





Idee. Ingegneria. Innovazione.

Rilevati stradali e ferroviari fondati su terreni problematici

Rinforzo di base, rilevati fondati su pali,
colonne portanti con geotessili tubolari, attraversamento di cavità

Ing. Alberto Simini
HUESKER Italia, Trieste

19 Aprile 2024

Rilevati fondati su terreni problematici

INDICE

- 1) RILEVATI SU TERRENI SOFFICI
- 2) RINFORZO DI BASE
- 3) RILEVATI REALIZZATI SU PALI
- 4) PALI IN SABBIA INCAPSULATA IN GEOTESSILE TUBOLARE (GEC)
- 5) ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ



Rilevati fondati su terreni problematici

RILEVATI SU TERRENI SOFFICI

Metodi costruttivi

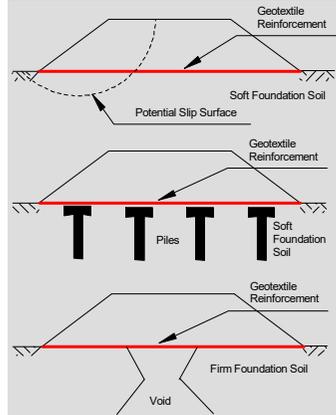
1. Scavo e bonifica di materiale
2. Costruzione per stadi (pre-carico 1, consolidazione 1, pre-carico 2, consolidazione 2, ecc.)
3. Allargamento della sezione con berme laterali (fondazione galleggiante)
4. Rilevato con materiali leggeri
5. Dreni verticali a nastro
6. Rilevato su pali 
7. Rinforzo con geosintetici 

Rilevati fondati su terreni problematici

Rinforzo di base con geosintetico di rinforzo dei rilevati realizzati su terreni soffici

Rilevati realizzati su pali (pali in c.a., jet grouting, GEC Ringtrac, ecc) abbinato a un geosintetico di rinforzo antipunzonamento

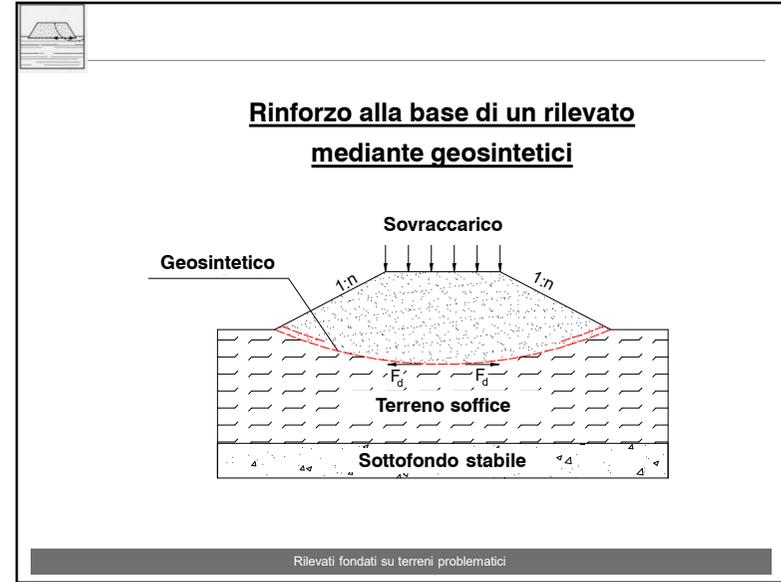
Attraversamento geosintetico di rinforzo di zone soggette a fenomeni di subsidenza (formazione di cavità o "sinkholes")



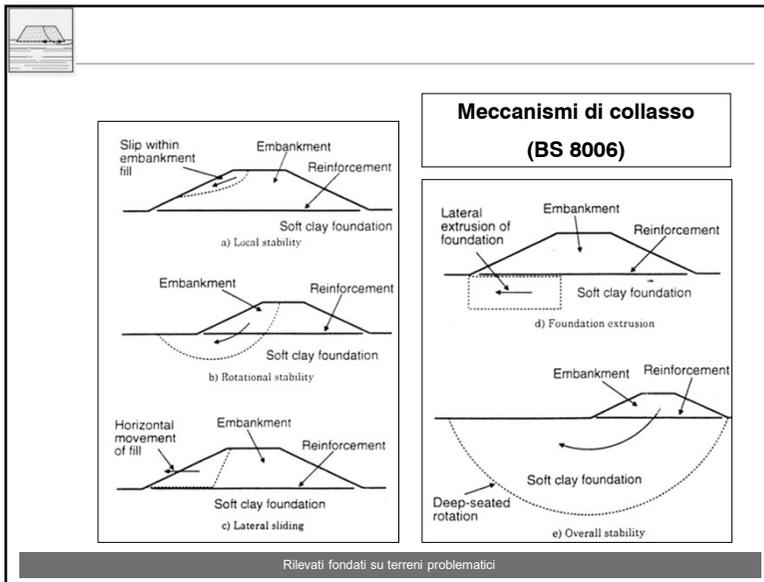
Rilevati fondati su terreni problematici



RINFORZO DI BASE DI RILEVATI

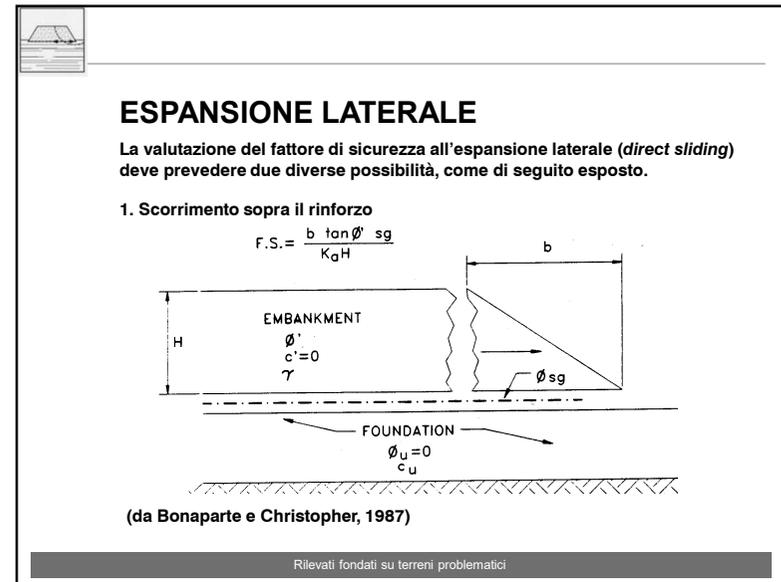


Rilevati fondati su terreni problematici



Meccanismi di collasso (BS 8006)

Rilevati fondati su terreni problematici

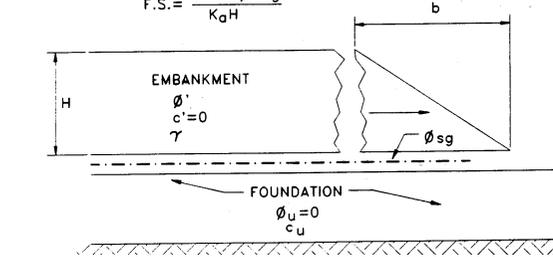


ESPANSIONE LATERALE

La valutazione del fattore di sicurezza all'espansione laterale (*direct sliding*) deve prevedere due diverse possibilità, come di seguito esposto.

1. Scorrimento sopra il rinforzo

$$F.S. = \frac{b \tan \phi'_{sg}}{K_a H}$$



(da Bonaparte e Christopher, 1987)

Rilevati fondati su terreni problematici

ESPANSIONE LATERALE

2. Scorrimento al di sotto del rinforzo, con rottura del medesimo.

$$F.S. = \frac{2(bc_a + T)}{K_a \gamma H^2}$$

EMBAKMENT
 ϕ'
 $c'=0$
 γ

FOUNDATION
 $\phi_u=0$
 c_u

(da Bonaparte e Christopher, 1987)

Rilevati fondati su terreni problematici

Verifica della stabilità globale (Bishop)

Soil	ϕ	c	γ	PW	Designation
Orange	35.00	0.00	18.00	0.00	Embankment Fill
Yellow	40.00	0.00	20.00	0.00	Clay #1
White	0.00	15.00	18.00	0.00	Soft Clay
Blue	30.00	0.00	19.00	0.00	Dense Gravel

Ennis Bypass (Bishop analysis)

Rilevati fondati su terreni problematici

Zone dei meccanismi di collasso più probabili – F.E.M.

Non rinforzato

Rilevati fondati su terreni problematici

Verifica della stabilità globale (Bishop)

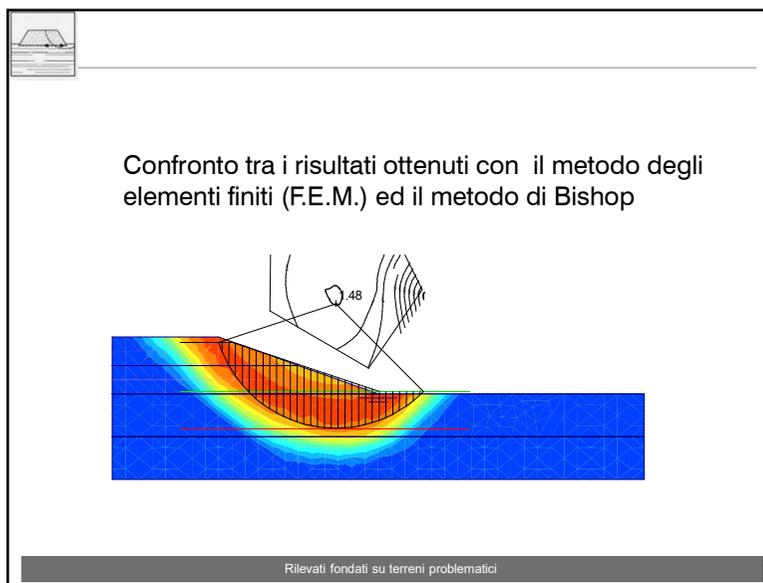
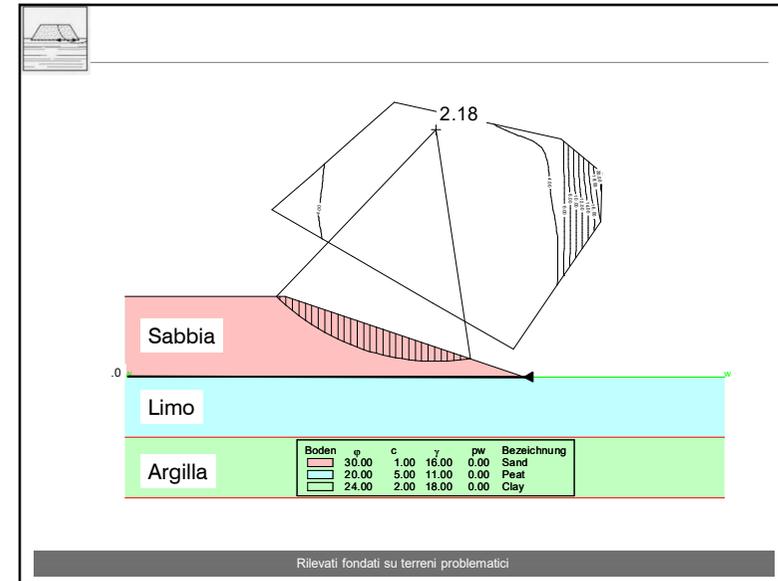
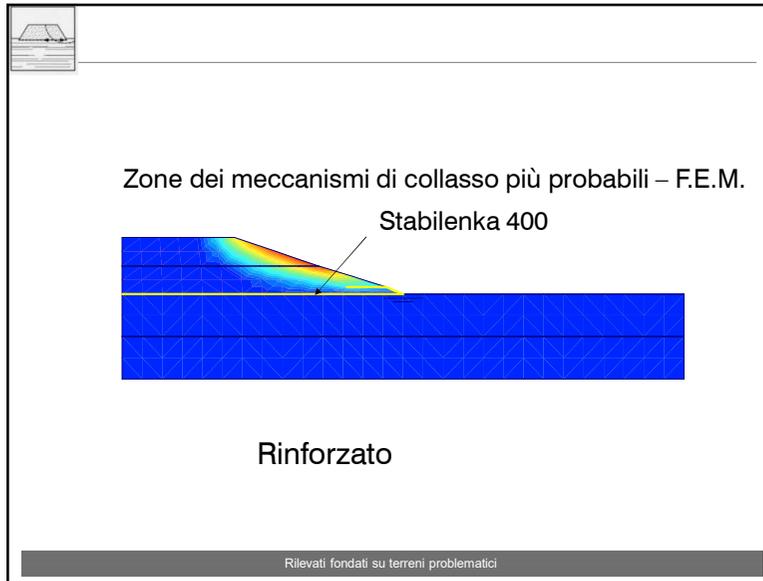
Boden	ϕ	c	γ	pw	Bezeichnung
Red	30.00	1.00	18.00	0.00	Sand
Green	20.00	5.00	11.00	0.00	Peat
Blue	24.00	2.00	18.00	0.00	Clay

Sabbia

Limo

Argilla

Rilevati fondati su terreni problematici

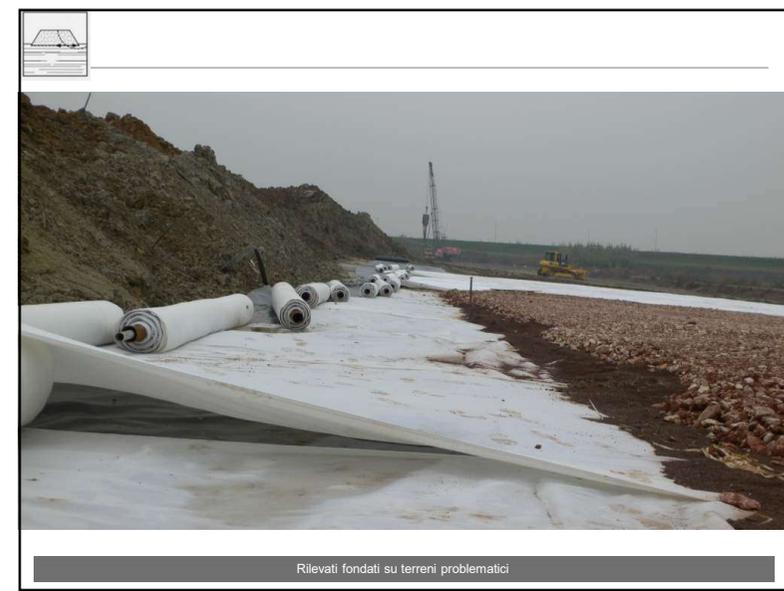
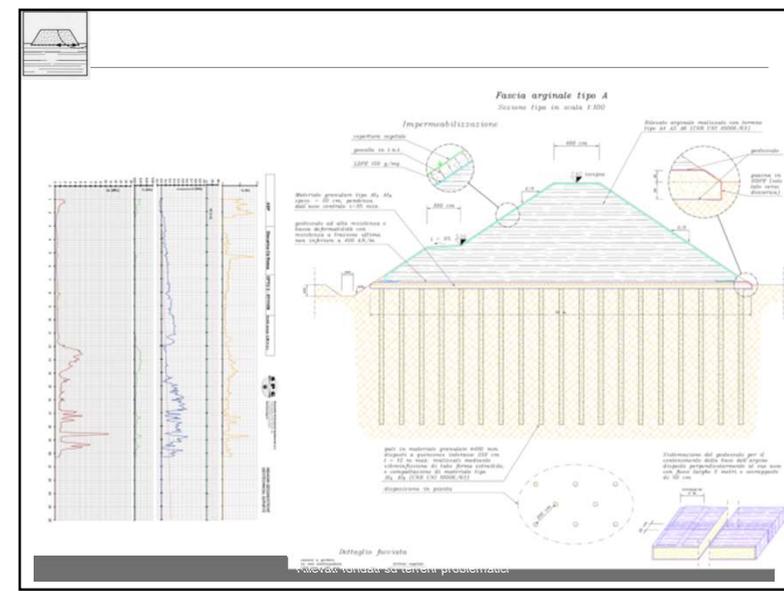
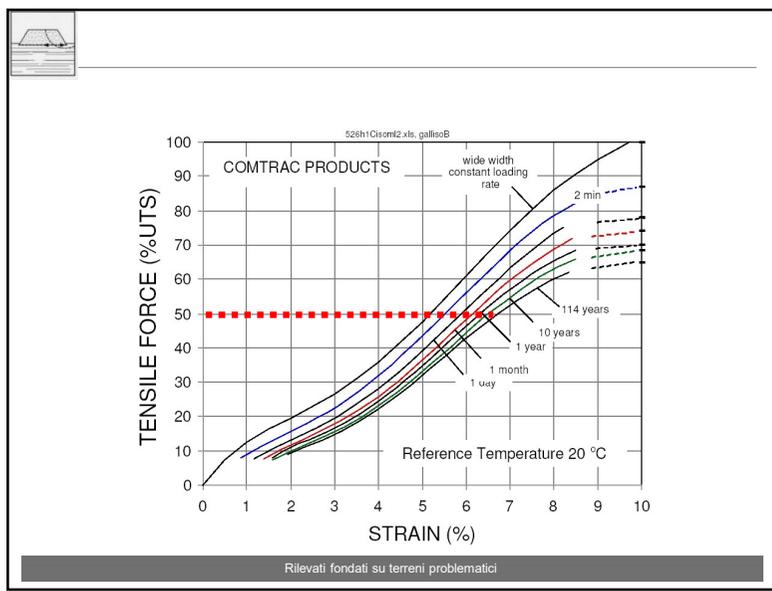


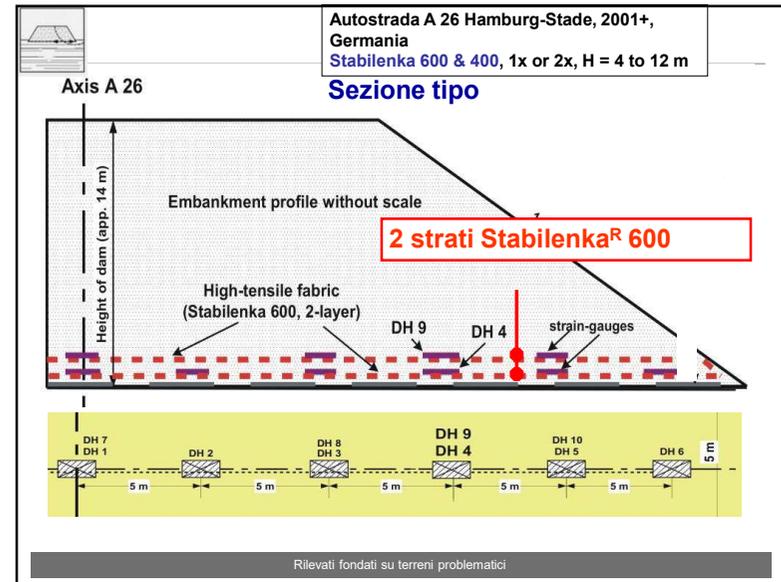
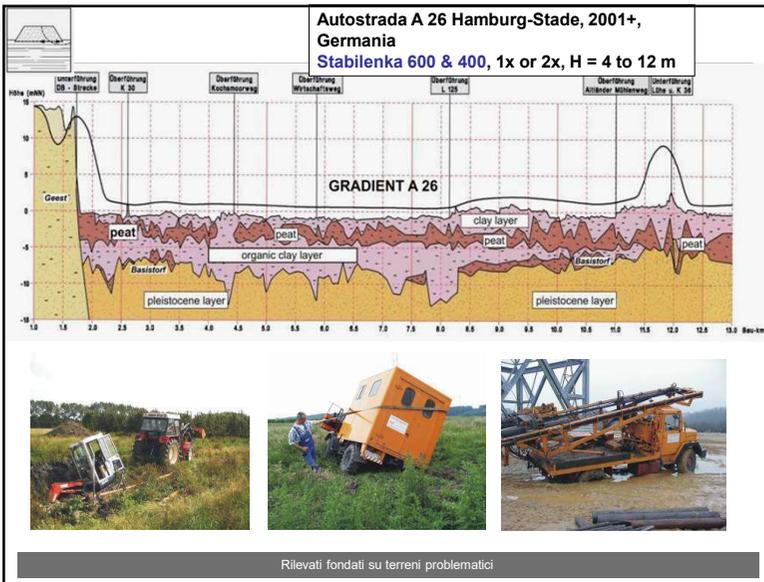
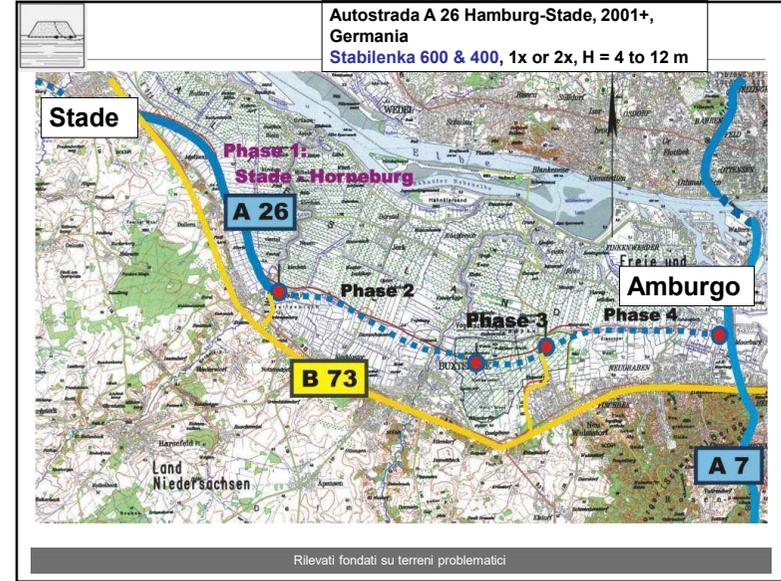
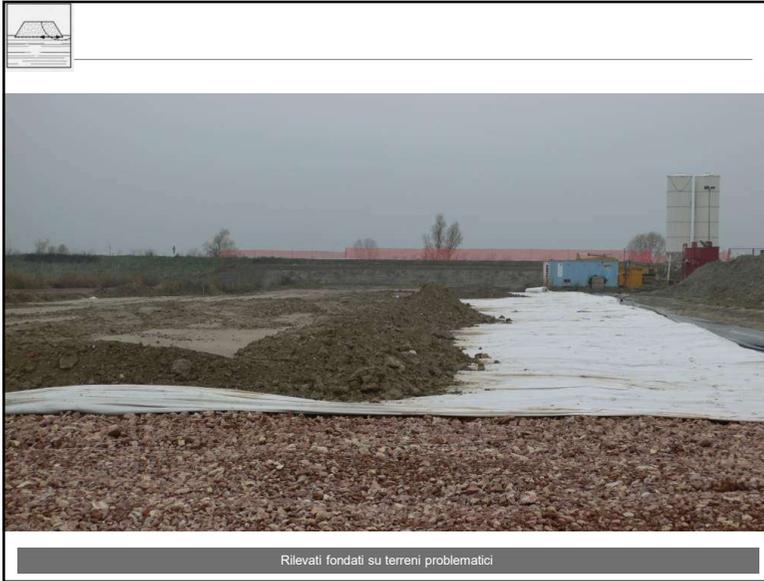
A cosa serve il geosintetico di rinforzo?

- Il geosintetico intercetta le superfici di scivolamento
- E' necessario un ancoraggio adeguato nella zona passiva a destra della superficie critica dove vanno dissipati gli sforzi di trazione assorbiti dal geotessile
- Il geosintetico determina un incremento del momento stabilizzante e, di conseguenza, del fattore di sicurezza, grazie alle tensioni sviluppate in condizioni di esercizio
- E' molto importante analizzare le fasi iniziali e finali dell'opera. Quindi, bisogna verificare sia la resistenza a breve termine (terreno non consolidato, stato non drenato) che a lungo termine (terreno consolidato, stato di pressioni interstiziali dissipate)
- Il rinforzo è perennemente sollecitato

→ CREEP!! → CURVE ISOCRONE

Rilevati fondati su terreni problematici

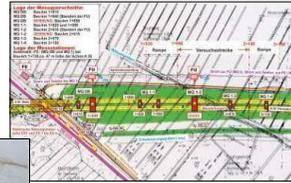




Autostrada A 26 Hamburg-Stade, 2001+,
Germania
Stabilenka 600 & 400, 1x or 2x, H = 4 to 12 m



high-strength woven
Stabilenka




strain-gauge

Strumenti di
monitoraggio

Rilevati fondati su terreni problematici

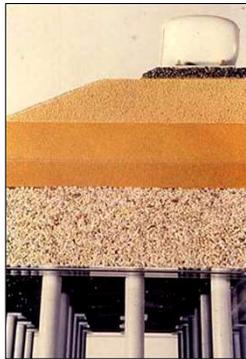
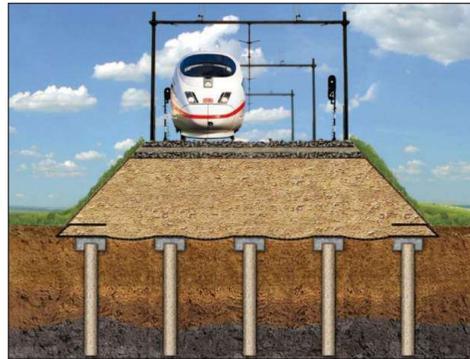
Autostrada A 26 Hamburg-Stade, 2001+,
Germania
Stabilenka 600 & 400, 1x or 2x, H = 4 to 12 m



Geotessile Stabilenka
600 kN/m e primo
strato di riempimento

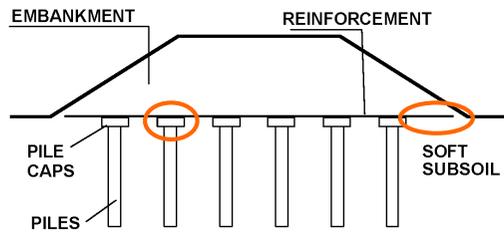
Rilevati fondati su terreni problematici

Rinforzo antipunzonamento su pali o colonne

Rilevati fondati su terreni problematici

RILEVATI SU PALI: METODI DI CALCOLO ED ESEMPI



- A. Elementi di supporto verticali (pali o colonne)
- B. Il rinforzo agisce come strato antipunzonamento (effetto membrana) attraversando il terreno soffice tra i pali
- C. Il geosintetico di rinforzo riprende anche le spinte laterali del rilevato
- D. Il geosintetico di rinforzo può essere uni-assiale o bi-assiale, utilizzato in uno o due strati
- E. Il geosintetico di rinforzo deve avere BASSO CREEP.
- F. Lo stato limite di servizio (deformazioni) può essere la condizione più critica

Rilevati fondati su terreni problematici

Principi di funzionamento del rinforzo

"GENERAL CONCEPT"

GENERAL PRINCIPLE OF REINFORCEMENT FUNCTION

Picture Source: BS 8006: 1995

"Stabilità laterale/ Pali non inclinati"

Rinforzo con geosintetici tra pali

Condizione di servizio: stato critico per rilevati ferroviari o rilevati che non ammettono assestamenti

Serviceability Limits for Low-height Reinforced Piled Embankments

1. Il modulo elastico J varia con il tempo (creep).
2. Se lo stato di servizio è molto critico, il metodo migliore disponibile attualmente è quello di utilizzare analisi numeriche e utilizzare l'esperienza acquisita.

Fonte: Lawson C. R., Keynote Lecture II, IS Kyushu 2001

Considerazione delle fasi di realizzazione e del tempo

f = DEFLECTION
t = TIME

INCREASE OF DEFLECTION

Rilevati fondati su terreni problematici

Metodi di calcolo...

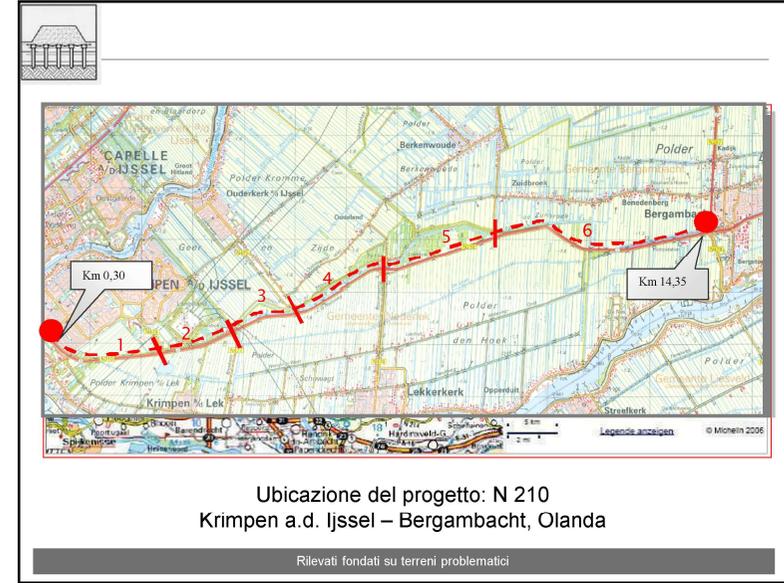
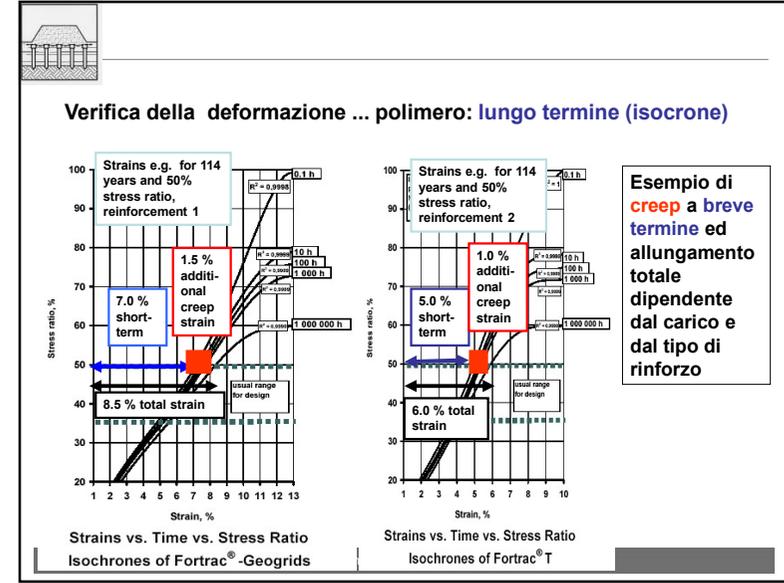
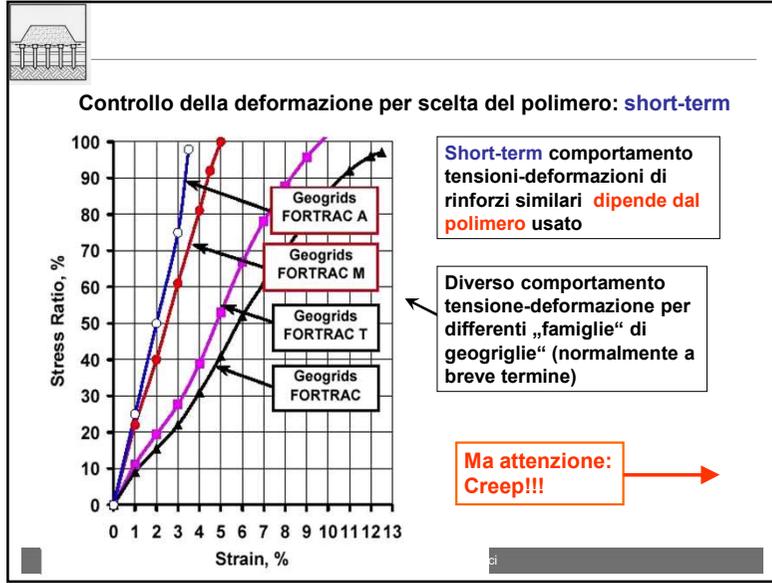
Il „metodo del BS 8006“

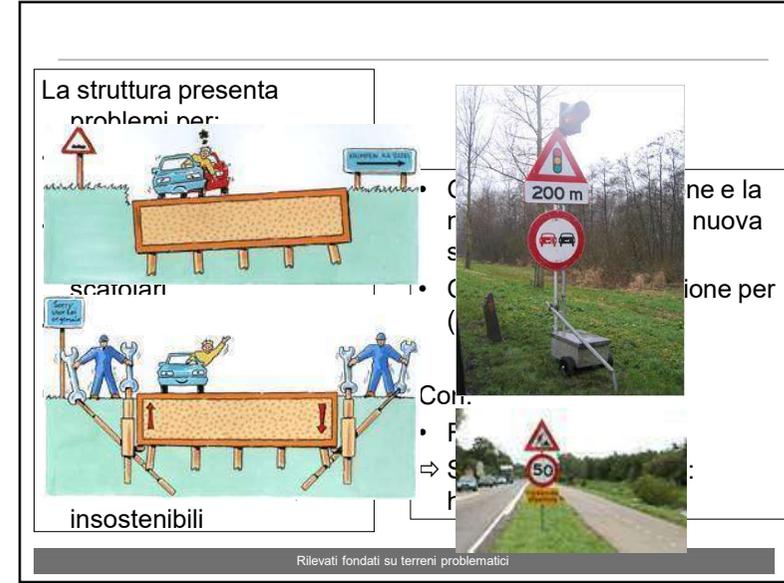
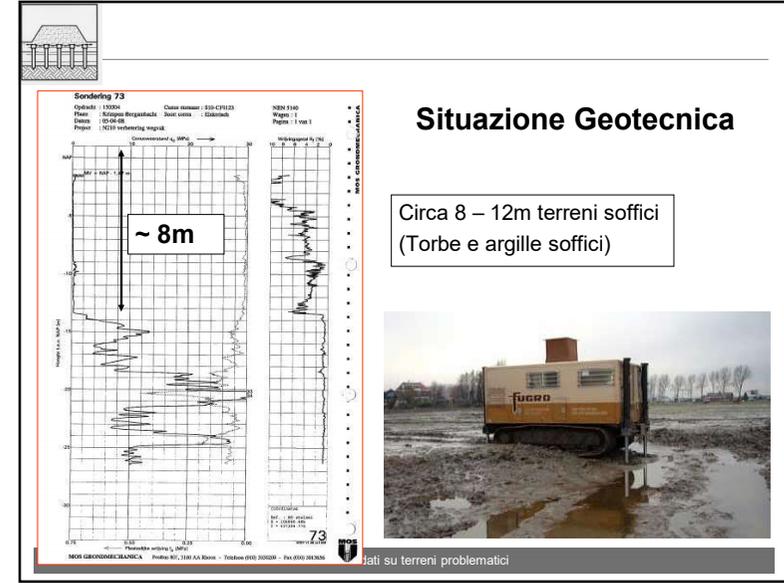
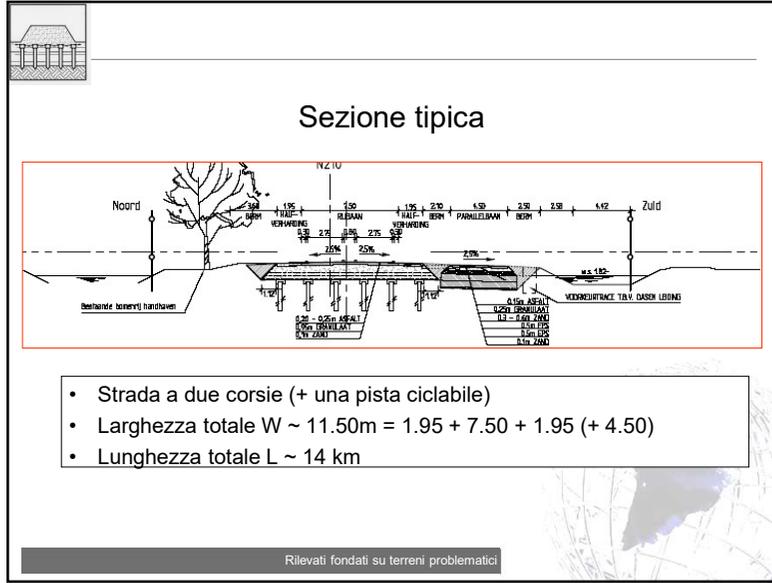
Molto usato...

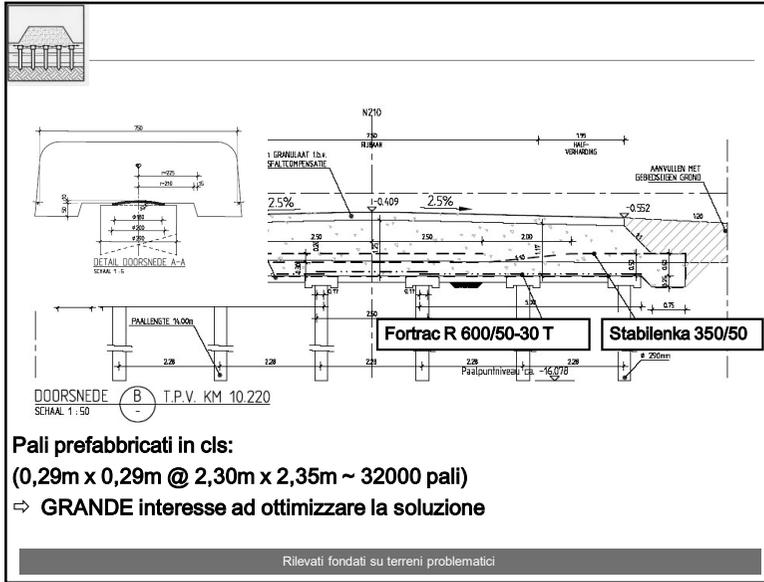
Il metodo tedesco EBGeo

Più completo...

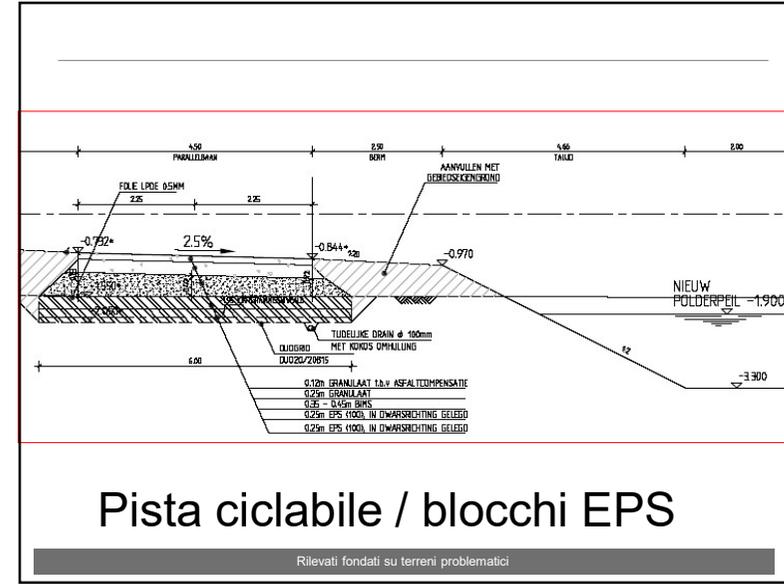
Rilevati fondati su terreni problematici









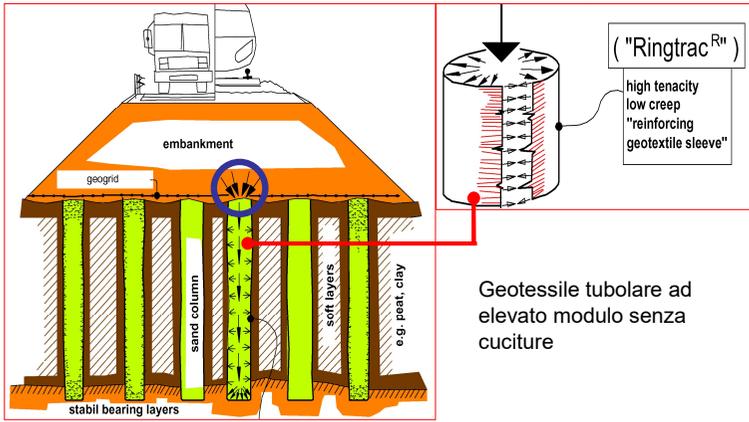


RINGTRAC: COLONNE PORTANTI IN SABBIA INCAPSULATA



Rilevati fondati su terreni problematici

RINGTRAC



embankment
geogrid
sand column
soft layers
e.g. peat, clay
stabil bearing layers

("Ringtrac^R")
high tenacity
low creep
"reinforcing geotextile sleeve"

Geotessile tubolare ad elevato modulo senza cuciture

Rilevati fondati su terreni problematici

RINGTRAC

COS'E'

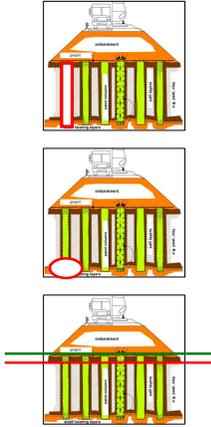
Denominato GEC (Geotextile Encased Column) è un palo strutturale portante con caratteristiche drenanti.

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.



Rilevati fondati su terreni problematici

RINGTRAC

BENEFICI

- Limitare gli assestamenti
- Limitare il riporto di terreno da rilevato per compensare gli assestamenti
- Velocizzare i tempi di costruzione. Palo molto veloce da realizzare e caricabile appena finito
- Utilizzo di materiali facilmente reperibili come la sabbia o la ghiaia. Non richiedono l'uso dell'acciaio di armatura e non necessitano di tempo di maturazione come nel caso del calcestruzzo gettato in opera
- Il geotessile del Ringtrac agisce sia come armatura che come filtro e separatore, quindi la sabbia confinata mantiene le sue caratteristiche portanti ed idrauliche nel tempo.
- Elevato controllo di qualità e affidabilità del sistema durante produzione & costruzione



Rilevati fondati su terreni problematici

RINFORZO DI BASE DEI RILEVATI

Materiale:

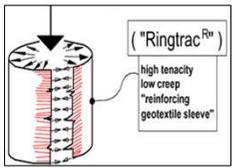
- a) Ringtrac in PET o in PVA;
- b) Resistenza anulare variabile da 100 a 400 kN/m
- d) Assestamenti dipendenti dalla variazione del modulo elastico nel tempo Creep (certificati) ricavabile dalle curve isocrone (certificati).

Colonne

Diametri nominali variabili da 40 cm a 100 cm

Lunghezza massima dei pali dipendenti dai macchinari disponibili e dai terreni da attraversare.

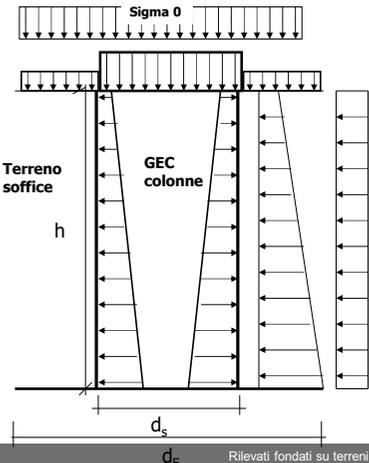
$$\Delta F_r = J \cdot \frac{\Delta r_{geo}}{r_{geo}}$$

$$\Delta \sigma_{h,geo} = \frac{\Delta F_r}{r_{geo}}$$


Rilevati fondati su terreni problematici

Systema RINGTRAC: principi generali

metodo di calcolo analitico secondo Raithe



Geometria e carichi
(carichi e traffico sul rilevato e carico dello stesso)

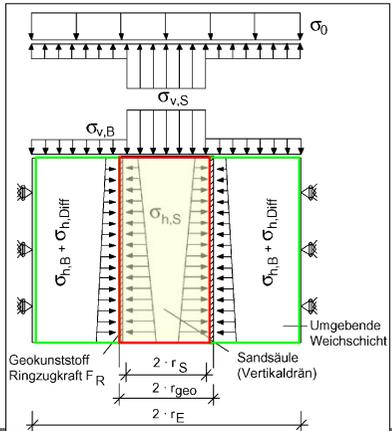
- Tensioni verticali sulla testa delle colonne e sul terreno soffice
- Tensioni orizzontali radiali nella colonna
- Tensioni orizzontali dovute dalla pressione del terreno a riposo e parziale mobilitazione della pressione passiva del terreno
- Tensioni orizzontali dovute dalla mobilitazione del geotessile Ringtrac

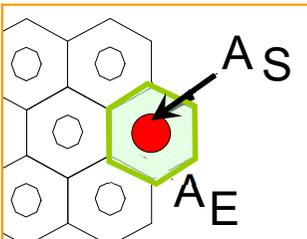
Rilevati fondati su terreni problematici

Systema RINGTRAC: principi generali

metodo di calcolo analitico secondo Raithe

Concetto cella unitaria su griglia infinita



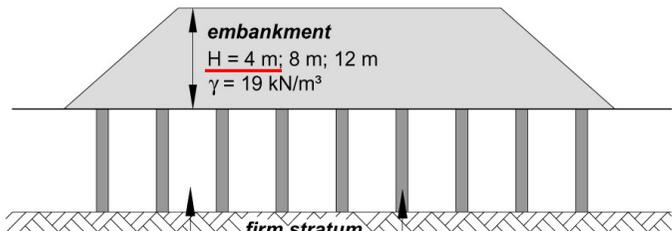


Metodo di calcolo analitico:

Systema iterativo (per variazione modulo edometrico al variare del sovraccarico) di 11 equazioni con 11 variabili con l'assunzione che $S_s = S_c$

Rilevati fondati su terreni problematici

Esempio di dimensionamento con grafici:



soft soil

H = 10 m

$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 25^\circ$

$c = 10 \text{ kN/m}^2$

$E_{ref} = 500 \text{ kN/m}^2; 1500 \text{ kN/m}^2$

$\vartheta = 0,4$

GEC "columns"

$D_{Ringtrac} = D_{steel\ pipe} = 0.8 \text{ m}$

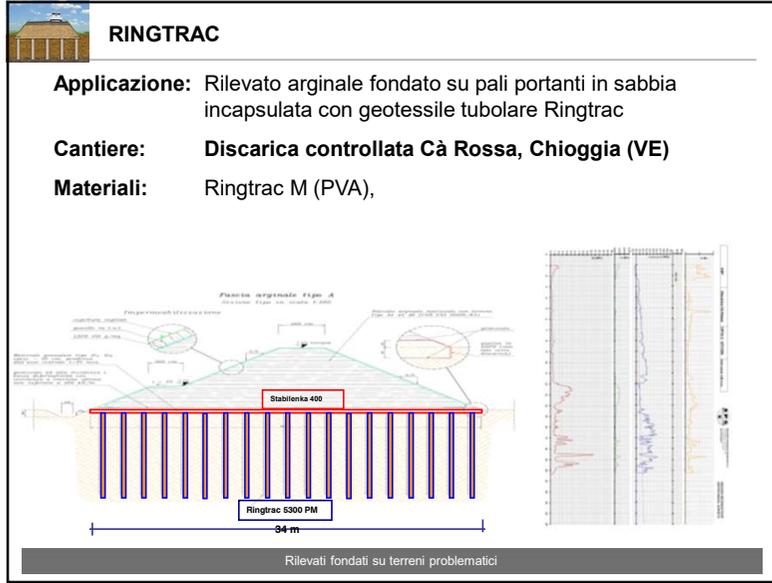
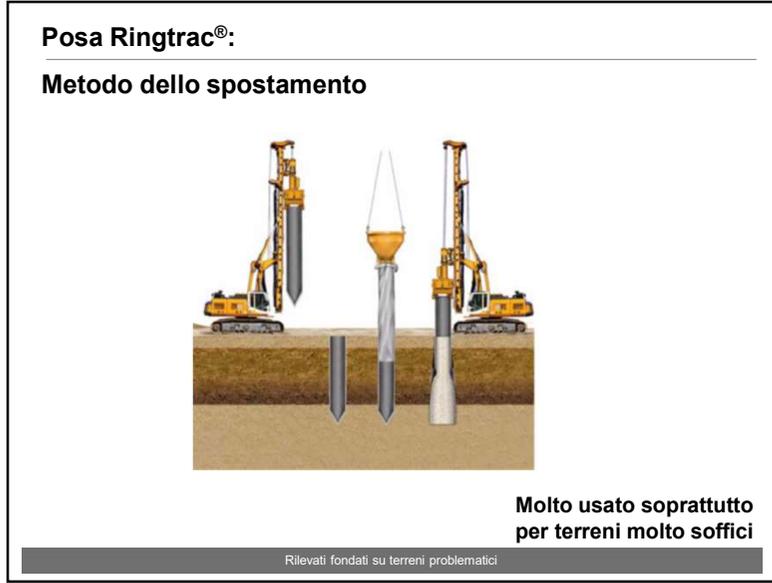
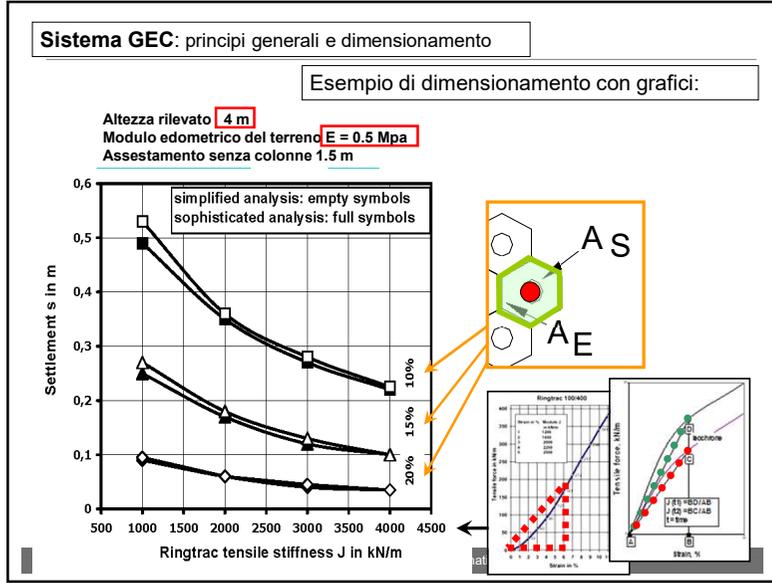
fill material

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 30^\circ; c = 0$

$J_{Ringtrac} = 1000 \text{ to } 4000 \text{ kN/m}$

Rilevati fondati su terreni problematici



DISCARICA CONTROLLATA DI PRIMA CATEGORIA IN VIA DI DIMISSIONE – Progetto di messa in sicurezza – Località: Cà Rossa – Chioggia (VE)

Problematica:

Cà Rossa è una discarica realizzata tra due fiumi: il Brenta ed il Bacchiglione. L'area è caratterizzata da terreni di natura argillosa e torbosa. I primi strati con caratteristiche portanti migliori si trovano da -12 a -13 m di profondità.

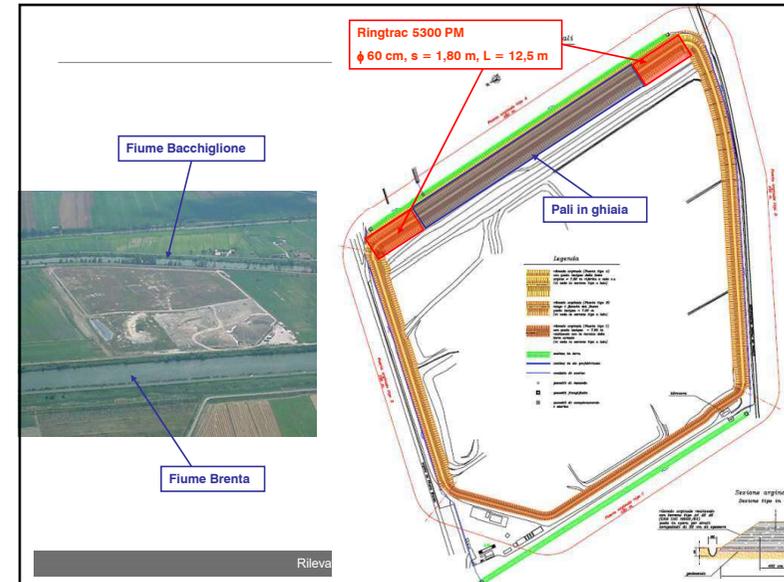
Il progetto di messa in sicurezza della discarica prevedeva, tra altri interventi, la realizzazione nuovi rilevati perimetrali con altezze fino a 9 m, che si sviluppano perpendicolari ai due fiumi innestandosi con gli argini esistenti.

Soluzione adottata

Per evitare problemi d'instabilità globale e l'effetto di punzonamento stato previsto il rinforzo alla base con un doppio strato di Stablenka 400.

Per evitare problemi di assestamenti differenziali e distorsione tra il nuovo rilevato e quelli esistenti, nelle zone vicine al raccordo sono state realizzati i pali Ringtrac, mentre nella parte restante del rilevato sono stati realizzati pali in ghiaia per accelerare il consolidamento.

Rilevati fondati su terreni problematici



Rilevati



Rilevati fondati su terreni problematici



Rilevati fondati su terreni problematici

RINGTRAC

Rilevati fondati su terreni problematici

RINFORZO PER L'ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ'

Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ



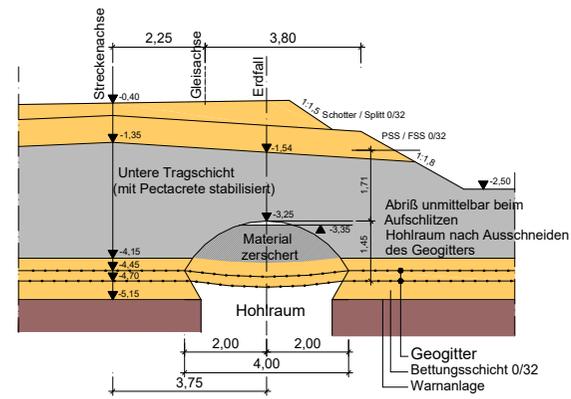




Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

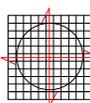
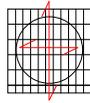
RINFORZO DI CAVITÀ LUNGO TRACCIATI STRADALI



Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

Modelli di trasferimento del carico

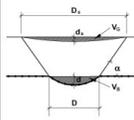
Load transfer models	biaxial	biaxial	uniaxial
Reinforcement	isotropic	anisotropic	ultra anisotropic
Principle presentation			
Design method	BS 8006 [2] Giroud et al. [3] B.G.E. [4] A.S.T. [5] Wang et al. [6]	B.G.E. [4]	Giroud et al. [3] R.A.F.A.E.L. [7] Wang et al. [6] BS 8006 [2]

Rilevati fondati su terreni problematici

ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

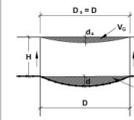
Metodi di calcolo per sistemi di spessori limitati:

- BS 8006: attraversamento biassiale con angolo $\theta \geq 80^\circ$ $H/D \leq 1,0$
- RAFAEL: attraversamento uniassiale per $H/D \leq 3,0$



$V_B = V_G$

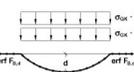
$\delta = f \left(\frac{\delta_s}{D} \right) \cdot \epsilon_d$



$V_B = C_e \cdot V_G$

$d = d_s + 2H (C_e - 1) \cdot \epsilon_d$

Membrane mit eingeschränkter Dehnung (max. ϵ_d) unter vertikaler Spannung



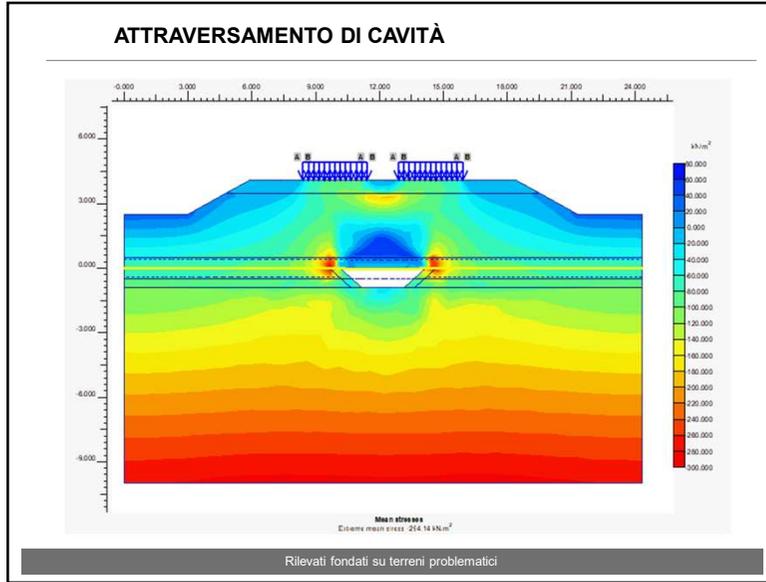
$\text{erf } F_{Bd} = 0,5 \cdot \lambda \cdot (\sigma_{OK} \cdot \gamma_G + \sigma_{OK} \cdot \gamma_G) \cdot D \cdot \sqrt{d_{sd}}$

bei $\epsilon = \epsilon_d = \frac{1}{3} \cdot \delta$

Valutazione della deformazione ammissibile dovuto all'assetamento della pavimentazione (d_s/D_s)

Valutazione della tensione di esercizio per la deformazione ammissibile del rinforzo ϵ_d

Rilevati fondati su terreni problematici



ATTRAVERSAMENTO DI CAVITÀ

PROGETTO GROEBERS (Germania - 2001):
Rinforzo mediante geogriglie in aramide di 1200 kN/m della fondazione di un rilevato ferroviario che attraversa un'area soggetta a cavità diffuse

Rilevati fondati su terreni problematici



PROGETTO GROEBERS (Germania - 2001):

Rinforzo mediante geogriglie in aramide Fortrac A 1200 kN/m di un rilevato ferroviario che attraversa un'area soggetta a cavità diffuse

Rilevati fondati su terreni problematici



Rilevati fondati su terreni problematici



Rilevati fondati su terreni problematici



Idee. Ingegneria. Innovazione.

Grazie per la vostra attenzione





Your project in safe hands.

Rilevati fondati su terreni problematici