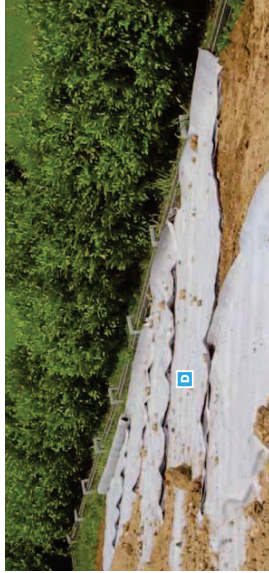
Soluzione adottata

La soluzione che è stata adottata, in deroga al Decreto legge 36/2003, ha previsto l'utilizzo di un geocomposito drenante da 20 mm di spessore tipo QDrain C20P.

L'anima drenante interna del prodotto è ottenuta per estrusione di monofilamenti di PP: la struttura geometrica che viene impartita è a doppia cuspidi, garantendo omogeneità e quindi isotropia di prestazione idraulica al prodotto. Visti i carichi contenuti a cui il QDrain C20P sarà sottoposto nel corso della sua vita utile di progetto, si è optato per questo tipo di materiale in quanto risultava un buon compromesso in termini di costi / benefici.



Fase di installazione del geocomposito drenante per il drenaggio delle acque meteoriche QDrain C20 P. Il prodotto sarà interrato sotto 1 m di terreno vegetale



Particolare dei teli in prossimità della fascia perimetrale della discarica



Fase di posa del geocomposito per il drenaggio delle acque meteoriche QDrain C20P

Case histories

Campo di applicazione:	Capping geosintetico di una discarica di RSU	FUNZIONE	CAMPO DI APPLICAZIONE
			BACINI IDRICI 
			CANALI 
TITOLO:	Posa in opera dello strato di rinforzo geosintetico nel capping di una discarica di RSU		RILEVATI STRADALI 
			RILEVATI FERROVIARI 
			DISCARICHE 
Località:	Ravenna		SISTEMI DI DRENAGGIO 
Periodo:	2008		FONDAZIONI/OPERE DI SOSTEGNO 

Premessa

Il sistema di copertura definitivo di una discarica di rifiuti solidi urbani, siano essi pericolosi, non pericolosi o inerti, è definito all'interno del D. lgs. 36/2003, emanato in recepimento della direttiva comunitaria 33/1999/CE.

La stratigrafia prevede la successione di una serie di strati naturali, ciascuno dei quali riveste una funzione ben specifica.

Quando il pendio finale è molto inclinato, il progettista ha necessità di inserire degli elementi di supporto sintetico aventi funzione di rinforzo che siano in grado di ridurre le sollecitazioni trasmesse agli strati sottostanti, in particolare se questi sono dei materiali geosintetici.

In questo caso infatti, a contatto con l'ultimo strato di copertura (strato vegetale di 1 m di spessore) è stato previsto un drenaggio geosintetico.

Il sistema geosintetico inserito con funzione di strato drenante delle acque meteoriche potrebbe rappresentare una superficie di potenziale scorrimento o essere eccessivamente sollecitato dal sistema dei carichi esterni ad esso applicati. Si rendeva quindi necessario studiare una soluzione che potesse rendere il sistema di copertura sicuro dal punto di vista di potenziale fenomeni traslativi.

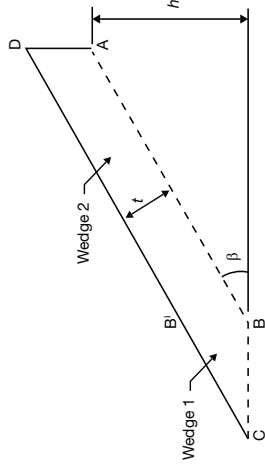
Soluzione adottata per lo strato di rinforzo

All'interfaccia tra strato drenante sintetico e terreno di copertura definitivo è stata inserita una geostuola rinforzata. Per verificare tecnicamente che l'elemento sintetico di rinforzo fosse adeguato, si è analizzato il problema secondo la

teoria dell'equilibrio limite.

L'algoritmo di calcolo che si è adottato è tratto dall'articolo J.P. Giroud, N.D. Williams, T. Pelte, J.F. Beech, *Stability of geosynthetic-soil layered systems on slopes*, 1995.

Il pendio lungo il quale è prevista la posa dell'elemento sintetico di rinforzo viene discretizzato dal modello in due parti: cuneo attivo e passivo.



I dati di input che vengono richiesti sono di diversa natura: relativi al terreno di ricoprimento, alla geometria del pendio e alle caratteristiche tecniche dei materiali geosintetici impiegati.

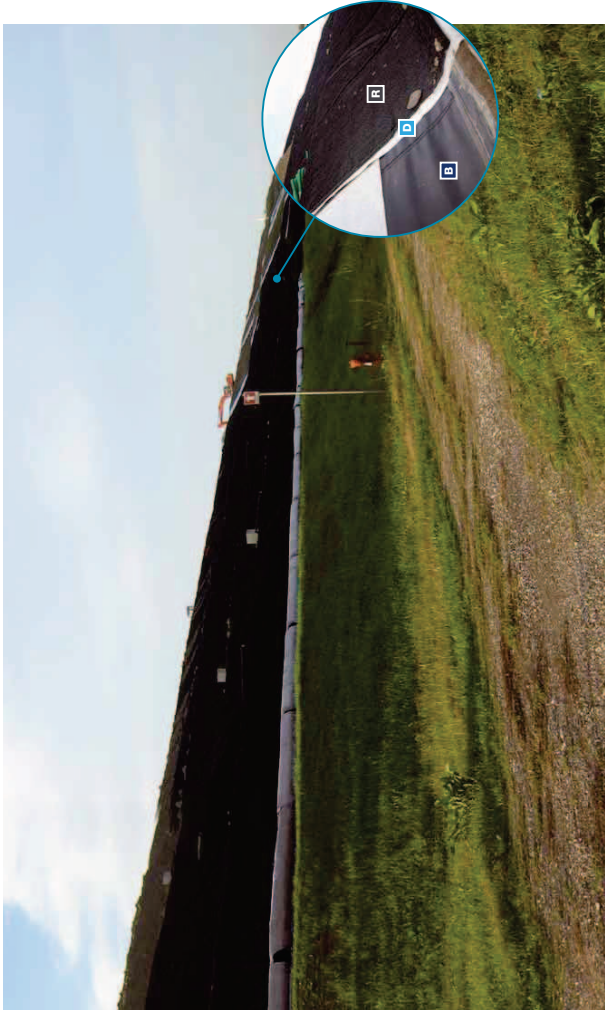
A) dati relativi al terreno

t _{terr} =	0,30	[m]	spessore del terreno
γ _{terr} =	18,00	[kN/m ³]	peso specifico del terreno
c _{terr} =	0,00	[kPa]	coesione del terreno
φ =	28,00	[°]	angolo di attrito del terreno
sen(φ) =	0,47		seno dell'angolo di attrito del terreno
cos(φ) =	0,88		coseno dell'angolo di attrito del terreno
c _a =	0,00	[kPa]	coefficiente di adesione lungo il piano AB
δ =	20,00	[°]	angolo di attrito all'interfaccia GSY/terreno
sen(δ) =	0,34		seno dell'angolo di attrito all'interfaccia
cos(δ) =	0,94		coseno dell'angolo di attrito all'interfaccia

B) dati relativi alla geometria del versante

H =	3,50	[m]	altezza della scarpata
β =	25,00	[°]	inclinazione della scarpata
L = H/sen(β) =	8,28	[m]	lunghezza della scarpata
sen(β) =	0,42		seno dell'angolo di inclinazione della scarpata
cos(β) =	0,91		coseno dell'angolo di inclinazione della scarpata
cos(β-φ) = cos(φ) * cos(β) - sen(φ) * sen(β) =	0,60		

Introdotti i dati di input, il modello è in grado di fornire in output il fattore di sicurezza associato al rinforzo inserito, valutando il livello di sicurezza complessivamente attribuito al sistema di copertura.



Fasi di installazione dello strato sintetico di rinforzo **B**: la posa avviene direttamente sopra il geocomposito drenante **D** + geostuola **B** in HDPE **B**.



Bibliografia

R.M. Koerner - T.Y. Soong

Analysis and design of veneer cover soils, proceedings of the sixth international conference on geosynthetics. Roseville, MN, IFAI, 1998, pp 1-26.

R.M. Koerner

Designing with Geosynthetics. 4th Edition, Prentice Hall. New Jersey, USA 1998.

J.P. Giroud - A. Zhao - G.N. Richardson

Effect of Thickness reduction on Geosynthetic Hydraulic Transmissivity. Geosynthetic International, 2000.

J.P. Giroud - J.G. Zornberg - A. Zhao

Hydraulic Desing of Geosynthetic and Granular Liquid Collection Layers. Geosynthetic International, 2000.

G.N. Richardson - J.P. Giroud - A. Zhao

Design Manual of Lateral Drainage Systems for Landfills. 2000.

G.N. Richardson - A. Zhao

Gas Transmission in Geocomposite Systems. Geotechnical Fabrics Report, March, 2000, pp. 20-23.

P. Rimoldi

Transmissivity and flow-rate of geosynthetic drainage products. Tenax Technical Report, 1989.

R.S. Thiel

Design Methodology for a Gas Pressure Relief Layer Below a Geomembrane Landfill Cover to Improve Slope Stability. Geosynthetic International, 1998, Vol. 5, No. 6 pp. 589-617.

M.A. Nart

Rinforzo e drenaggio dei terreni con i geosintetici, EPClibri srl, Roma, 2007.



Tema: tecnologie e materiali per l'edilizia e l'ambiente.



Nella realizzazione di opere edilizie e interventi di ingegneria ambientale esistono fondamentalmente due aspetti: quello visibile, in gran parte estetico, e quello non visibile, che coinvolge elementi strutturali, di protezione, mantenimento e sicurezza. Di quest'ultimo aspetto si occupa **Tema** da oltre 10 anni distinguendosi sia per le soluzioni applicative originali (in numerosi casi fortemente competitive) che per le innovazioni tecnologiche e l'utilizzo di nuovi materiali.

Tema si avvale di un moderno sistema produttivo con stabilimenti in Italia, Spagna, Turchia, Romania e Russia. Opera quotidianamente in oltre 60 paesi dove è protagonista nel mercato con soluzioni e prodotti per il drenaggio e l'isolamento nei settori dell'edilizia residenziale e civile.

Altrettanto importanti sono le innovative soluzioni ideate appositamente per le grandi opere d'intervento ambientale: **Tema** propone infatti la più vasta e completa gamma di geocomposti drenanti e geostuoie tridimensionali antierosione.

Tema si caratterizza inoltre per la continua ricerca di nuovi prodotti, il coinvolgimento attivo di progettisti e imprese, l'affiancamento ai clienti nelle fasi progettuali e realizzative.

In copertina: capping con materiali geosintetici di una discarica di RSU a Milano

TeMa Technologies and Materials srl
via dell'Industria 21
31029 Vittorio Veneto (TV) ITALY
Tel. +39 0438 5031
fax +39 0438 503462
e-mail: info@temacorporation.com
www.temacorporation.com

Ufficio tecnico divisione geosintetici
corso del Popolo 56
20056 Seregno (MI) ITALY
Tel. +39 0362 245179
Fax +39 0362 242256
e-mail: tecnico@temageo.com
www.temageo.com

Tema North
142641 (FR) Moskovskaja obl.
Orehovo-zuevskij r-n
d. Davydovo
ul. Zavodskaja
Tel. /fax: +7(4964) 174204.

Tema Ibérica S.I.
C/Bélgica
Pol. Ind. de Rossanes
08769 Castellví de Rossanes
España

Tema Med Ltd.Sti.
Ege Serbest Bolgesi Mumtaz
Sok. No:23
35410 Gaziemir/Izmir Turkiye
Tel. +90 232 252 04 24
Fax +90 232 252 16 44