





## Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

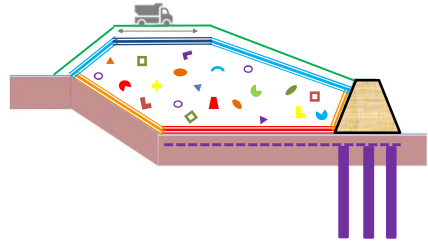
### Esempi applicativi e approccio progettuale

Ing. Alberto Simini  
HUESKER Italia




## Soluzioni con geosintetici

- Geosintetici nelle barriere di fondo
  - Barriera orizzontale
  - Barriera inclinata
- Geosintetici nelle barriere di copertura
  - Barriera orizzontale
  - Barriera inclinata
- Argini e pareti in terra rinforzata
- Applicazioni correlate
  - Portanza dei rilevati
  - Controllo dell'erosione
  - Rinforzo aree carreggiabili



# 23/04/2024
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche
2

## Pacchetto barriera di copertura

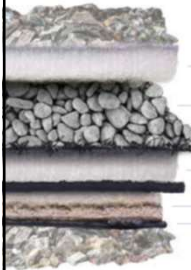


### Barriera di copertura: sezione tipo

- Terreno di copertura
- Fortrac 3D (geogriglia di rinforzo per scarpate inclinate)
- Geocomposito drenante (per il drenaggio dell'acqua piovana)
- Geomembrana
- Tektoseal Clay / NaBento
- Geocomposito drenante (per il drenaggio del biogas)
- Strato di regolarizzazione

#
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Pacchetto barriera intermedia

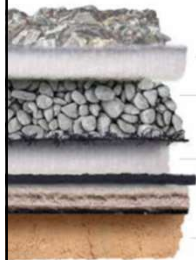


### Barriera intermedia: sezione tipo

- Geotessile non tessuto
- Strato drenante
- Fortrac 3D (geogriglia di rinforzo per scarpate inclinate)
- Geotessile non tessuto
- Geomembrana
- Tektoseal Clay / NaBento
- Fortrac (geogriglia di rinforzo per uniformare gli assestamenti)

#
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Pacchetto barriera di fondo



### Barriera di fondo: sezione tipo

- Geotessile non tessuto
- Strato drenante
- Fortrac 3D (geogriglia di rinforzo per scarpate inclinate)
- Geotessile non tessuto
- Geomembrana
- Tektoseal Clay / NaBento
- Strato minerale



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discariche - Impermeabilizzazione

### Geocompositi Bentonitici versus strati di argilla:



- GCL = Geosynthetic Clay Liner
- La permeabilità di un geocomposito bentonitico (valore tipico  $k = 5 \times 10^{-11}$  m/s) è circa 1000 volte minore rispetto allo strato di argilla naturale (con  $k = 5 \times 10^{-8}$  m/s valore richiesto D.Lgs. 3 settembre 2020, n 121 per le barriere geologiche con strato minerale di 50 cm di spessore)
- I GCL permettono di sostituire gli strati di argilla naturale occupando meno volume (guadagno di  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  di superficie in copertura)
- Con un carico di geocomposito bentonitico da  $5 \text{ kg}/\text{m}^2$  si possono coprire circa  $4.000 \text{ m}^2$  di superficie, equivalente a circa 130 camion di argilla naturale
- A differenza dell'argilla naturale, essendo un prodotto industriale, le caratteristiche dei GCL sono costanti su tutta la superficie
- Gli strati di argilla naturale presentano difficoltà ad essere adeguatamente compattati lungo le scarpate delle discariche e ad ottenere il grado ottimale di umidità su tutta la superficie durante la compattazione



23.04.2024

Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

6

## Discarica di Cordele (BL)

- Geocomposito bentonitico: NaBento RL-N



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Cordele (BL)

- Geocomposito bentonitico: NaBento RL-N



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Cordenons (PN)

- Geocomposito bentonitico: Tektoseal Clay NA 5000 GRK3



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Cordenons (PN)

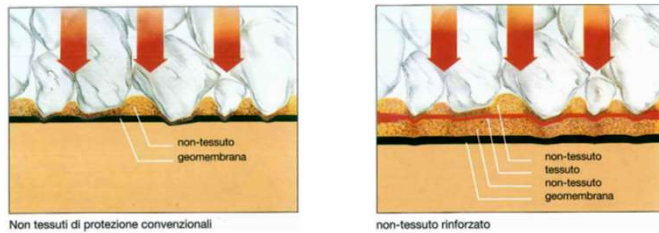
- Geocomposito bentonitico: Tektoseal Clay NA 5000 GRK3



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Test per gli startidi protezione

- Effetto di protezione dei geotessili non tessuti vs. geocompositi



Non tessuti di protezione convenzionali

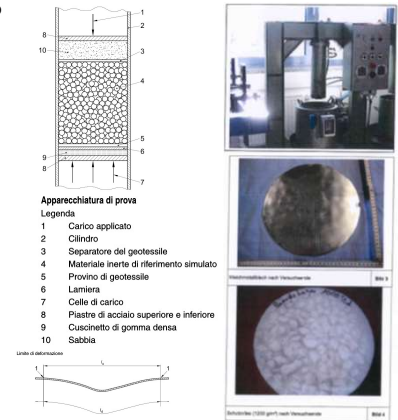
non-tessuto rinforzato

- La prova CBR (punzonamento statico con cilindro da 5 cm di diam.) fornisce un valore indice di resistenza al punzonamento ma non riflette il comportamento reale di uno strato di protezione

Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Test per gli strati di protezione

- Determinazione dell'efficacia della protezione a lungo termine di geotessili in contatto con geotessili con funzione barriera (UNI EN 13719:2004)**
- L'apparecchiatura si può condizionare con i seguenti parametri:
  - Tipo di inerte (artificiale/reale)
  - Geosintetico di protezione
  - Geomembrana
  - Pressione (fino a 1400kN/m<sup>2</sup>)
  - Temperatura
  - Umidità
- La durata della prova può essere fissata (fino ad un max. di 1000 ore)
- Deformazione ammissibile misurata su lamina sottile metallica

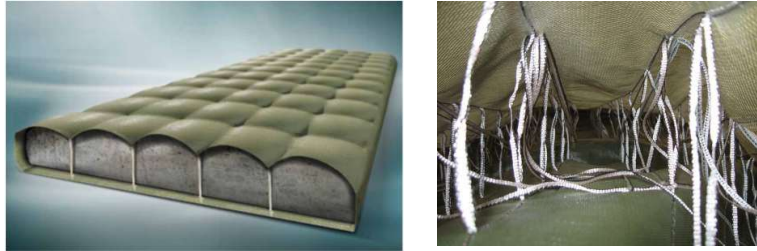


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



## Discarica di Ischia Podetti (TN)

**Applicazione:** Protezione membrana impermeabile  
**Materiale:** Materasso flessibile iniettabile Incomat Stan



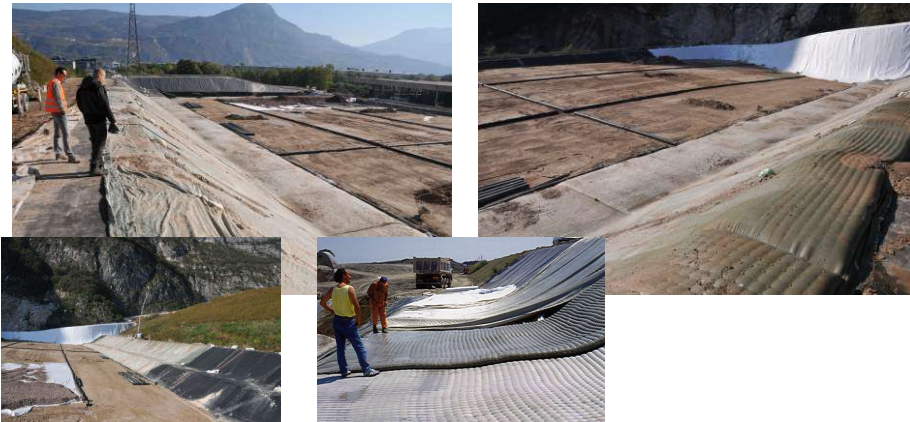
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Ischia Podetti (TN)



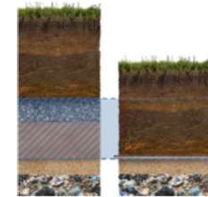
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Ischia Podetti (TN)



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discariche - Drenaggio



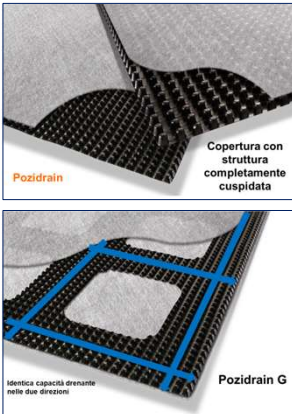
### Geocompositi drenanti versus strati drenanti di inerti:

- Da un punto di vista della capacità drenante, **ogni strato drenante di inerti di 50 cm di spessore può essere sostituito efficacemente con un geocomposito drenante di 4-6 mm di spessore**
- Quindi, se consideriamo 50 cm di strato di captazione del biogas sotto la barriera impermeabile più 50 cm di strato drenante delle acque meteoriche sopra, con l'utilizzo dei geocompositi drenanti è possibile **guadagnare circa 1 m<sup>3</sup> per ogni m<sup>2</sup> di copertura**.
- **In un camion si possono trasportare circa 10.000 m<sup>2</sup> di geocomposito drenante**, con i quali si possono realizzare 5.000 m<sup>2</sup> di capping a doppio strato drenante. Per coprire la stessa superficie sarebbero necessari **circa 330 camion di materiale drenante inerte**.
- Gli strati drenanti in ghiaia richiedono un filtro separatore e uno strato di protezione della membrana addizionali
- I geocompositi drenanti possiedono il proprio filtro e fungono anche da elemento di protezione delle geomembrane in HDPE.
- A differenza della ghiaia, i **geocompositi drenanti possono essere facilmente posati su superfici inclinate lisce**
- **Geocompositi drenanti con un lato impermeabile, costituiscono un'ulteriore barriera secondaria che rafforza la barriera impermeabile principale**
- **In questa applicazione dove il flusso proviene da un lato non è necessario il doppio filtro.**



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

### Discariche - Drenaggio



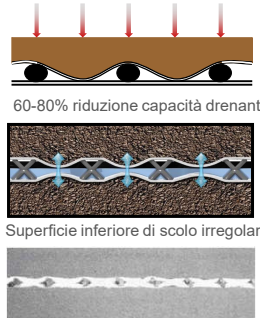
**Geocompositi drenanti cuspidati**

- Struttura costituita da un geotessile filtrante accoppiato ad una struttura cuspidata drenante
- Le cuspidi sono resistenti alle pressioni di esercizio a lungo termine (resistenza alla compressione e compressive creep)
- Le cuspidi sono ravvicinate per limitare l'effetto di intrusione del geotessile
- La struttura cuspidata consente elevata capacità drenante in tutte le direzioni
- La versione a fondo pieno offre un effetto barriera secondario
- La versione a maglia reticolare consente la compenetrazione del terreno nelle finestre interne per aumentare l'effetto di incastro con il terreno (idoneo sulle superfici in pendenza)

Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche 17

### Geocompositi drenanti - prestazioni

**Strutture con nervature romboidali**



60-80% riduzione capacità drenante

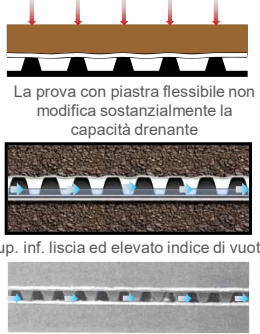
Superficie inferiore di scolo irregolare

Fotografia: intrusione del geotessile

**Struttura cuspidata**

100kPa

La prova con piastra flessibile non modifica sostanzialmente la capacità drenante



Sup. inf. liscia ed elevato indice di vuoti


Fotografia: minima intrusione geotessile

**EFFETTO DELLA PRESSIONE TRASMESSA ATTRAVERSO SUPERFICI MORBIDE**

Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche 18

### Geocompositi drenanti

#### Determinazione della capacità drenante UNI EN ISO 12958



Nota 2

d) Le superfici a contatto con il provino devono essere costituite da materiali elastomerici a cella chiusa, le cui proprietà rispettano la curva carico-deformazione illustrata nella figura 1, quando sottoposte a prova secondo la EN 964-1.

Per provini aventi spessore massimo pari a 10 mm devono essere usati, su entrambe le facce, materiali elastomerici con spessore nominale di 10 mm.

Per provini aventi spessore compreso fra 10 mm e 25 mm, devono essere usati, su entrambe le facce, materiali elastomerici aventi spessore nominale compreso tra 1 e 1,25 volte lo spessore del provino.

Per provini con spessore maggiore di 25 mm, i materiali elastomerici devono avere uno spessore nominale di 25 mm su entrambe le facce.

Lo spessore necessario può essere ottenuto accoppiando due strati di materiale elastomerico.

I materiali elastomerici utilizzati devono avere larghezza uguale a quella della piastra di carico. La lunghezza del materiale elastomerico dovrebbe di regola essere la stessa della piastra di carico. Tuttavia, per evitare l'ostruzione sia all'ingresso sia all'uscita a causa della compressione del materiale elastomerico, si raccomanda, ove necessario, ridurre la lunghezza di un valore pari a 0,4 volte lo spessore nominale del materiale elastomerico stesso.

Quando i prodotti affini da sottoporre a prova sono stati progettati per svolgere le proprie funzioni idrauliche a contatto di superfici rigide, non dovrebbero essere utilizzate membrane elastomeriche, ma dovrebbero essere sostituite da un materiale adeguato, per esempio membrane rigide di polietilene ad alta densità o pannelli di calcestruzzo. I prodotti che vengono utilizzati per tali applicazioni possono essere facilmente identificati per la mancanza del geotessile filtrante per impedire l'intrusione del terreno, in quanto non sono generalmente posti a diretto contatto con il terreno.

Quando non sono stati utilizzati strati di materiale elastomerico, nel rapporto di prova dovrebbe essere incluso il tipo di materiale utilizzato a contatto con il campione.

« Le prove devono essere sempre fatte con piastre morbide. È ammesso l'utilizzo di piastra rigida se l'applicazione specifica lo consente e, in tale caso, deve essere esplicitamente dichiarato nel report di prova. Quindi, tutti i valori di capacità drenante riportati nelle schede tecniche di tutti i geocompositi drenanti dovrebbero essere ottenuti con le piastre morbide»

Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

### Geocompositi drenanti versus strati in ghiaia

#### Lo spessore equivalente

Capacità drenante  $Q = k \cdot i \cdot A$        $K = \text{coeff. permeabilità}; i = \text{gradiente idraulico}; A = \text{area trasversale}$

Condizioni per ottenere lo spessore equivalente tra strato di ghiaia e geocomposito drenante:

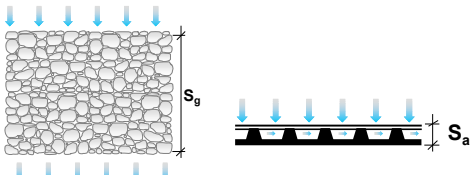
$$\begin{cases} Q_g = Q_{\text{geocomp}} \\ i_g = i_{\text{geocomp}} \end{cases}$$

Considerando:

- $Q_{\text{geoc}} = 0,5 \text{ l/m/s}$  capacità drenante Pozidrain 6mm con pressione 20 kPa e  $i = 0,1$  (-6°)
- $Q_g = \text{capacità drenante della ghiaia (m}^3/\text{s)}$
- $k_{\text{geoc}} = 0,82 \text{ m/s}$  coefficiente di permeabilità del Pozidrain
- $k_g = 10^{-3} \text{ m/s}$  coefficiente di permeabilità della ghiaia
- $L_{\text{geoc}} = L_g = L = \text{larghezza unitaria} = 1 \text{ m}$
- $s_{\text{geoc}} = 0,0061 \text{ m}$  spessore del Pozidrain
- $s_g = \text{spessore dello strato di ghiaia (m)}$

Capacità drenante della ghiaia per uno spessore di 0,5m:

$$Q_g = 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,05 \text{ l/m/s}$$

$$s_g = \frac{k_{\text{geoc}}}{k_g} \cdot s_{\text{geoc}} \Rightarrow s_g = \frac{0,82}{10^{-3}} \cdot 0,0061 = 5 \text{ m}$$


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Geocompositi drenanti



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

22

## Discarica Busta di Montebelluna



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

22

## Discarica Busta di Montebelluna

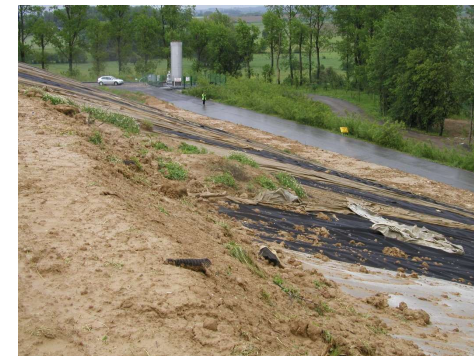


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

23

## Rinforzo antiscivolamento

Nelle coperture delle discariche è comune **coprire le geomembrane con uno strato di terreno**. Dovuto alla **resistenza al taglio molto bassa tra il terreno di copertura e le superfici lisce inclinate**, il terreno tende a scivolare giù.

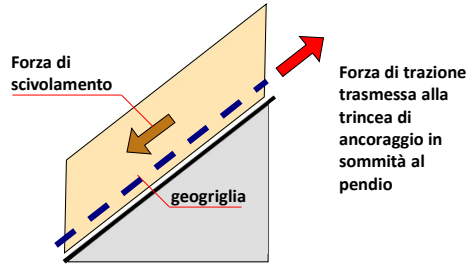


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



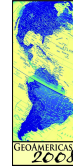
### Rinforzo antiscivolamento

Un modo di ottenere la stabilità consiste nel posizionare una **geogriglia idonea** lungo la superficie capace di **riprendere le forze di scivolamento** e di trasmetterle in una **trincea di ancoraggio** opportunamente dimensionata, posizionata in sommità della scarpata.

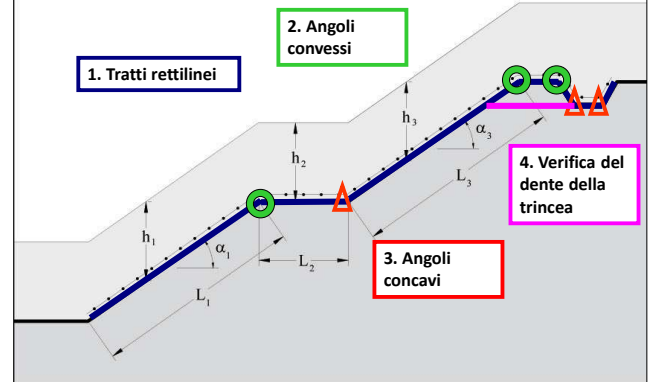


### Metodo di calcolo

Design method for cover soil stability of lined multi slope/berm systems using continuous geogrid reinforcement  
Luis E. Russo

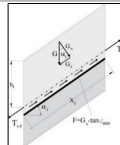


Lo sviluppo delle forze di trazione nella geogriglia, lungo il profilo della scarpata e nella trincea di ancoraggio, si analizza prendendo in considerazione **4 situazioni locali**:



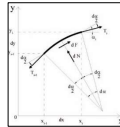
### Metodo di calcolo

Trattii rettilinei



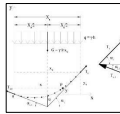
$$T_i = (\gamma_{sat} / \gamma_r) \cdot h \cdot x \cdot (\gamma_{G,da} \cdot \text{sen} \alpha - \gamma_{G,ab} \cdot \text{cos} \alpha \cdot \frac{\tan \phi_{min}}{\gamma_r}) + T_{i-1}$$

Angoli Convessi



$$T_i = \frac{T_{i-1}}{e^{(\tan \phi_{min} \cdot \Delta \theta) / \gamma_r}}$$

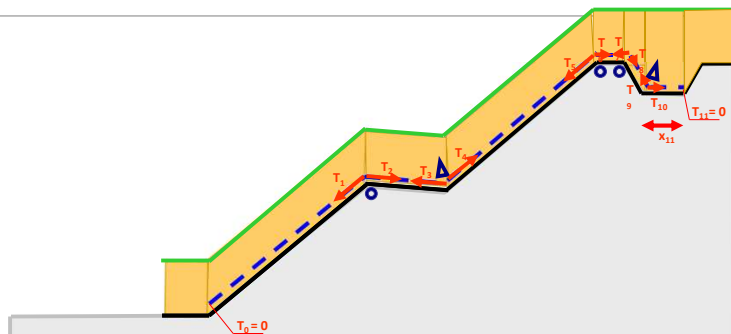
Angoli concavi (Sollevamento)



$$T_i = \frac{\text{cos} \alpha_{i-1}}{\text{cos} \alpha_i} \cdot T_{i-1} \quad u = \frac{\gamma \cdot h \cdot x_u^2}{8 \cdot T_{i-1} \cdot \text{cos} \alpha_{i-1}}$$

$$x_u = \frac{T_{i-1}}{\gamma \cdot h} \cdot (\text{cos} \alpha_{i-1} \cdot \tan \alpha_i + \text{sen} \alpha_{i-1})$$

### Metodo di calcolo



Metodo di calcolo

Controllo:

Se prima dell'angolo concavo  $T_{i-1} > 0 \rightarrow$  controllare il sollevamento, altrimenti fissare la tensione successiva  $T_i = 0$

## Rinforzo antiscivolamento

- Trasferimento delle tensioni dal terreno alla geogriglia attraverso la struttura tridimensionale e/o attraverso l'incastro
- La geogriglia tridimensionale di rinforzo deve essere continua lungo tutto il profilo
- La geogriglia di rinforzo minimizza il trasferimento di tensioni alla membrana



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

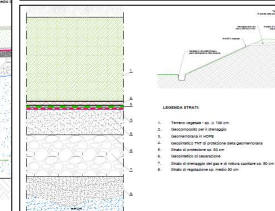
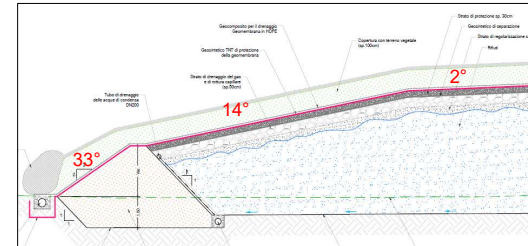
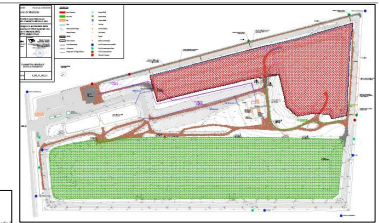


## Discarica di Medolla

### Rinforzo antiscivolamento



Studio Tecnico  
Associato inGeco  
P. Ita Btg Alpini Verona, 7/C - 37060 Sona (VR)  
Tel: 045-8680589; Fax: 045-8699638  
E-mail: info@ingecogroup.it  
Dott. Ing. Marco Torresani

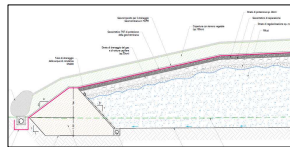


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Medolla

### Rinforzo antiscivolamento

- Soluzione proposta: Fortrac 3D 150 ed eliminazione della scogliera al piede
- Il progettista e collaudatore fissarono una deformazione massima ammissibile a 120 anni non superiore al 5% ( $\epsilon \leq 5\%$ )
- Calcolo effettuato secondo SLU e SLE
- Impossibilità di realizzare trincee di ancoraggio (lunghezza di ancoraggio in sommità della membrana 26,5 m)
- Superficie: 43.000 m<sup>2</sup>

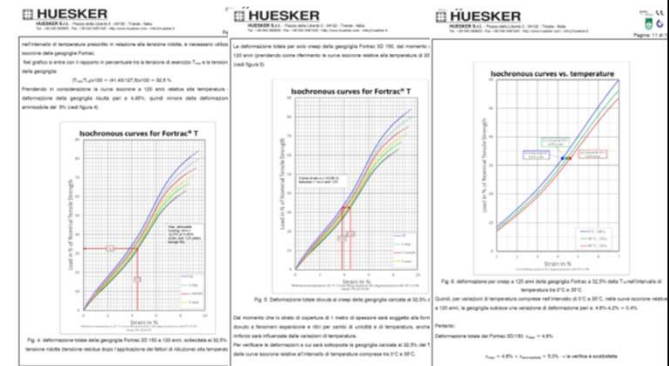


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



## Discarica di Medolla

- Materiale: Fortrac 3D 150
- Deformazione massima ammissibile a 120 anni della geogriglia in qualsiasi condizione  $\epsilon \leq 5\%$
- Deformazione del Fortrac 3D 150:
  - Totale a 120 anni  $\epsilon = 4,45\%$  (curva isocrona a 20°)
  - Solo per creep tra 1 ora e 120 anni  $\epsilon = 0,68\%$
  - Totale considerando variazione della temperatura tra 0° e 35°  $\epsilon = 4,6\%$



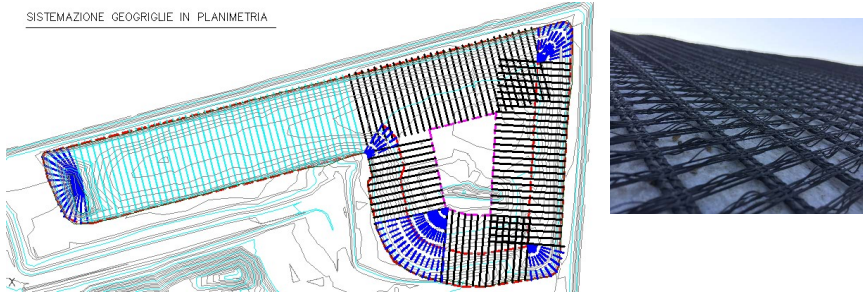
Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



## Discarica di Medolla

- ▣ Disegno con la disposizione precisa dei teli di rinforzo
- ▣ Determinazione della lunghezza necessaria per ogni telo di rinforzo
- ▣ Produzione di rotoli su misura codificati per facilitare l'identificazione in cantiere

SISTEMAZIONE GEOGRIGLIE IN PLANIMETRIA



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

33

## Discarica di Medolla



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

34

## Discarica di Medolla

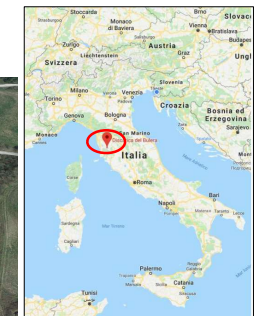
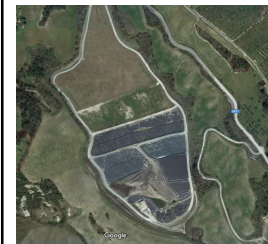


Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

35

## Discarica di Bulera – Il progetto

- ▣ La discarica della Bulera, del gruppo SCL Ambiente, si trova nel comune di Larderello in provincia di Pisa
- ▣ Il progetto consiste nell'**ampliamento della discarica esistente**, mediante l'apporto di nuovo volume di rifiuti sulla discarica esistente per ulteriori 640.500 m<sup>3</sup>.
- ▣ Tipo di rifiuto: classificato come "rifiuto pericoloso" (tossico) e "rifiuto non pericoloso con basso contenuto organico"



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

12

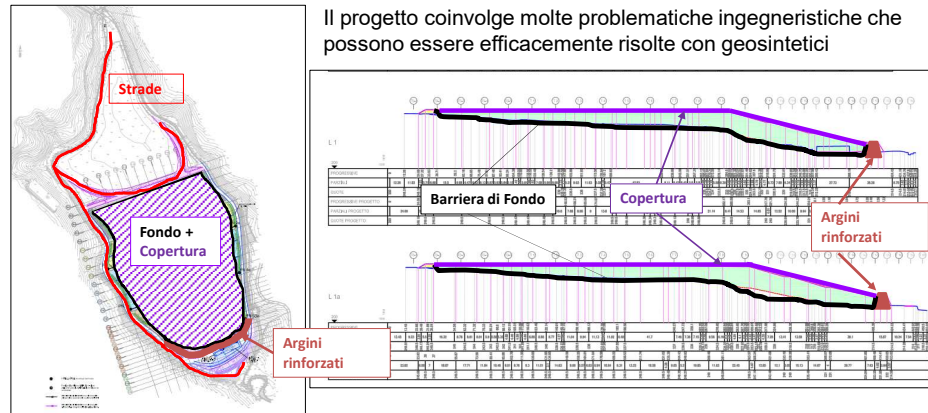
## Diapositiva 36

---

12

l.russo; 17/03/2019

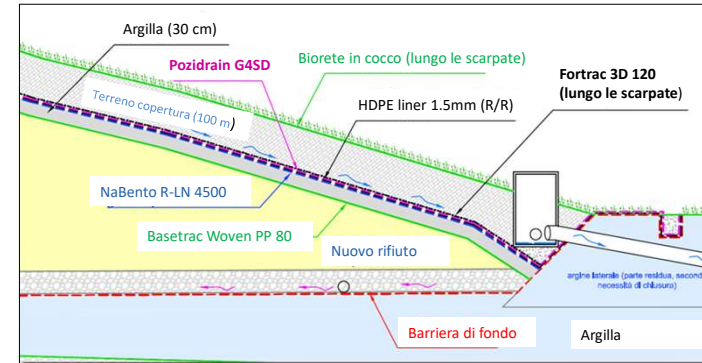
## Discarica di Bulera – il progetto



Il progetto coinvolge molte problematiche ingegneristiche che possono essere efficacemente risolte con geosintetici

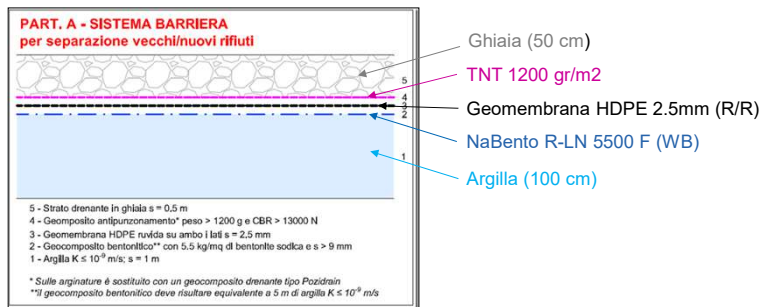
## Discarica di Bulera – La soluzione

### Capping



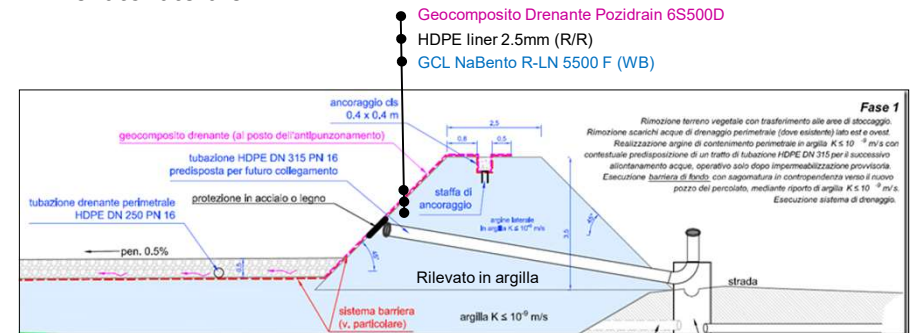
## Discarica di Bulera – La soluzione

### Barriera di fondo



## Discarica di Bulera – La soluzione

### Rilevato laterale





## Discarica di Bulera

Vista panoramica da monte



📍 Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

Geocomposito bentonitico Nabento RL-N irruvidito in superficie



📍 Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

Geocomposito drenante e di protezione sulle sponde e geotessile non tessuto di protezione sul fondo



📍 Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

Copertura del fondo con strato granulare drenante



📍 Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera – La soluzione

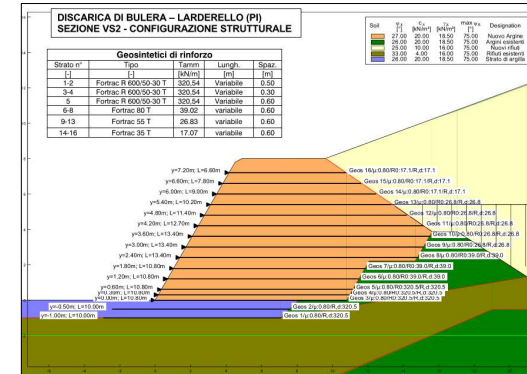
Geogriglia antiscivolamento Fortrac 3D su scarpata di rilevato



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

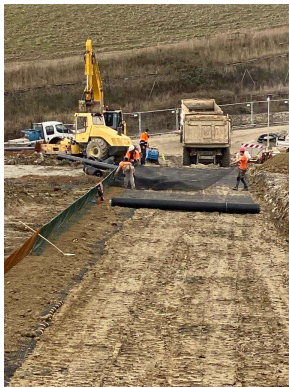
Terra rinforzata (GRS: Ground Reinforced Soil)



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

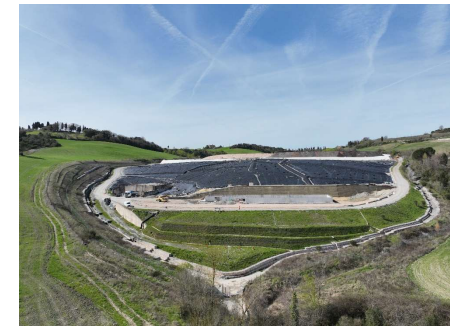
Terra rinforzata



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

Terra rinforzata



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



## Discarica di Bulera

Rete antierosione biodegradabile in cocco Bionet HC 70



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica di Bulera

Panoramica delle prime celle finite



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Colonne portanti in sabbia incapsulata

RINGTRAC

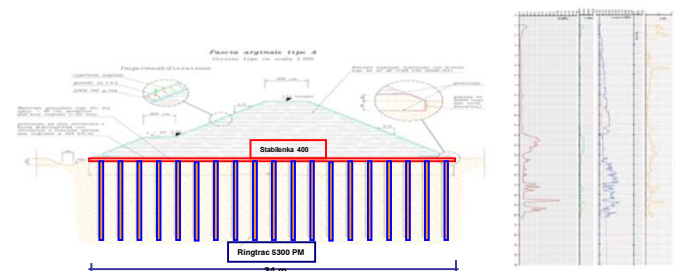
GEC:  
Geotextile  
Encased  
Columns



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche

## Discarica Ca' Rossa (VE)

- Applicazione:** Rilevato arginale fondato su pali portanti in sabbia incapsulata con geotessile tubolare Ringtrac e rinforzo di base con geotessile Stablenka
- Cantiere:** Discarica controllata Cà Rossa, Chioggia (VE)
- Materiali:** Ringtrac M (PVA), Stablenka 400/100



Soluzioni con geosintetici per la protezione ambientale e nelle discariche



