

Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale: applicazioni in discarica e per la messa in sicurezza di siti contaminati

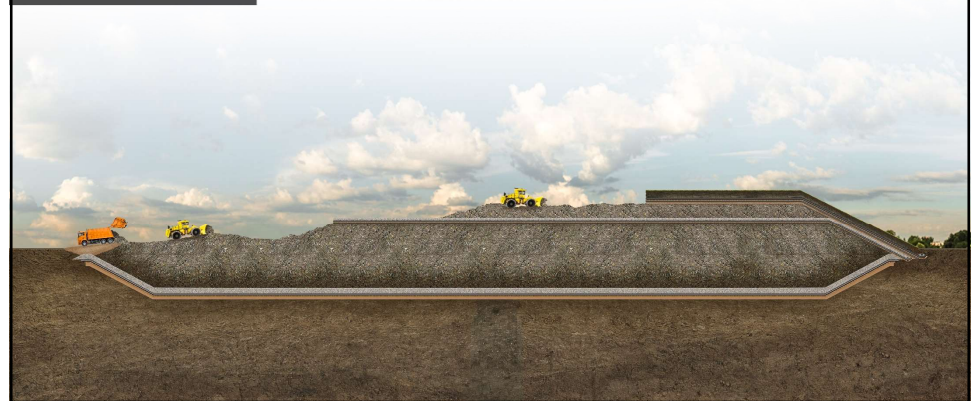


HUESKER
Idee. Ingegneria. Innovazione.

Ing. Filippo Tortul
HUESKER S.r.l.
f.tortul@huesker.it
+39 337 154 7076

1

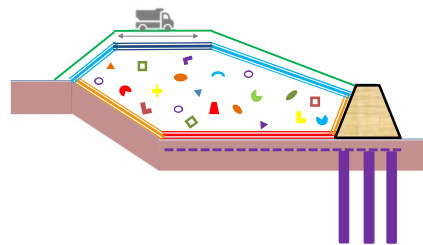
Discariche



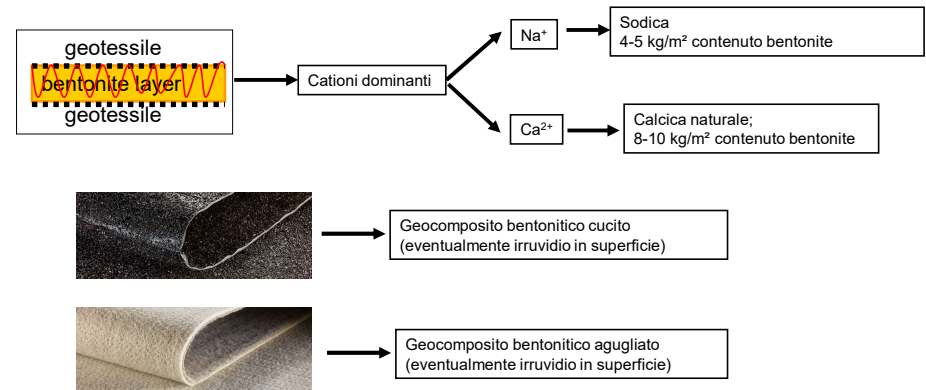
2

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



Discariche - Impermeabilizzazione con GCL



3

4

Discariche - Impermeabilizzazione con GCL

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 m³/ m² di superficie in copertura**)
- Con un carico di geocomposito bentonitico da 5 kg/m² si possono coprire circa 4.000 m² 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

29.11.2024

Ing. Filippo Tortul - Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale - Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

5

Discariche - Impermeabilizzazione con GCL

Resistenza al taglio superficiale in base al tipo di GCL



Tessuto non rivestito

liscio → medio attrito superficiale:
 •vs. sabbia ($\phi=35^\circ$) → $\phi=29^\circ$
 •vs. argilla ($\phi=25^\circ$, $c=14$) → $\phi=16^\circ$, $c=5$
 •vs. GM liscio → $\phi=8^\circ$, $c=3$ kPa
 •vs. GM ruvido → $\phi=16^\circ-19^\circ$, $c=7$
 → solo basse pendenze!!



aerofiltro, non-tessuto ad alta porosità 60 g/m²



Tessuto irruvidito con rivestimenti, trattamenti termici e/o meccanici

ruvido → alto attrito superficiale:
 •vs. sabbia ($\phi=35^\circ$) → $\phi=34^\circ$
 •vs. argilla ($\phi=29^\circ$, $c=14$) → $\phi=21^\circ$, $c=6$
 •vs. GM liscio → $\phi=14^\circ$, $c=8$ kPa
 •vs. GM ruvido → $\phi=25^\circ-29^\circ$

6

Discarica di Cordele (BL)

- Geocomposito bentonitico cucito con superficie irruvidita da rivestimento in bitume e graniglia minerale



7

Ing. Filippo Tortul - Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale - Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

Discarica di Cordenons (PN)

- Geocomposito bentonitico agugliato

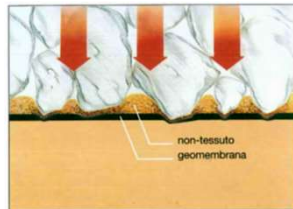


8

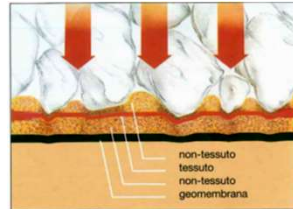
Ing. Filippo Tortul - Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale - Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

Test per gli strati di protezione

- Effetto di protezione dei geotessili non tessuti vs. geocompositi



Non tessuti di protezione convenzionali

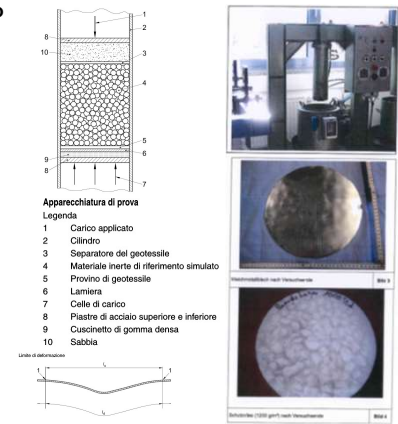


non-tessuto rinforzato

- 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

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/m²)
 - Temperatura
 - Umidità
- La durata della prova può essere fissata (fino ad un max. di 1000 ore)
- Deformazione ammissibile misurata su lamina sottile metallica



Discarica di Ischia Podetti (TN)

- Applicazione:** Protezione membrana impermeabile
- Materiale:** Materasso flessibile iniettabile in calcestruzzo



Discarica di Ischia Podetti (TN)



Discariche - Drenaggio



Geocompositi drenanti versus strati drenanti di inerti:

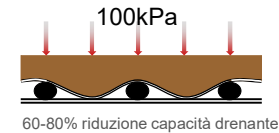
- Da un punto di vista della capacità drenante, **ogni strato drenante di inerti di 50 cm di spessore può essere sostituito efficacemente con un geocomposito drenante di 4-6 mm di spessore**
- Quindi, se consideriamo 50 cm di strato di captazione del biogas sotto la barriera impermeabile più 50 cm di strato drenante delle acque meteoriche sopra, con l'utilizzo dei geocompositi drenanti è possibile **guadagnare circa 1 m³ per ogni m² di copertura**.
- In un camion si possono trasportare circa 10.000 m² di geocomposito drenante, con i quali si possono realizzare 5.000 m² 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.



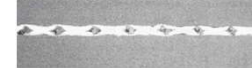
Geocompositi drenanti - prestazioni



Strutture con nervature romboidali



Superficie inferiore di scolo irregolare

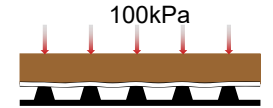


Intrusione del geotessile

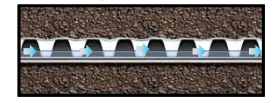
UNI EN ISO 12958:
Effetto della pressione trasmessa attraverso superfici morbide



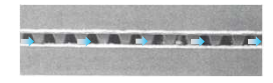
Struttura cuspidata



La prova con piastra flessibile non modifica sostanzialmente la capacità drenante



Sup. inf. liscia ed elevato indice di vuoti



Minima intrusione geotessile

Discarica Busta di Montebelluna (TV)



Discariche - Rinforzo antiscivolamento



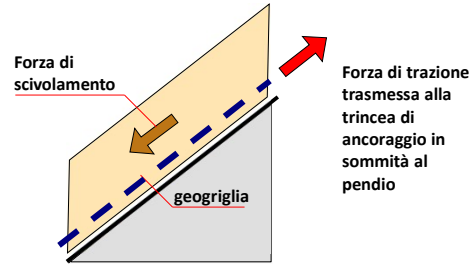
Nelle coperture delle discariche è comune coprire le geomembrane con uno strato di terreno. A causa della **resistenza al taglio molto bassa tra il terreno di copertura e le superfici lisce e inclinate generate dalle geomembrane**, il terreno tende a scivolare, con risultati potenzialmente rovinosi.



Discariche - Rinforzo antiscivolamento



Un modo di ottenere la stabilità consiste nel posizionare una **geogriglia** lungo la superficie capace di **assorbire le forze di trascinamento della copertura** e di trasmetterle ad una **trincea di ancoraggio opportunamente dimensionata** posizionata in sommità della scarpata.



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

17

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 assorbe le sollecitazioni e minimizza il trasferimento di tensioni alla membrana ed agli strati minerali/geosintetici inferiori



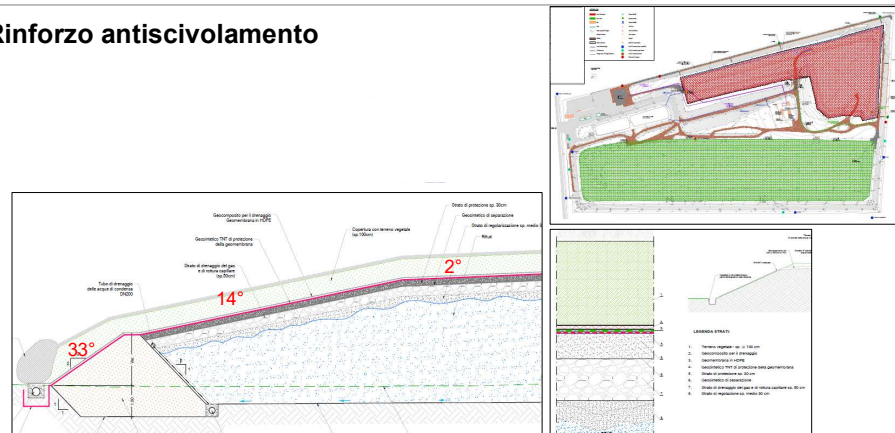
Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

18

Discarica di Medolla (MO)



Rinforzo antiscivolamento



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

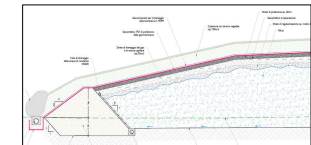
19

Discarica di Medolla (MO)



Rinforzo antiscivolamento

- Soluzione proposta: **geogriglia tridimensionale da 150kN/m** 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 m²



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

20

17

19

20

Discarica di Medolla (MO)

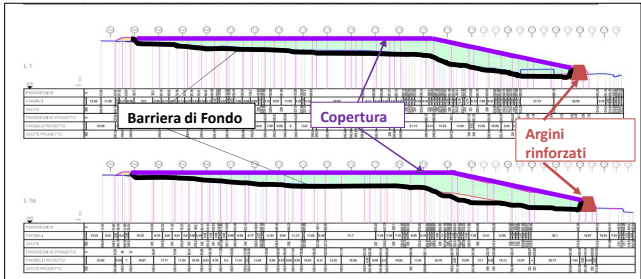


Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

21

Discariche – problemi geotecnici

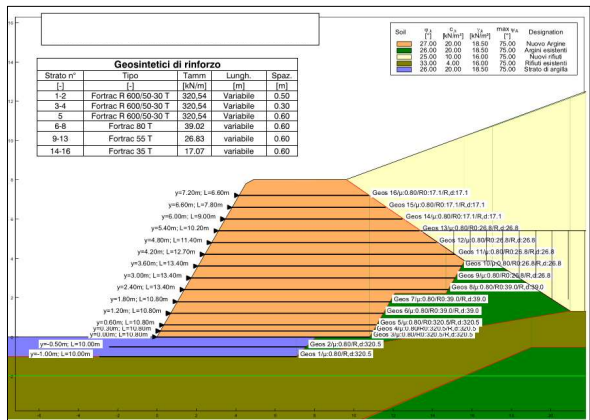
Oltre alle classiche problematiche di impermeabilizzazione, copertura, drenaggio, gestione dei percolati... alcune discariche possono presentare, in sede progettuale o durante la loro vita utile, **soprattutto in casi di ampliamento, delle problematiche strutturali di tipo geotecnico**. Anche queste possono essere affrontate e risolte tramite geosintetici.



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

22

Discarica (Toscana)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

23

Discarica (Toscana)

Terre rinforzate di confinamento



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

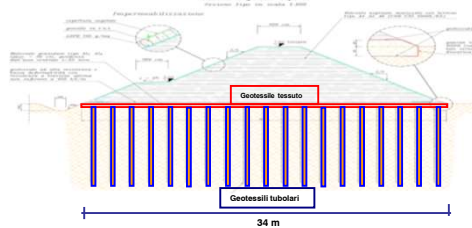
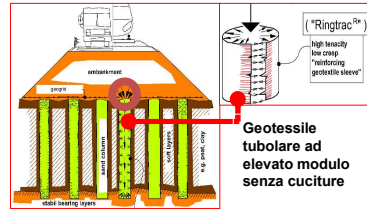
24

Discarica Ca' Rossa (VE)



Applicazione: Rilevato arginale fondato su pali portanti in sabbia incapsulata con geotessile tubolare senza cuciture e rinforzo di base con geotessile tessuto ad alta resistenza e basso modulo deformativo

Cantiere: Discarica controllata Cà Rossa, Chioggia (VE)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

Discarica Ca' Rossa (VE)



Colonne portanti in sabbia incapsulate in geosintetico

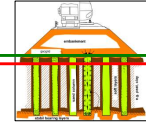
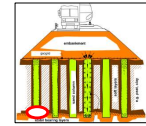
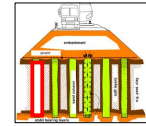
Denominato GEC (Geotextile Encased Column) è un palo strutturale portante con caratteristiche drenanti.

Campo di applicazione

Utilizzabile nella costruzione di rilevati su terreni soffici ed estremamente soffici

Caratteristiche funzionali

- Fondazione indiretta: la colonna trasferisce i carichi a uno strato di terreno profondo di buone caratteristiche portanti (colonna che lavora di punta)
- Sistema a cedimento controllato: cedimenti calcolabili dell'ordine di pochi decimetri che si esauriscono quasi totalmente durante la fase di costruzione del rilevato.
- Effetto di consolidamento il terreno circostante grazie all'azione drenante dei pali e, nel caso di utilizzare il metodo di infissione dei pali per spostamento, anche attraverso l'addensamento del terreno.
- Colonna permeabile all'acqua. Quindi non crea una barriera alle falde acquifere.

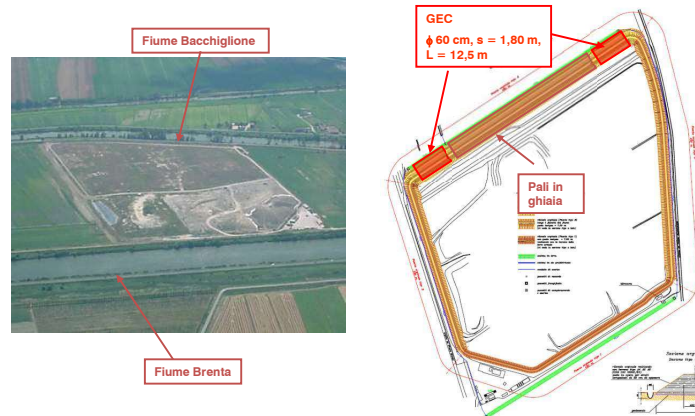


Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

25

26

Discarica Ca' Rossa (VE)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

Discarica Ca' Rossa (VE)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

27

28

Discarica Ca' Rossa (VE)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

29

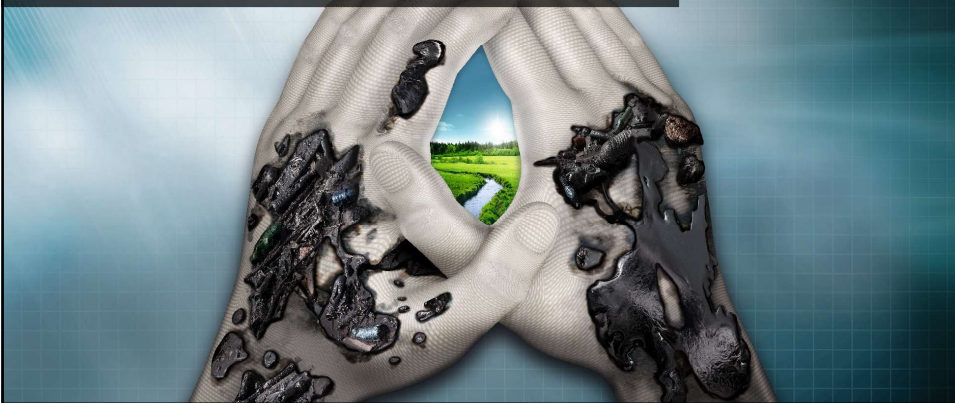
Discarica Ca' Rossa (VE)



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

30

Messa in sicurezza siti contaminati



31

Contaminazione Antropogenica

Come i contaminanti entrano nell'ambiente

- Impianti di trattamento acque reflue
 - Acque reflue di origine industriale, ospedaliera e fognaria - Impianti non eliminano completamente i contaminanti
- Fonti diffuse
 - Agricoltura, Infrastrutture, Acque di ruscellamento
- Siti Contaminati
 - Carenza di conoscenza dei pericoli
 - TBT (tributilstagno) nei porti
 - Incidenti
 - Dolo



WWTP Kiel Bulk, Germany – 380.000 PT



Utilizzo di pesticidi in agricoltura

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

32

Contaminazione per eventi catastrofici



Fonti puntuali con enorme impatto



Fiume Animas, USA, 2015



Mar Giallo, Cina, 2011

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

Interruzione di migrazione di contaminanti



Materiale composito permeabile (geosintetici + assorbenti)

Geocomposito attivo



- Unisce la resistenza meccanica dei geosintetici ai meccanismi chimici delle sostanze attive
- Barriera solo agli inquinanti, non all'acqua o al vapore in cui essi sono disciolti

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

34

33

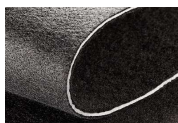
34

Geocompositi Attivi



Olio & Prodotti petrolchimici

AS



Nontessuto assorbente

Inquinanti organici

AC



Carbone attivo

Metalli & Radionuclidi

HM



Adsorbente cationico

Sostanze perfluorate (PFAS)

PFAS



Resina modificata

Assorbenti alternativi per applicazioni speciali

OC

Argilla organofila

ZL

Zeolite

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

35

35

Geotessile Nontessuto Assorbente

Olio & Prodotti petrolchimici

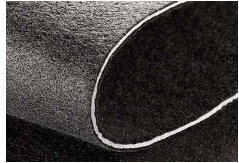


36

Olio & Prodotti petrolchimici



AS



Assorbente per rimozione oli e prodotti petrolchimici

	200	400
capacità	3.0 l/m ²	7.0 l/m ²

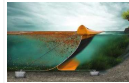
Geotessile nontessuto assorbente

Barriere temporanee (< 2 anni)

- Cantieri
- Barriere agli oli



Cantieri



Barriere agli oli in acqua

Barriere permanenti (> 2 anni)

- Infrastrutture stradali
- Infrastrutture ferroviarie



Barriere ai contaminanti in infrastrutture stradali



Barriere agli oli in tratte ferroviarie

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

37

Olio & Prodotti petrolchimici



Protezione dall'inquinamento in cantieri



Cantieri



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

38

Olio & Prodotti petrolchimici



Barriere agli oli in acqua

Barriere agli oli in acque superficiali



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

39

Olio & Prodotti petrolchimici



Barriere ai contaminanti in infrastrutture stradali

Barriere agli oli in aree di parcheggio



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

40

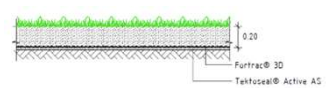
Olio & Prodotti petrolchimici



Barriere ai contaminanti in infrastrutture stradali

Barriera ai contaminanti in fossi di guardia

- Trattamento delle acque di deflusso dal piano stradale
- Contaminanti sulle strade:
 - Microplastiche
 - Idrocarburi derivati dal petrolio
 - Metalli pesanti aderenti a particelle più grossolane



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

41

Olio & Prodotti petrolchimici



Barriere agli oli in tratte ferroviarie

Barriera agli oli in tratte ferroviarie

- Protezione di terreno/falda nelle aree di manutenzione



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

42

Carbone Attivo

Contaminanti organici



Contaminanti organici

AC



Adsorbimento di inquinanti organici (VOC, TBT, PAH, ecc.)

Carbone attivo

- Barriera attiva progettata per le specifiche esigenze progettuali (tipologia e peso del carbone attivo, geosintetici)
- Applicazioni
 - Bacini di trattamento acque piovane
 - Capping subacqueo
 - Capping terreni contaminati
 - Aree di stoccaggio permeabili



Bacino di trattamento



Capping di sedimenti



Messa in sicurezza siti contaminati

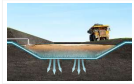


Aree di stoccaggio permeabili

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

44

Applicazioni



Bacino di trattamento

Contaminanti nelle acque di deflusso/scorrimento

- Bacino di trattamento delle acque di deflusso contaminate provenienti da strade e ferrovie



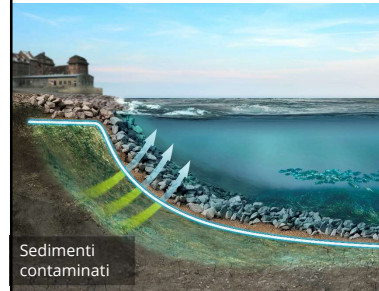
Applicazioni



Capping di sedimenti

Sedimenti contaminati

- Isolamento dei contaminanti presenti nei sedimenti, rimanendo permeabile alle acque sotterranee



Sedimenti
contaminati



Applicazioni



Messa in sicurezza siti
contaminati

Contaminanti nei vapori provenienti dal sottosuolo

- Barriera/filtro per vapori contaminati
- Messa in sicurezza di siti contaminati
- Capping discarica



Terreno contaminato



Applicazioni

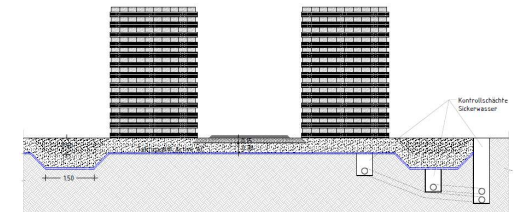
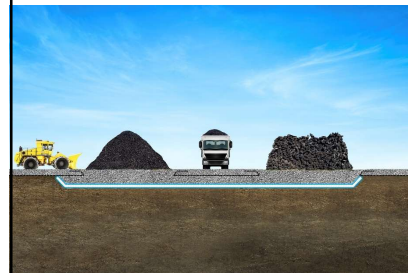


Aree di stoccaggio
permeabili

Contaminanti nei siti di stoccaggio



Geocomposito Attivo



Adsorbente Cationico

Metalli & Radionuclidi



Metalli & Radionuclidi



HM



Rimozione a lungo termine di metalli pesanti (piombo, rame, arsenico, ecc.)

Adsorbente Cationico

- Affinità molto elevata con una ampia gamma di metalli (soprattutto bivalenti e trivalenti)
- La caratteristiche della elevata superficie mesoporosa garantiscono un'elevata capacità adsorbente
- L'adsorbente cationico è stato largamente testato per la sua efficacia nel rimuovere metalli e radionuclidi:
 - zinco, nichel, rame, cromo, cadmio, arsenico, piombo, stronzio e mercurio
 - uranio, radio

Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

50

50

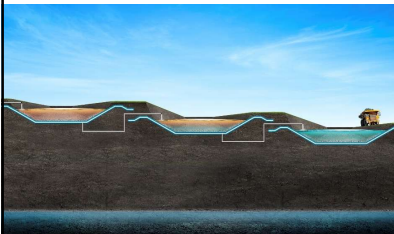
Applicazioni



Bacino di trattamento

Tattamento acque di drenaggio delle miniere

- Acque di drenaggio acide e ricche di metalli
- Trattamento passivo delle acque di drenaggio



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

51

51

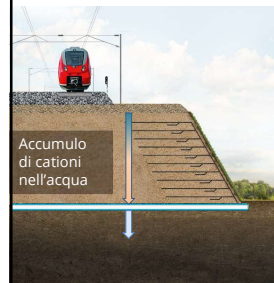
Applicazioni



Opere in terra

Costruzioni con materiali riciclati

- I metalli si dissolvono dai materiali riciclati (terreno, calcestruzzo, scorie, ecc.) e si accumulano nell'acqua dei pori



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

52

52

Resina modificata

Sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS)



PFAS

Inquinante organico persistente

- PFAS: composti poli e perfluorurati
 - Sostanze per- e polifluoroalchiliche
- Oltre 4.700 diversi composti PFAS
- I più pericolosi sono elencati nella convenzione di Stoccolma (divieto di produzione):
 - PFOS, dal 2009
 - PFOA, dal 2015
 - PFHxS, dal 2017
- A causa dell'elevata stabilità dei PFAS, processi biologici, chimici o termici in sito non possono eliminarli



Applicazioni dei PFAS

54

PFAS

Dove sono presenti i PFAS e quali i rischi per la salute

- I PFAS derivanti da acque o terreni contaminati si accumulano in organismi viventi (pesci, uccelli, ecc.) e così entrano nella nostra catena alimentare
- I PFAS più pericolosi sono cancerogeni, immunotossici, reprotossici

■ Dove sono presenti i PFAS

- Aeroporti e siti militari
- Produzione di materiali idrorepellenti e antimacchia
- Produzione di fluoropolimero (Teflon)
- Fanghi/rifiuti dell'industria della carta
- Calcestruzzo: «spugna» per i PFAS e lento rilascio



Schiumogeni (AFFF)

55

PFAS in Italia



56

Sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS)

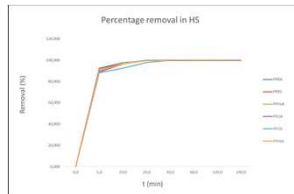
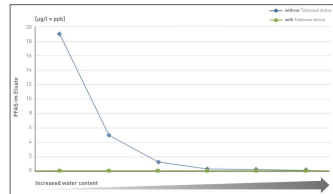
PFAS



Resina modificata per rimozione PFAS a catena lunga e corta

Resina modificata ampiamente testata

- **Efficacia:** rimozione di PFAS a catena lunga e corta con un'efficacia del 99,9% (testata in un intervallo di concentrazione compreso tra $< 1 - 4000 \mu\text{g/l}$)
- **Capacità:** capacità comprovata fino a $4000 \mu\text{g/g}$, molto più alta rispetto a molti altri adsorbenti



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

57

Sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS)

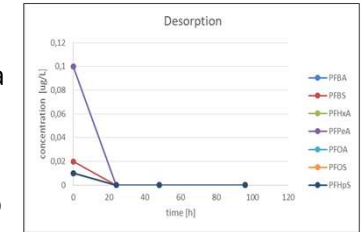
PFAS



Resina modificata per rimozione PFAS a catena lunga e corta

Resina modificata ampiamente testata

- **Cinetica:** assorbimento molto veloce (tempo di contatto necessario inferiore a 3 minuti)
- **Desorbimento:** la forza di legame estremamente elevata assicura che meno dello 0,1% dei PFAS legati venga nuovamente rilasciato



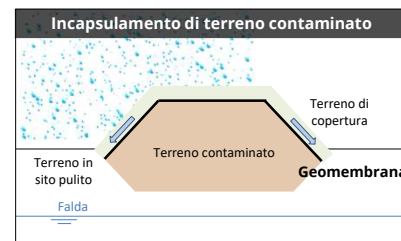
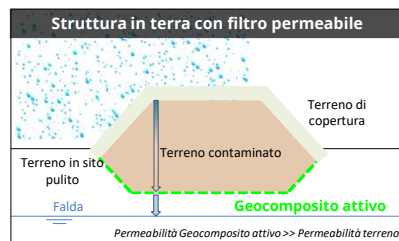
Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

58

Sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS)

Approccio

- Sostituzione dell'impermeabilizzazione con un sistema permeabile
- **Decontaminazione passiva del terreno** con l'aiuto di precipitazioni naturali o artificiali



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

59

Applicazioni

Opere in terra e discariche

- Riutilizzo di suoli contaminati con decontaminazione passiva dei terreni grazie alle precipitazioni
- Soluzione per applicazioni in discarica per il trattamento di percolato con mix di contaminanti



Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale – Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

60



Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma



ORDINE degli INGEGNERI
GEOLOGI LAZIO





Ing. Filippo Tortul – Soluzioni con geosintetici per l'ingegneria ambientale– Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma

61