



**MACCAFERRI**

Engineering a better solution

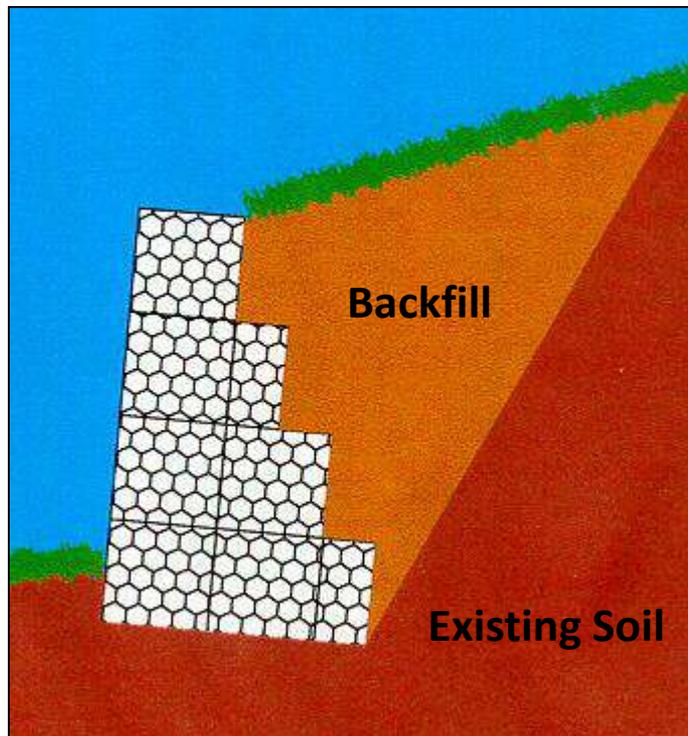
# OPERE IN TERRA RINFORZATA E GABBIONI

ANALISI E MITIGAZIONE DEL  
RISCHIO IDROGEOLOGICO  
22 NOVEMBRE 2018  
*Ing. Raffaele Abbate*

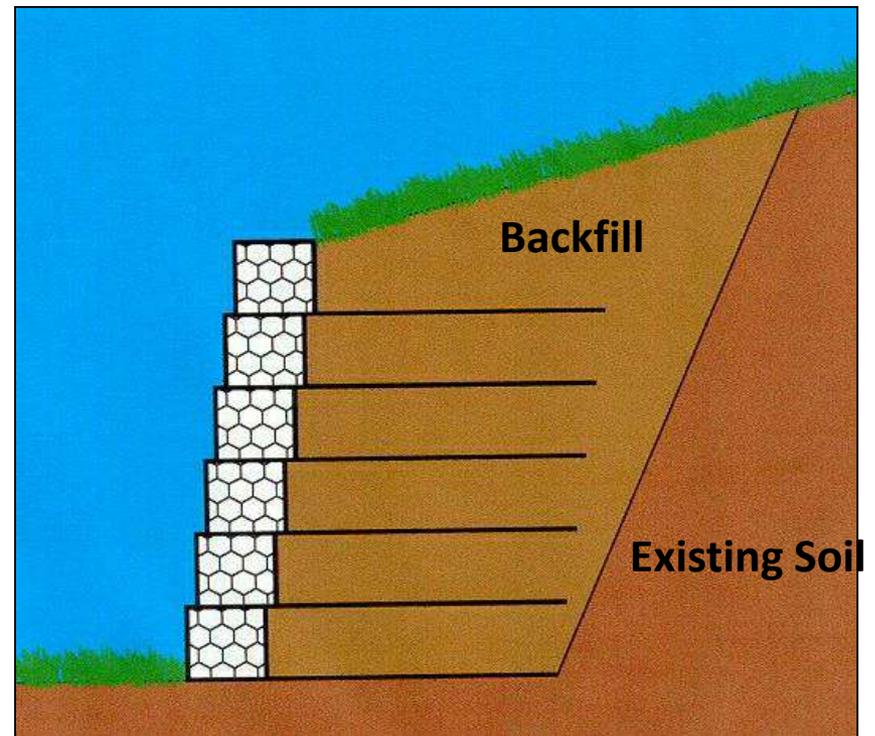


## OPERE DI SOSTEGNO: LE SOLUZIONI

### MURI A GRAVITA'



### TERRE RINFORZATE

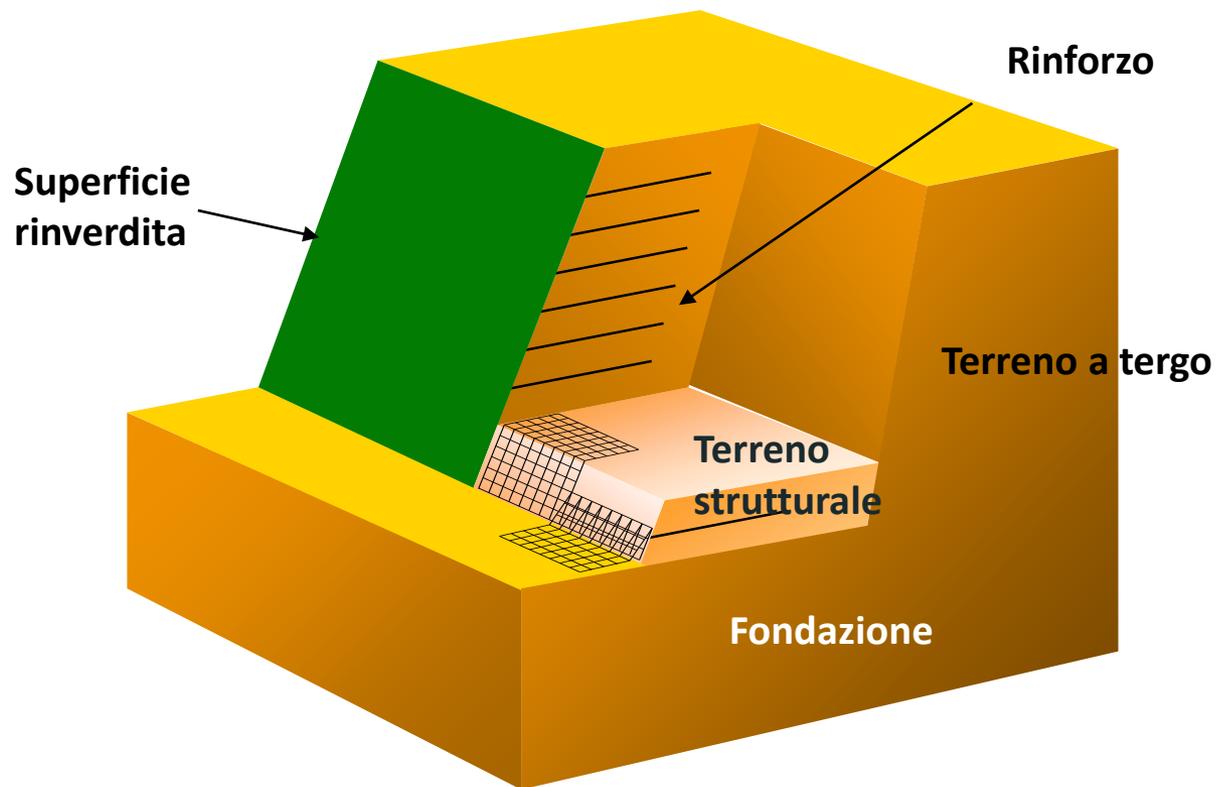


# SOMMARIO

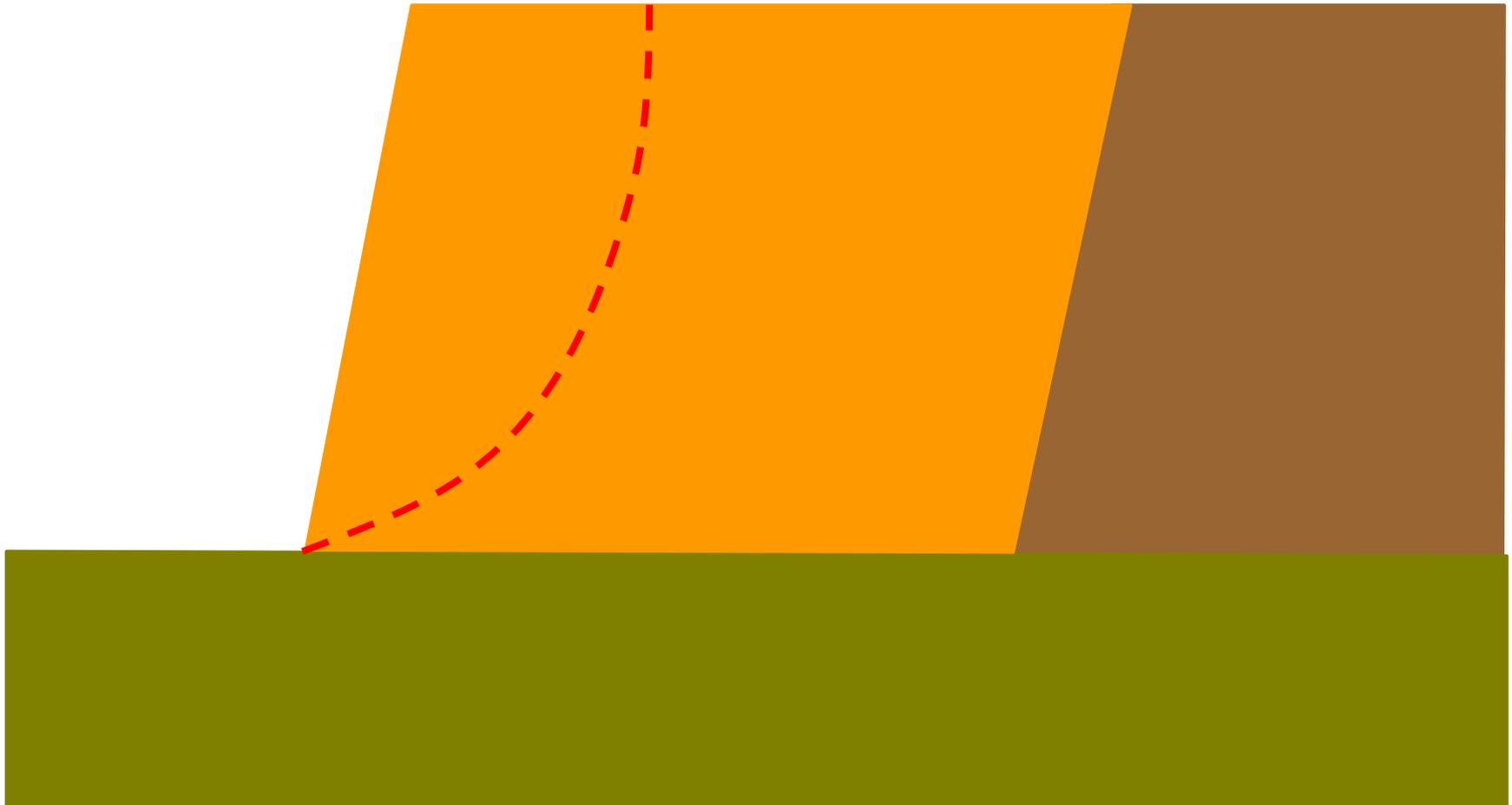
- **INTRODUZIONE ALLE TERRE RINFORZATE (TR)**
- **CARATTERISTICHE DEI RINFORZI**
- **LE SOLUZIONI**
- **IL SOFTWARE MACSTARS W**
- **CASE HISTORIES**



# LE TERRE RINFORZATE



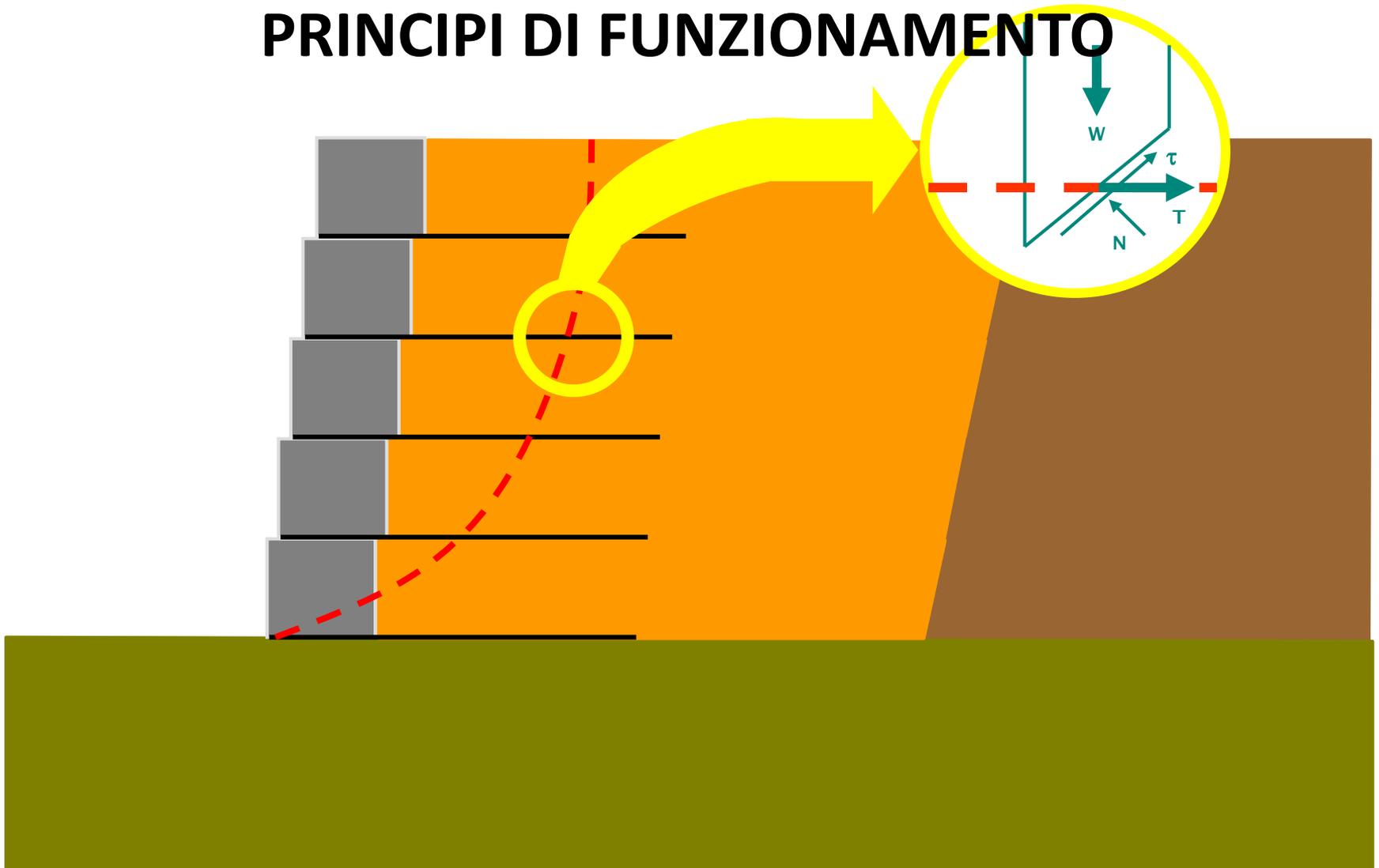
# **PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO**



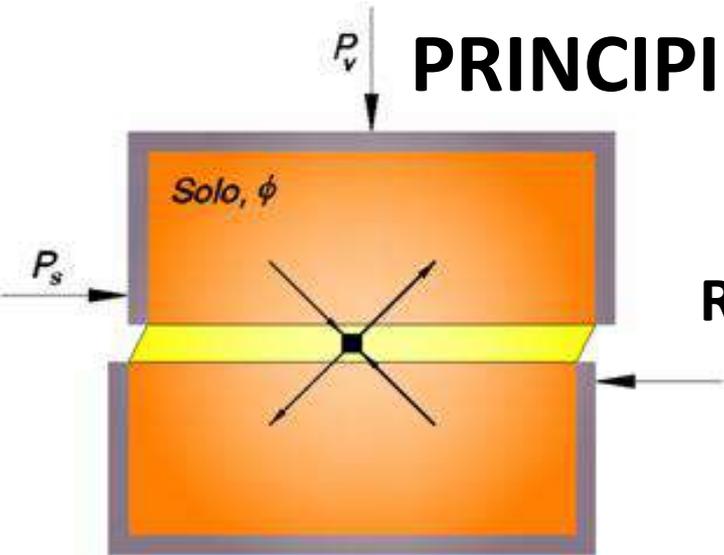
# **PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO**



# PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

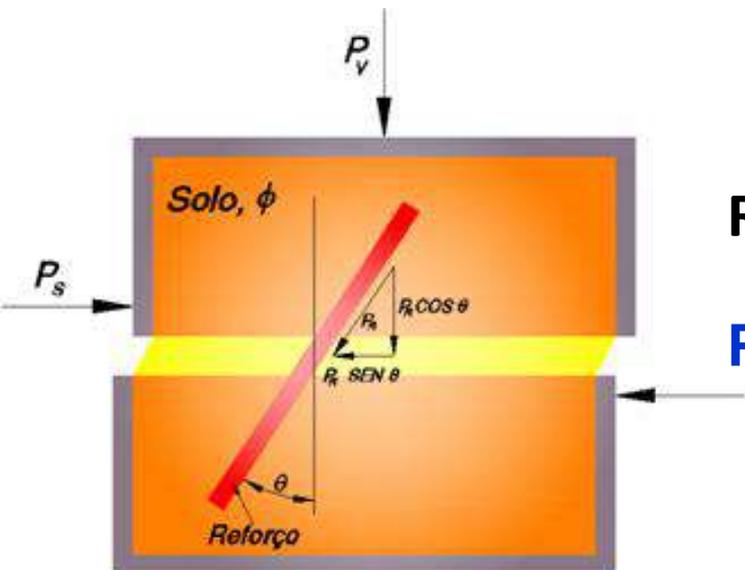


## PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



Resistenza al taglio in assenza di rinforzo

$$P_{\text{resisting}} = P_v \tan\phi$$



Resistenza al taglio in presenza di rinforzo

$$P_{\text{resisting}} = P_v \tan\phi + P_R (\sin\theta + \cos\theta \tan\phi)$$

(After Jewell & Wroth 1987)

## GEOSINTETICI: DEFINIZIONE (UNI EN ISO 10318)

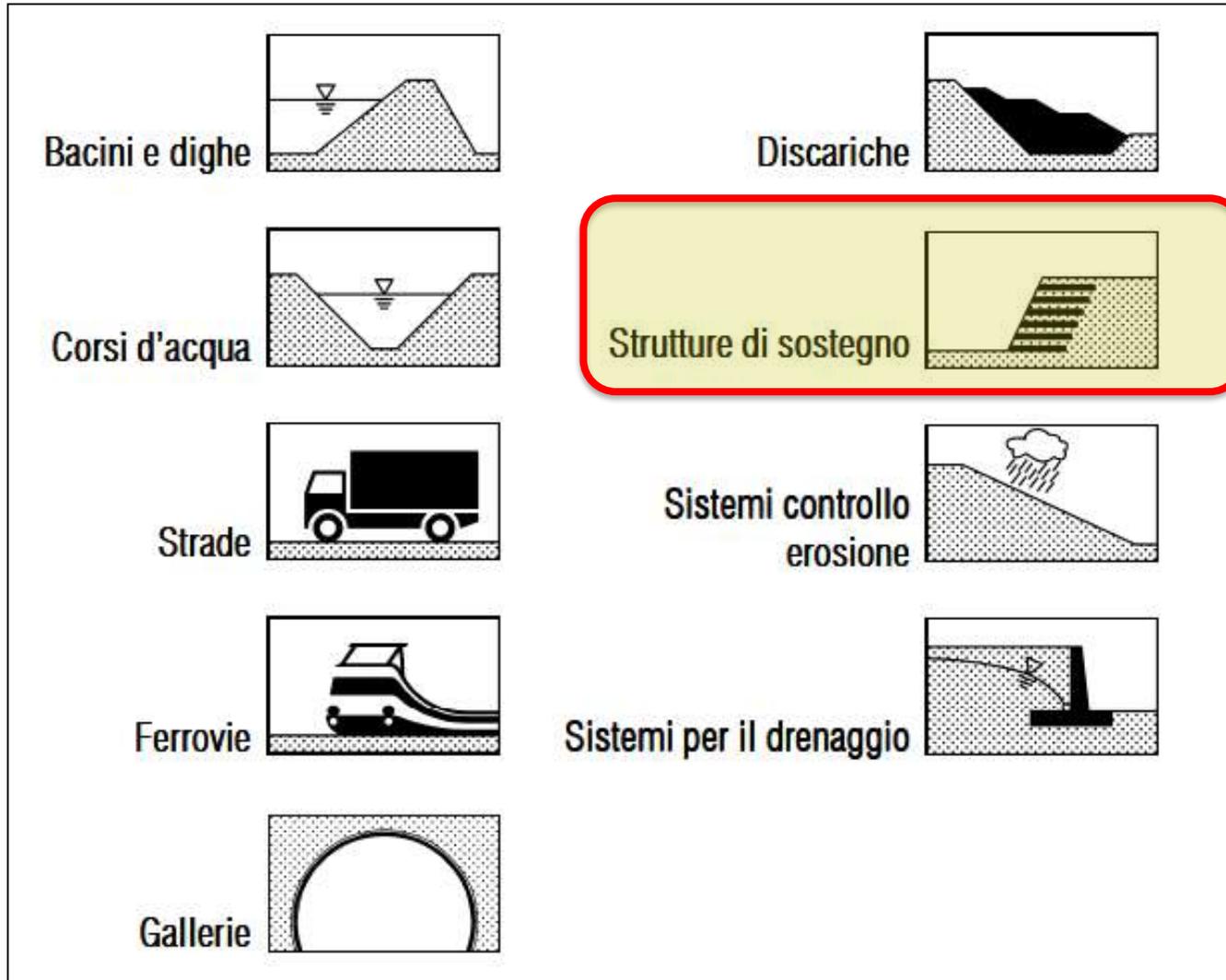
Termine generico che descrive un prodotto, del quale almeno un componente è fatto di un polimero sintetico o naturale, sotto forma di foglio, striscia o struttura tridimensionale, utilizzato in contatto con il terreno e/o altri materiali in applicazioni geotecniche e di ingegneria civile.

La Normativa Europea di riferimento, recepita in Italia, è la **UNI EN ISO 10318:2005 “Geosintetici - Termini e definizioni”**. In essa sono definite le terminologie suddivise per funzioni, proprietà ed altri termini e la simbologia applicabili ai geosintetici.

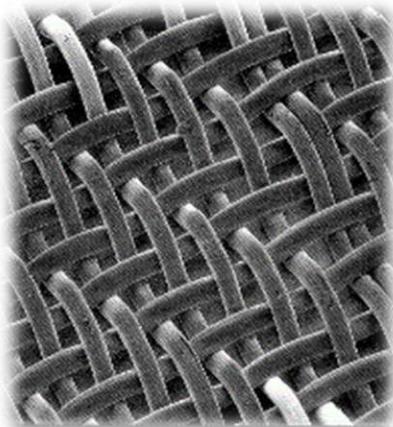
# GEOSINTETICI: FUNZIONI (UNI EN ISO 10318)



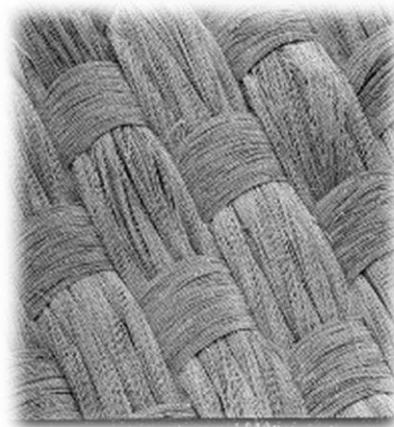
## GEOSINTETICI: CAMPI DI APPLICAZIONE



## PRODOTTI PER RINFORZO



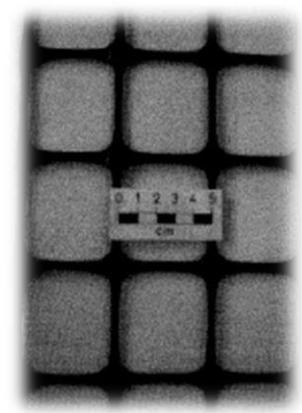
**monofilamento**



**multifilamento**



**estrusa  
monodirezionale**



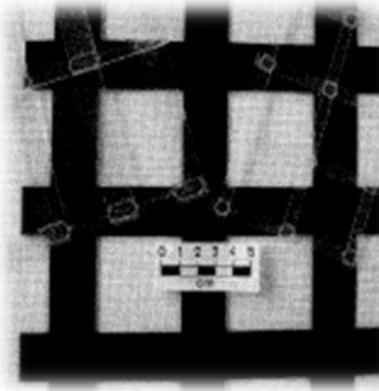
**estrusa  
bidirezionale**



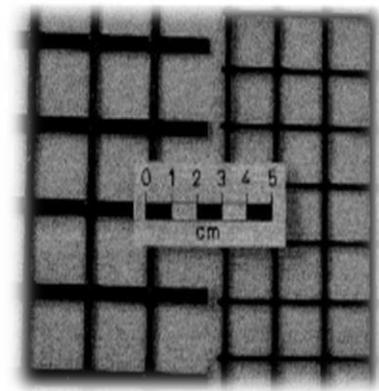
**a bandelle**



**a struttura orientata**



**saldata**

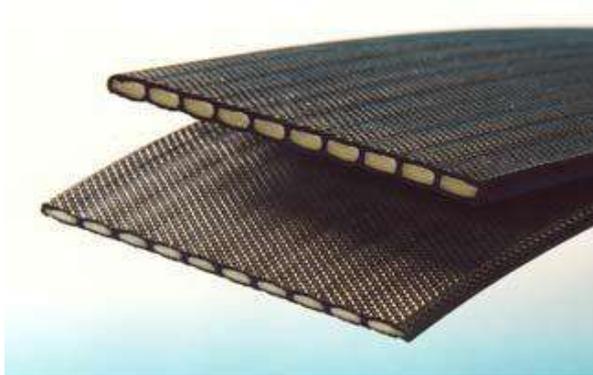


**tessuta**

**GEOTESSILI TESSUTI**

**GEOGRIGLIE**

## PRODOTTI PER RINFORZO



polimeriche



In acciaio

### BANDELLE



### GEOCOMPOSITI



### RETI DOPPIA TORSIONE

# CARATTERISTICHE DEI RINFORZI



## **CARATTERISTICHE DEI RINFORZI**

Sono due le principali proprietà dei rinforzi che devono essere attentamente valutate quando vengono utilizzati in combinazione con i terreni:

### **1 – RESISTENZA A TRAZIONE**

**a breve termine**

(i.e post produzione)

**a lungo termine LTDS**

(i.e dopo 5/60/100/120 anni)

### **2 – INTERAZIONE CON IL TERRENO**

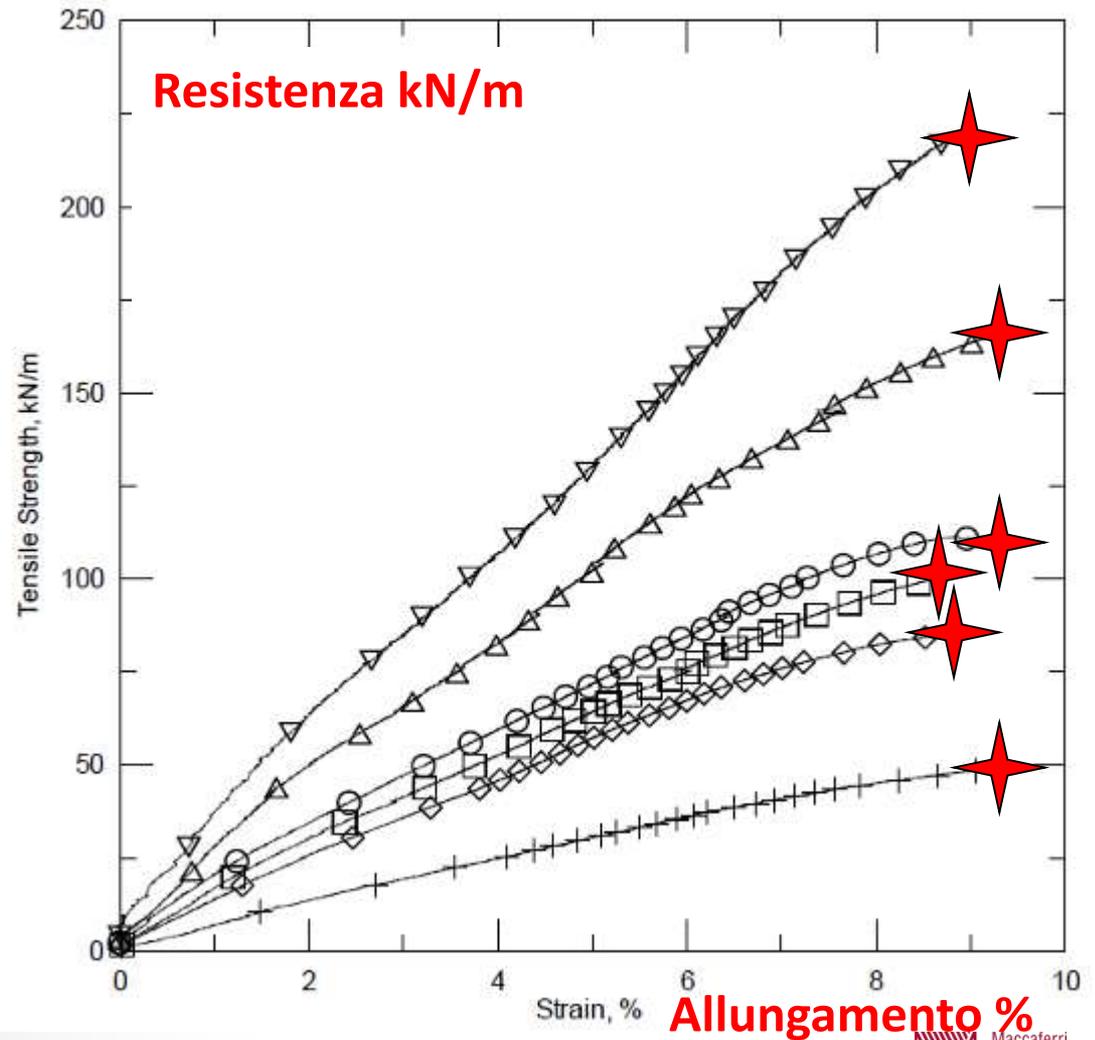
**pullout, scorrimento**

## RESISTENZA A TRAZIONE A BREVE TERMINE

Il valore caratteristico di resistenza a trazione (o UTS o NBL o  $R_{t;k}$ ) ed il suo relativo allungamento vengono valutati con un test di trazione su banda larga effettuati su:

- Campioni “Indisturbati” (dalla fabbrica al laboratorio)
- Temperatura 20°C (in esercizio si può avere 40°)
- Rottura dopo secondi (rapida applicazione del carico)

### RESISTENZA A TRAZIONE A BREVE TERMINE



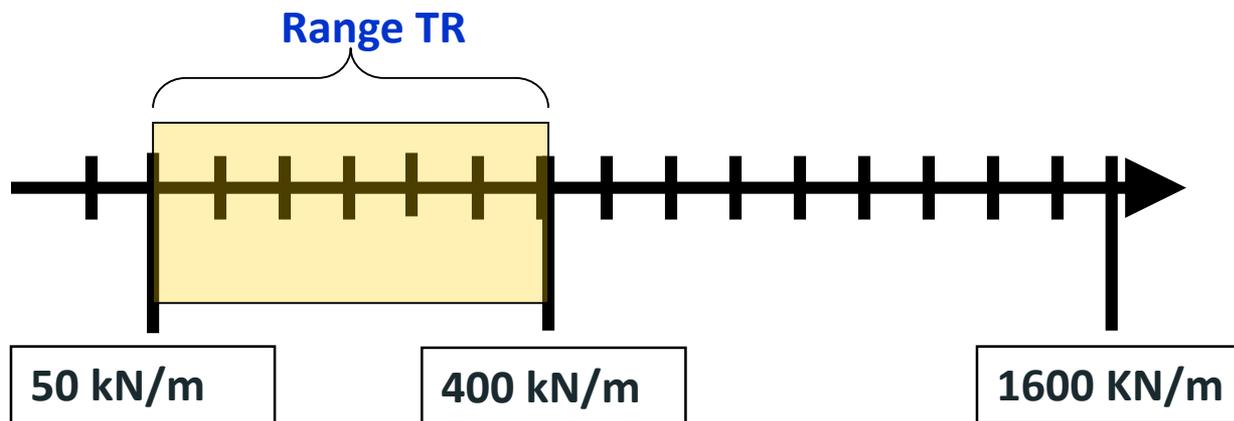
Allungamento %

## RESISTENZA A TRAZIONE A BREVE TERMINE

Attualmente sono disponibili rinforzi in grado di erogare una resistenza a trazione compresa nell'intervallo

$$UTS = 30 - 1600 \text{ kN/m}$$

Nelle TR di solito vengono impiegati rinforzi da 50 a 400 kN/m



## **RESISTENZA A TRAZIONE A LUNGO TERMINE (LTDS)**

Il Rinforzo può degradare a causa di attività fisico-chimiche nel terreno come **idrolisi, ossidazione, corrosione e stress cracking**.

Inoltre, questi materiali sono suscettibili ai **danni durante l'installazione** e agli **effetti della temperatura elevata**, che agiscono per **accelerare le deformazioni o i processi di invecchiamento**

**LA RESISTENZA DISPONIBILE ALLA FINE DELLA VITA UTILE DI PROGETTO (LTDS) DEVE ESSERE VALUTATA PRENDENDO IN CONSIDERAZIONE TUTTI QUESTI ASPETTI.**

# RESISTENZA A TRAZIONE A LUNGO TERMINE (LTDS)

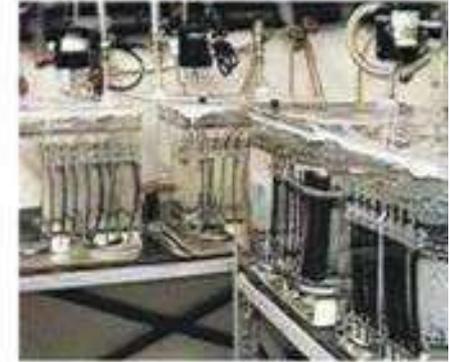
$$LTDS = \frac{\text{Ultimate strength of geosynthetic}}{F_{SCR} \times F_{ID} \times F_{D}}$$



Creep



Installation  
Damage



Durability  
Chemical & Biological

ISO TR 20432-2: Guida per la determinazione della resistenza a trazione a lungo termine dei geosintetici per il rinforzo dei terreni

### LTDS: EFFETTO DEL CREEP

Al variare del materiale si riscontra una notevole differenza del comportamento a creep

Valori tipici del  $F_{\text{creep}}$  a 20° e 120 anni sono nel range tra 1.4 – 5 per i materiali geosintetici

<b>MATERIALE</b>	<b>Fattore di riduzione <math>F_{\text{creep}}</math></b>
<b>ACCIAIO</b>	<b>1</b>
<b>HDPE</b> (Polietilene ad alta densità)	<b>2 – 3.5</b>
<b>PET</b> (Polietilene tereftalato)	<b>1.4 – 1.8</b>
<b>PP</b> (Polipropilene)	<b>4 – 5</b>
<b>PVA</b> (Polivinile Alcool)	<b>1.5 – 2.5</b>

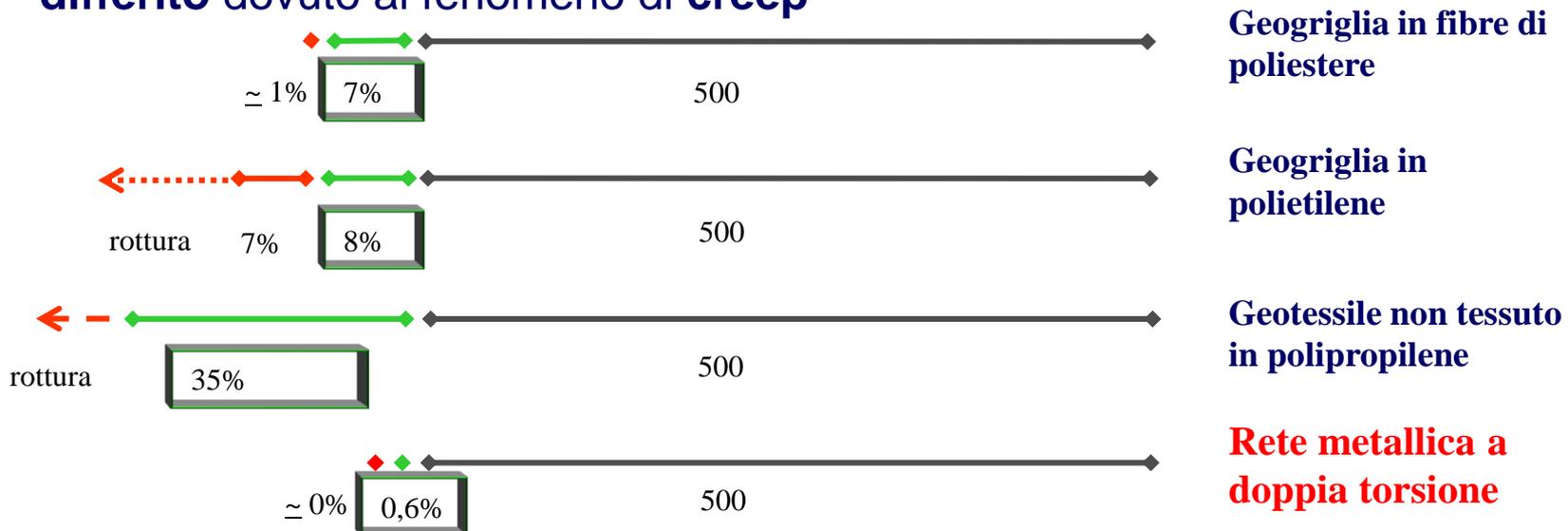
$$F_{\text{creep}} = 1 - 5$$

### UN ESEMPIO PER CAPIRE QUANTITATIVAMENTE QUALI SONO GLI EFFETTI DEL CREEP

I materiali sono posti in **trazione al 60%** del loro carico di rottura nominale e lasciati sotto carico **per un anno**.

Alla lunghezza iniziale di 5 m si aggiunge per ognuno l'**allungamento immediato** dovuto al carico e quello **differito** dovuto al fenomeno di **creep**

- ◄—————► Lunghezza iniziale = 500 cm
- ◄—————► Allungamento a fine lavori (%)
- ◄—————► Allungamento dopo un anno (%)



## LTDS: DANNEGGIAMENTO PER INSTALLAZIONE

I carichi e le sollecitazioni applicati su un rinforzo durante la fase di installazione possono essere quelli più severi a cui il rinforzo è soggetto. La posa e la compattazione di differenti tipo di terreni a contatto con i rinforzi possono generare una riduzione della sua resistenza a trazione



La quantità dei danneggiamenti inflitti al rinforzo dipenderanno dai seguenti fattori:

- **tipo di rinforzo (rivestimento protettivo)**
- **dimensioni e “spigolosità” del terreno**
- **metodo di compattazione**

## LTDS: DANNEGGIAMENTO PER INSTALLAZIONE

Nel caso di utilizzo di terreni di riempimento particolari (per dimensioni, aggressività, etc.) sono necessari test specifici per procedere con una progettazione adeguata.

Tipici valori di  $F_{dam}$  per un riempimento con terreni granulari ghiaiosi si attestano tra 1.05 e 1.5

MATERIALE	Fattore di riduzione $F_{dam}$
ACCIAIO	1.1 – 1.4
HDPE (Polietilene ad alta densità)	1.1 – 1.5
PET (Polietilene tereftalato)	1.05 – 1.15
PP (Polipropilene)	1.1 – 1.5
PVA (Polivinile Alcool)	1.05 – 1.2

$$F_{damage} = 1.05 - 1.5$$

### LTDS: DANNEGGIAMENTO PER INSTALLAZIONE

Una ulteriore, ma pericolosa causa di di danneggiamento è la scarsa cura durante le procedure di installazione.....



Spaccare massi sopra i rinforzi...



Transitare con i veicoli sopra i rinforzi...

## LTDS: EFFETTI AMBIENTALI

Questo fattore di riduzione dipende dalla sensibilità del materiale del rinforzo ai seguenti fattori ambientali:

- **Aggressione Chimica**
- **Ossidazione termica**
- **Idrolisi**
- **Microrganismi**
- **UV**
- **pH del terreno**
- **Temperatura**

### Test per misurare la sensibilità a tali fattori:

ISO 13439 - *Geotextiles and geotextile-related products - Screening test method for determining the resistance to hydrolysis*

ISO 12960 - *Geotextiles and geotextile-related products - Screening test method for determining the resistance to liquids [acids and alkalis]*

## LTDS: EFFETTI AMBIENTALI

Il progettista deve tenere in considerazione gli specifici aspetti del sito di applicazione

Valori tipici di  $F_{env}$  per  $4 < \text{pH} < 9$  sono compresi tra 1.05 – 1.1

<b>Materiale</b>	<b>Fattore di riduzione <math>F_{env}</math></b>
<b>ACCIAIO (rivestito)</b>	<b>1.05 – 1.1</b>
<b>HDPE</b> (Polietilene ad alta densità)	<b>1.0 – 1.1</b>
<b>PET</b> (Polietilene tereftalato)	<b>1.0 – 1.1</b>
<b>PP</b> (Polipropilene)	<b>1.0 – 1.1</b>
<b>PVA</b> (Polivinile Alcool)	<b>1.0 – 1.1</b>

$$F_{env} = 1 - 1.1$$

**LTDS: FATTORE DI RIDUZIONE GLOBALE**

<b>MATERIALE</b>	<b>Fattore di riduzione <math>F_{TOT}</math></b>
<b>ACCIAIO (rivestito)</b>	<b>1.09 – 1.26</b>
<b>HDPE</b> (Polietilene ad alta densità)	<b>2.2 – 5.8</b>
<b>PET</b> (Polietilene tereftalato)	<b>1.5 – 2.3</b>
<b>PP</b> (Polipropilene)	<b>4.4 – 8.2</b>
<b>PVA</b> (Polivinile Alcool)	<b>1.6 – 3.3</b>

### UTS E LTDS: PRESTAZIONI DA DICHIARARE

#### Proprietà a breve termine

##### Mechanical Index Properties

Tensile Strength , $T_{ult}$ - MD min	ASTM D6637	kN/m	40	60	80	100	150	200
Tensile Strength , $T_{ult}$ - CD min	ASTM D6637	kN/m	30	30	30	30	30	30
Elongation - MD	ASTM D6637	%	10	10	10	10	11	12
Tensile Strength at 5% Strain- MD min	ASTM D6637	kN/m	30	37	50	60	80	100

##### Long-Term Design Properties

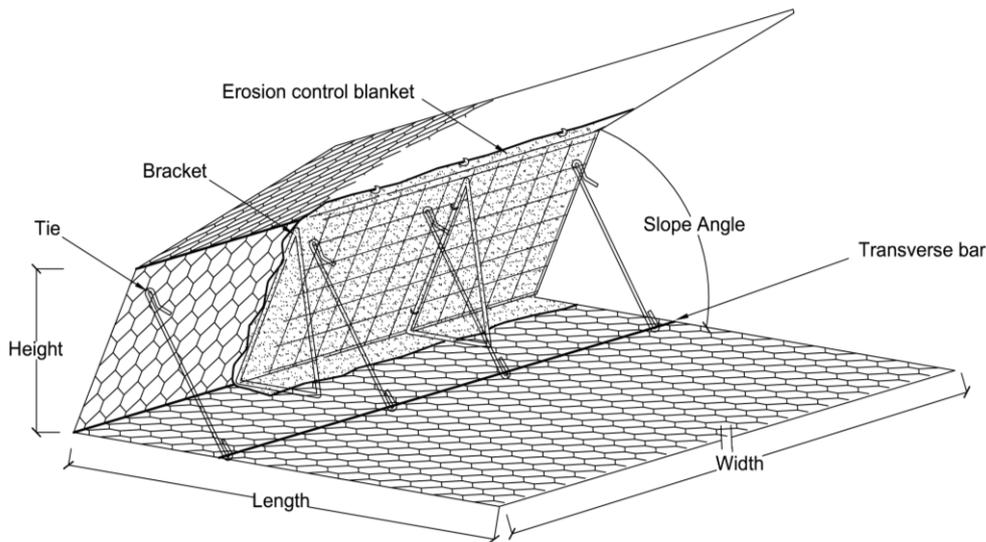
Creep Reduction Factor, $RF_{CR}$	ASTM D5262		1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Installation Damage Reduction Factor, $RF_{ID}$	ASTM D5818		1.35	1.34	1.32	1.3	1.26	1.21
Durability Reduction Factor, $RF_D^4$			1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Reduction Factor, $RF=RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D$			2.25	2.23	2.2	2.17	2.1	2.02
LTDS (114 yrs), $T_{allow}^1$		kN/m	18	27	36	46	71	99

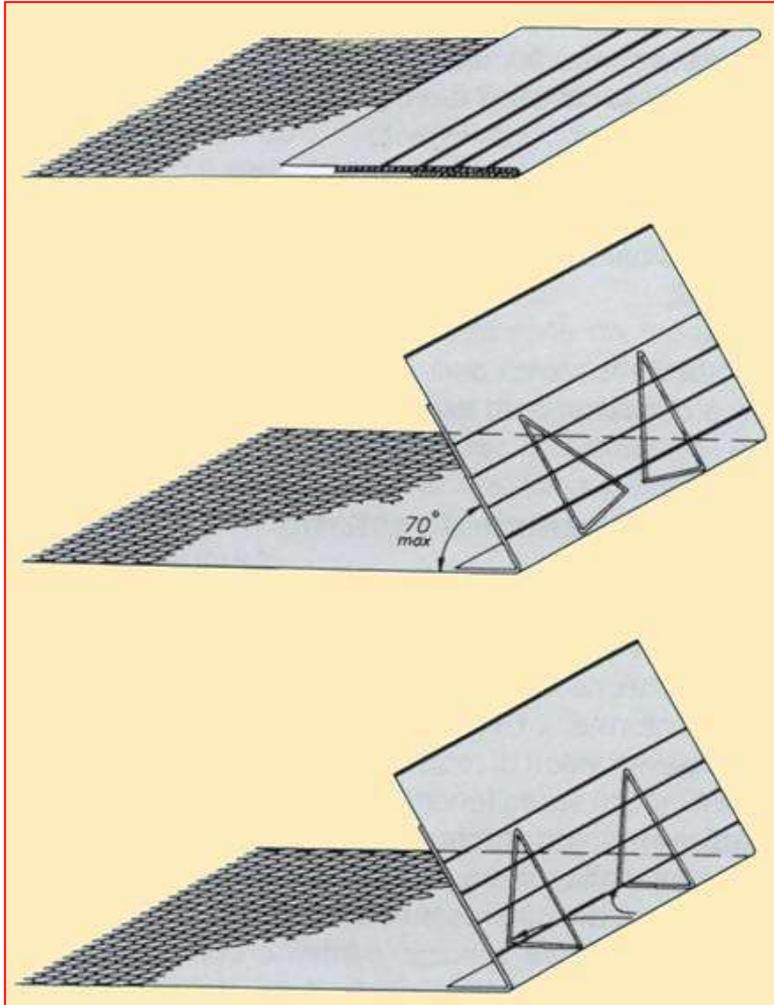
#### Proprietà a Lungo termine

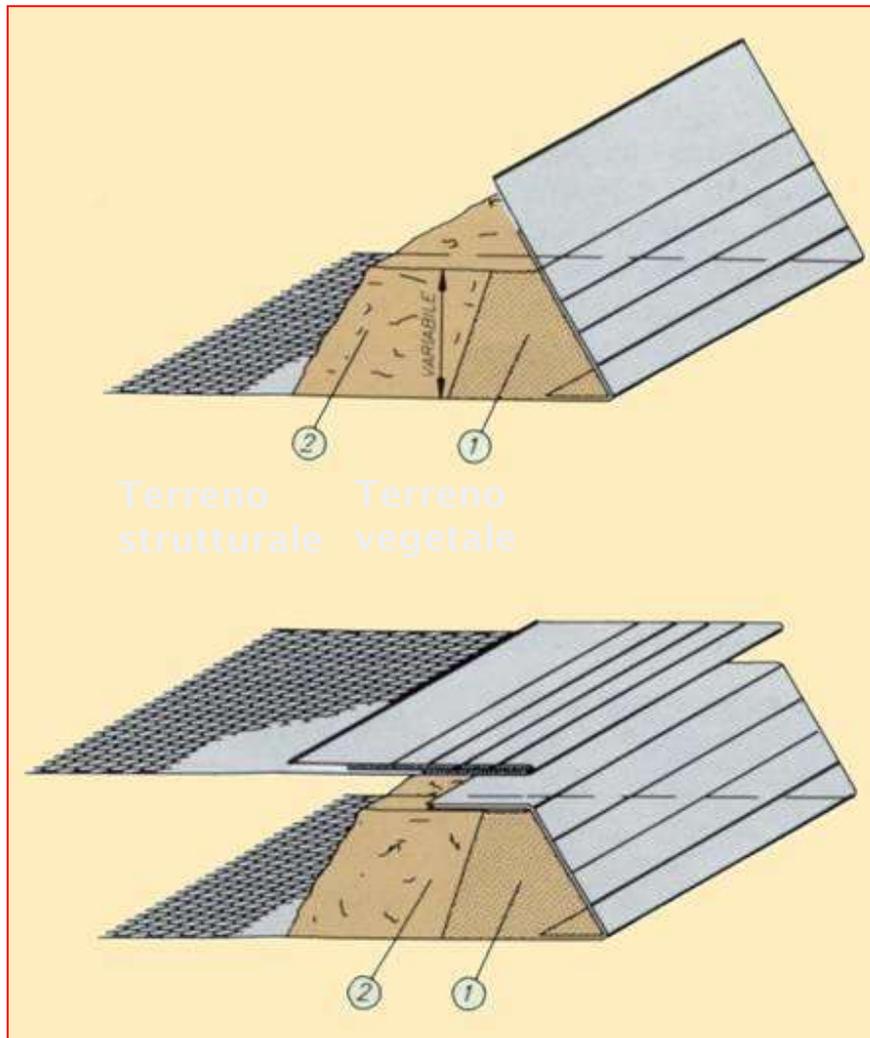


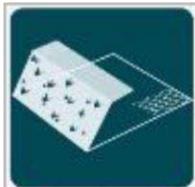
# TERRAMESH<sup>®</sup> VERDE

Il Terramesh<sup>®</sup> Verde è costituito da rinforzo in rete DT risvoltato a paramento rinverdibile. Gli elementi sono forniti già a misura senza richiedere sagomature o tagli in cantiere









Green  
Terramesh®

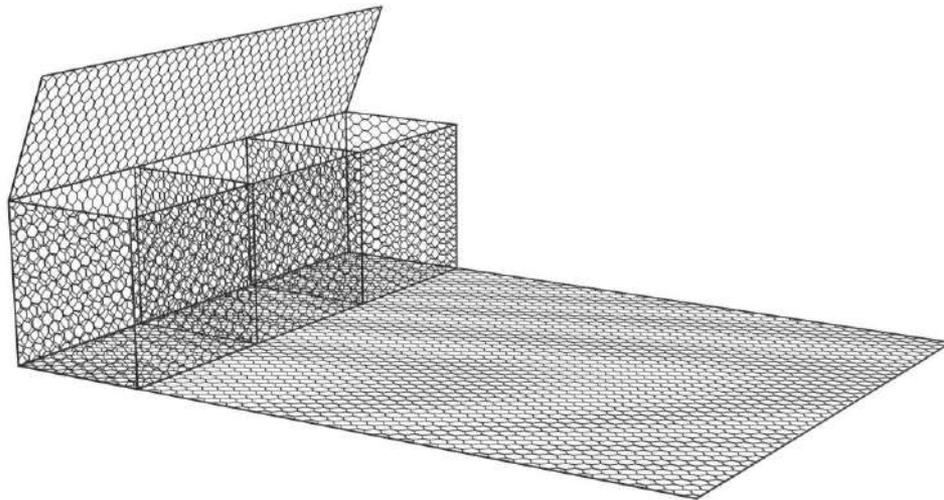


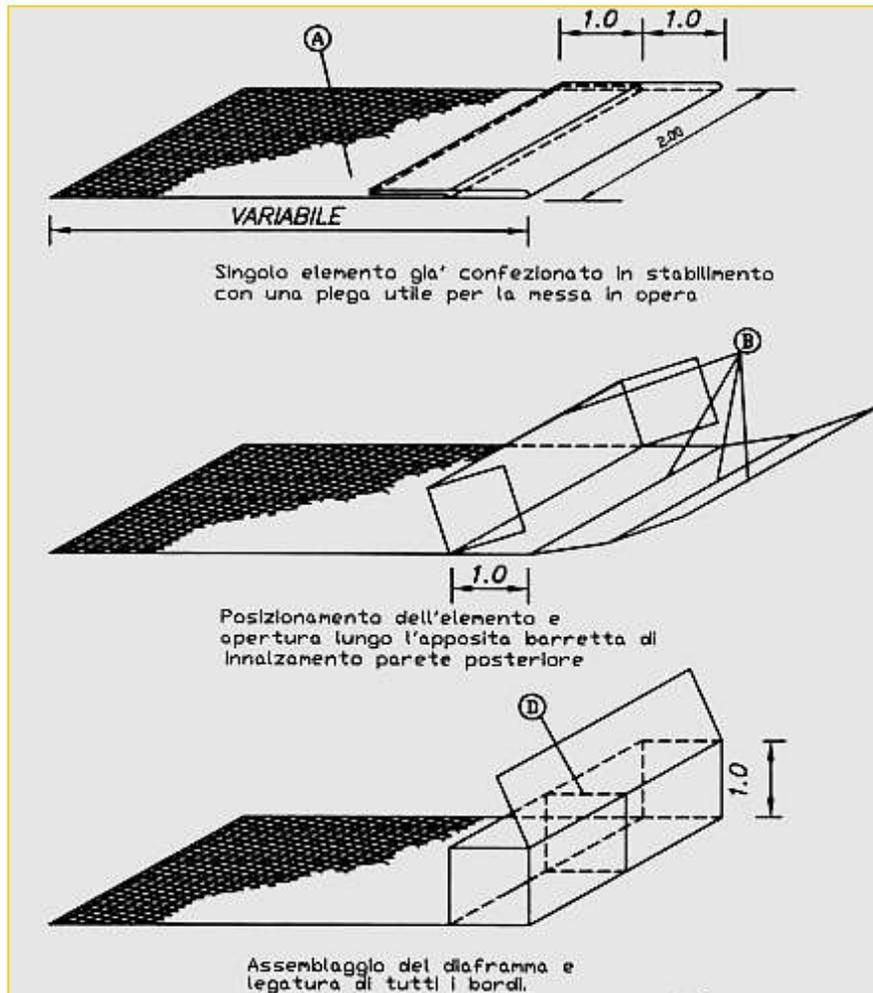
25.01.2008 11:17

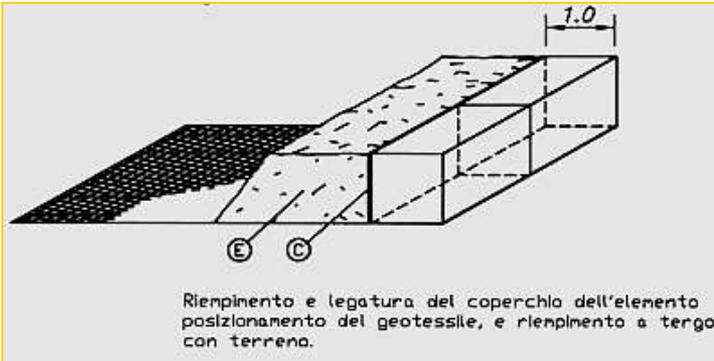


## TERRAMESH<sup>®</sup> SYSTEM

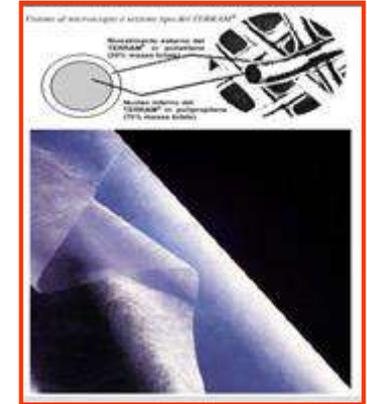
Il Terramesh<sup>®</sup> System è costituito da un paramento in gabbioni connesso all'elemento di rinforzo. Gli elementi sono forniti già a misura senza richiedere ulteriori tagli in cantiere







A tergo dello scatolare è norma porre un geotessile non tessuto, con funzioni di separatore e filtro.

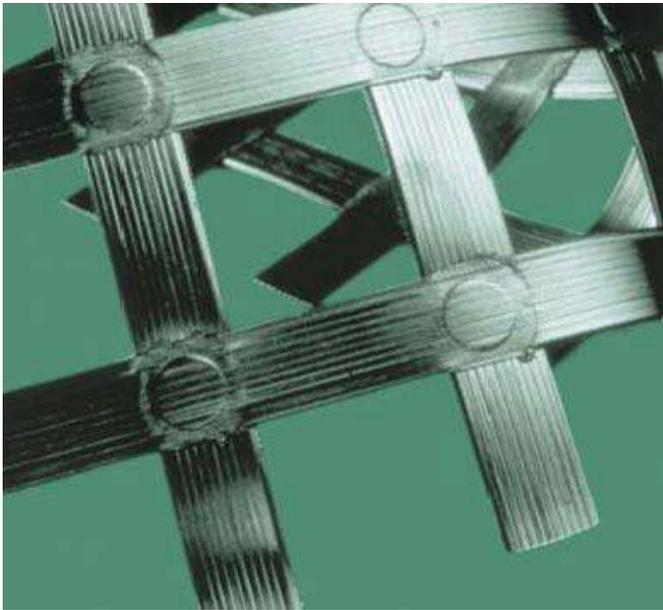




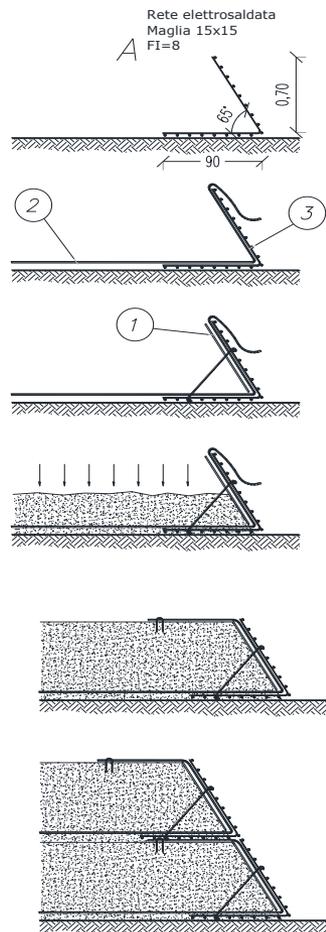


## GEOGRIGLIE

Terre rinforzate con geogriglie in poliestere ad alta tenacità (ParaGrid®) con resistenza nominale fino a 200 kN/m

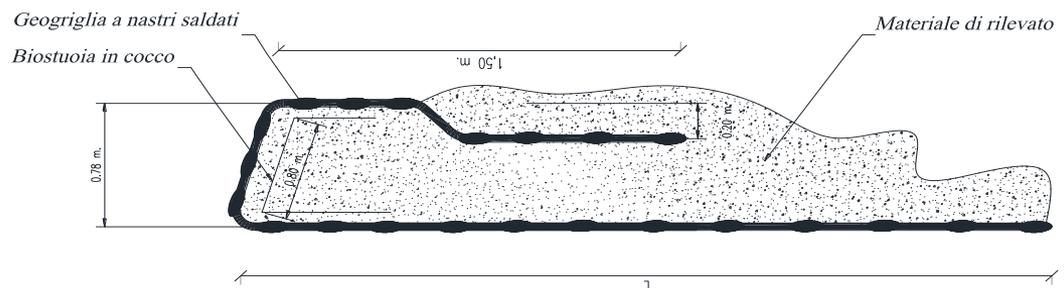


## Modalità di posa in opera



- ① *Biostuoia in cocco*
- ② *Geogriglia*
- ③ *Pannello di rete elettrosaldata*

## Particolare costruttivo SCALA 1 :20



# PROPRIETA' DEI TERRENI



## SPECIFICA TIPO PER RILEVATI STRUTTURALI

Il terreno di riempimento che costituisce il rilevato strutturale dell'opera dovrà appartenere ai gruppi della UNI 10006

**A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5**

con esclusione di pezzature superiori a 150 mm.

Il materiale con dimensioni superiori a 100 mm è ammesso con percentuale inferiore al 15% del totale.

In ogni caso saranno esclusi elementi di diametro maggiore o uguale a 150 mm, e i materiali che, da prove opportune, presentino angoli d'attrito minori di quelli previsti in progetto.

## **CARATTERISTICHE DI MACSTARS W**

E' un software concepito per la progettazione di strutture in terra rinforzata e gabbioni ed analisi di stabilità dei pendii, che contempla tutte le combinazioni possibili di coefficienti riportate nel Nuovo Testo Unico per le Costruzioni 2008

- stratigrafie qualunque
- presenza d'acqua
- accelerazioni sismiche
- Sovraccarichi
- Tiranti
- rinforzi di ogni tipo e rigidezza
- stabilità interna
- stato tensionale indotto nei rinforzi
- verifica di stabilità come opera di sostegno
- stabilità globale
- cedimenti del terreno di fondazione

**CONSULENTI**

**Prof. Ghionna (Politecnico di Torino)**

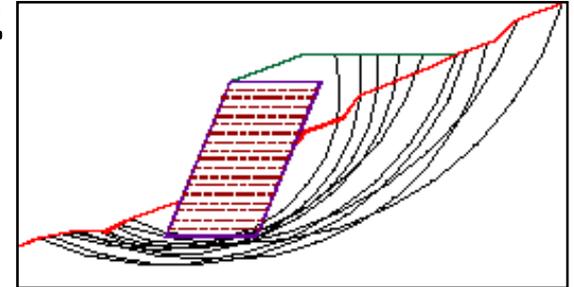
**Studio Geotecnico Italiano**

**Prof. Bathrust (Canada)**

## TIPI DI VERIFICHE

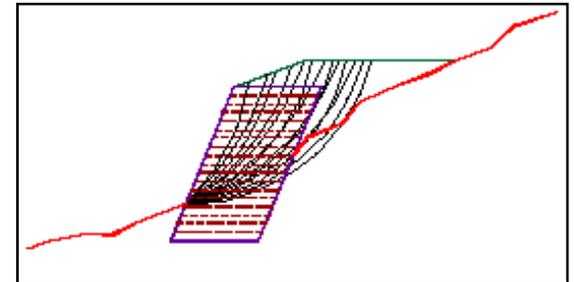
### STABILITA' GLOBALE

- sulle possibili superfici di scorrimento che interessano l'opera nel suo complesso



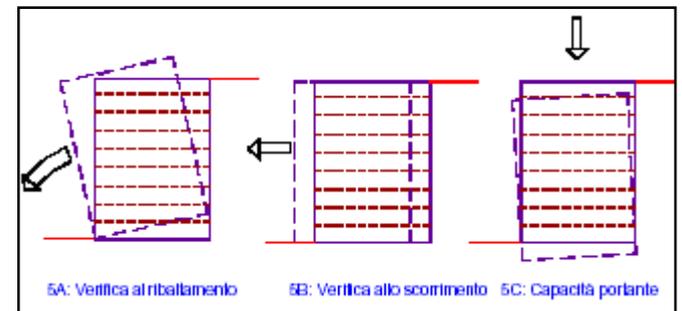
### STABILITA' INTERNA

- sulle possibili superfici di scorrimento che interessano la sola opera di sostegno



### OPERA DI SOSTEGNO

- Verifica al ribaltamento
- Verifica allo scorrimento
- Verifica della capacità portante



## DEFINIZIONE DATI DI INPUT

**Combinazione di carico**

Lista Combinazioni

A1 + M1 + R1  
 A1 + M1 + R3  
**A2 + M2 + R2**  
 EQU + M2 + Kh±Kv  
 EQU + M2 + R1  
 M1+R1+ Kh±Kv  
 M2+R2+ Kh±Kv  
 M2+R3+ Kh±Kv

**Configurazione carichi distribuiti**

Sigla: P1

descrizione:

Intensità [KPa]: 20      Inclinazione [°]: -10

Estensione [m]:  
 Da: 20.1      A: 21.9

Classe Moltiplicatore

Permanente - favorevole

- Permanente - favorevole
- Permanente - sfavorevole
- Permanente non strutturale - favorevole
- Permanente non strutturale - sfavorevole**
- Variabile - favorevole
- Variabile - sfavorevole

**Configurazione terreno**

Sigla: T1

descrizione: Terreno di Base

Parametri elastici per calcolo cedimenti

Colore: ████████████████████

Coesione [KPa]: 20      Angolo d'attrito [°]: 24      Ru: 0

Classe Moltiplicatore per attrito

Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

Peso specifico [KN/m³]

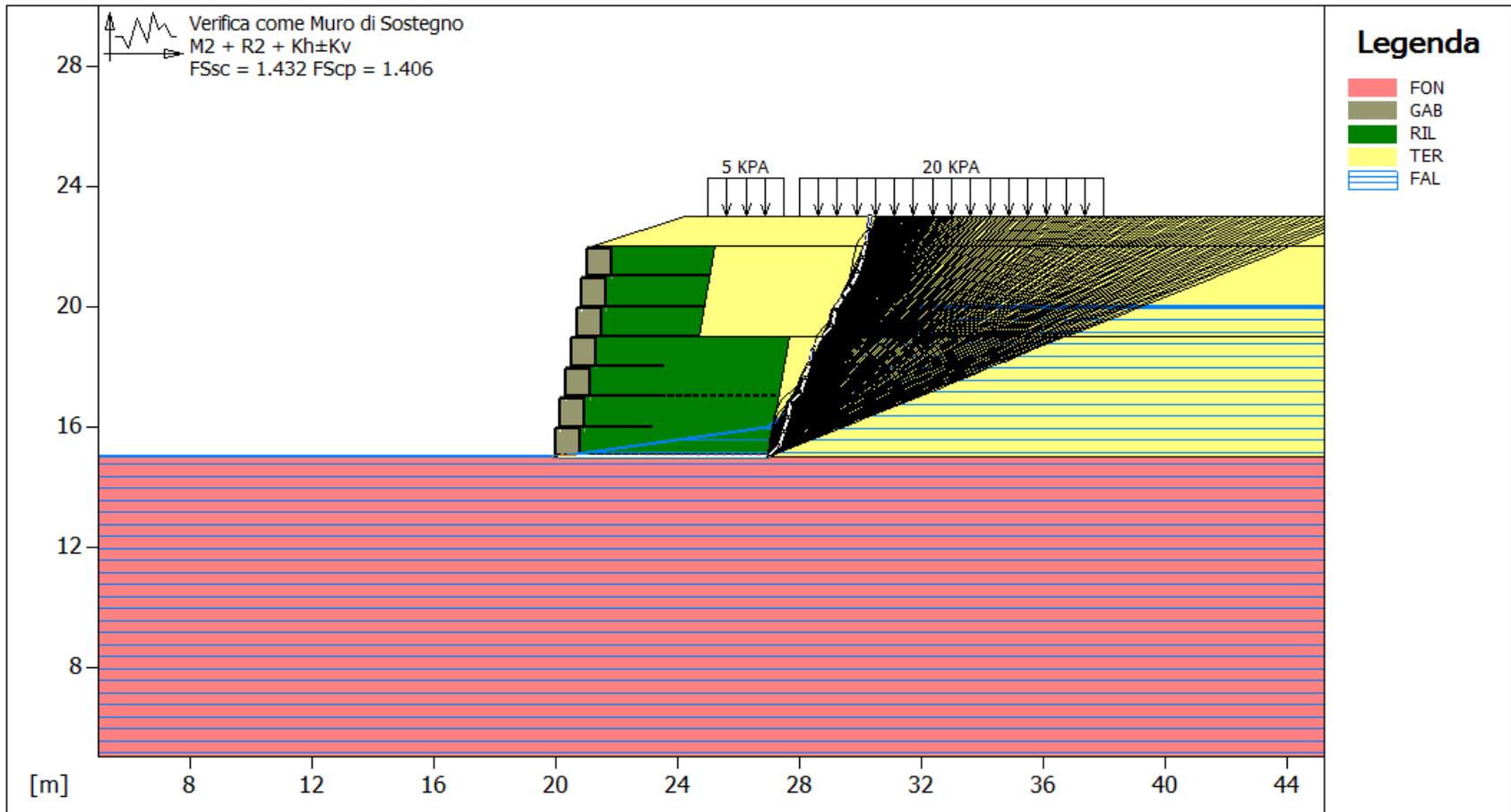
Saturo: 19      Secco: 18

Classe Moltiplicatore

Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole

- Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
- Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
- Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole

## VERIFICA COME OPERA DI SOSTEGNO



**MACCAFERRI**

**Proposta:** Esempio di calcolo con NTC 2008

Data:  
04/08/2015

**MacStARS W**

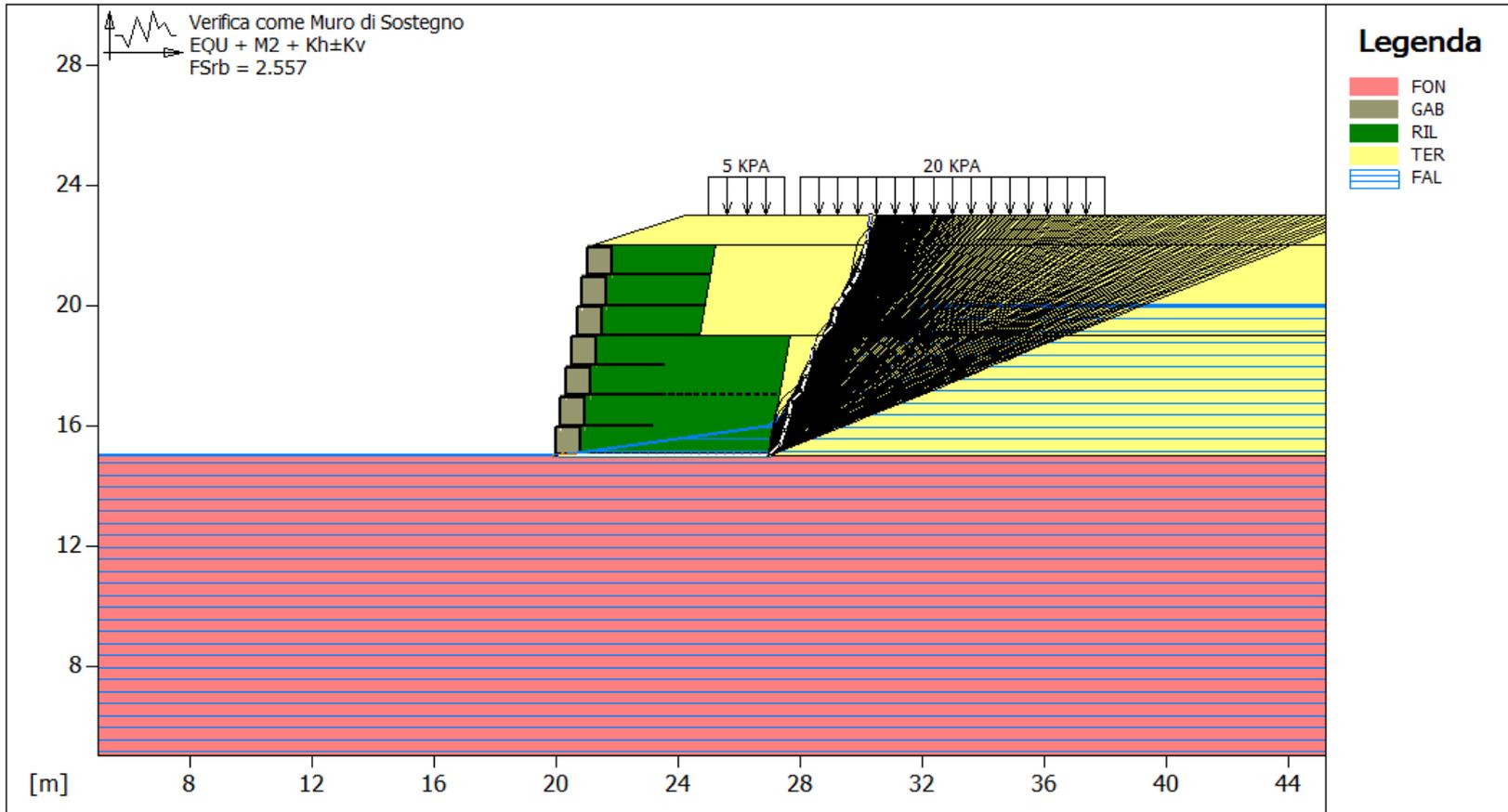
Maccaferri Stability Analysis of  
Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

**Sezione:**

**Documento:** Esempio NTC 2008

Pratica:

## VERIFICA COME OPERA DI SOSTEGNO



**MACCAFERRI**

**Proposta:** Esempio di calcolo con NTC 2008

Data:  
04/08/2015

**MacStARS W**

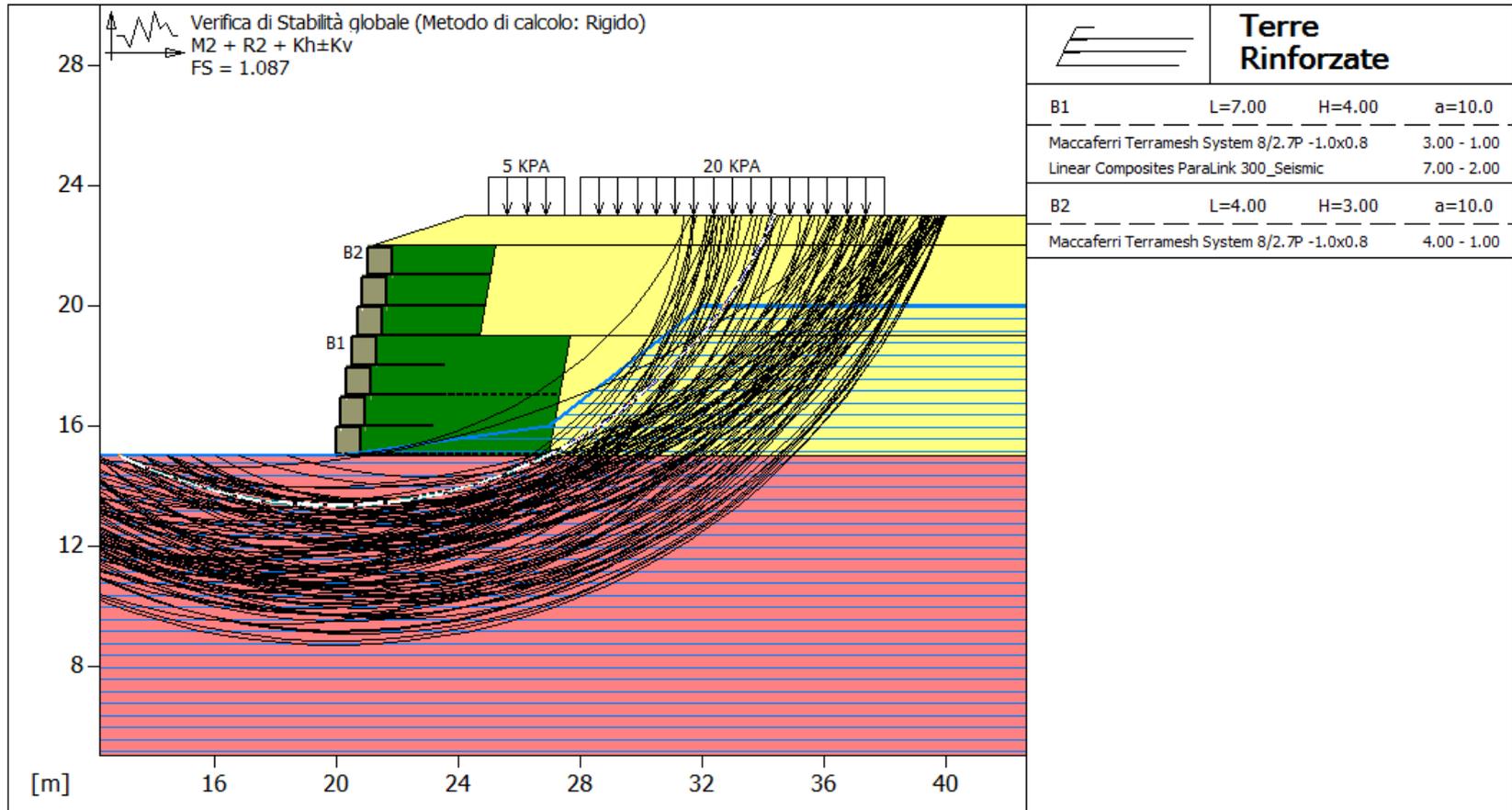
Maccaferri Stability Analysis of  
Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

**Sezione:**

**Documento:** Esempio NTC 2008

Pratica:

## VERIFICA STABILITA' GLOBALE



**MACCAFERRI**

**Proposta:** Esempio di calcolo con NTC 2008

Data:  
04/08/2015

**MacStARS W**

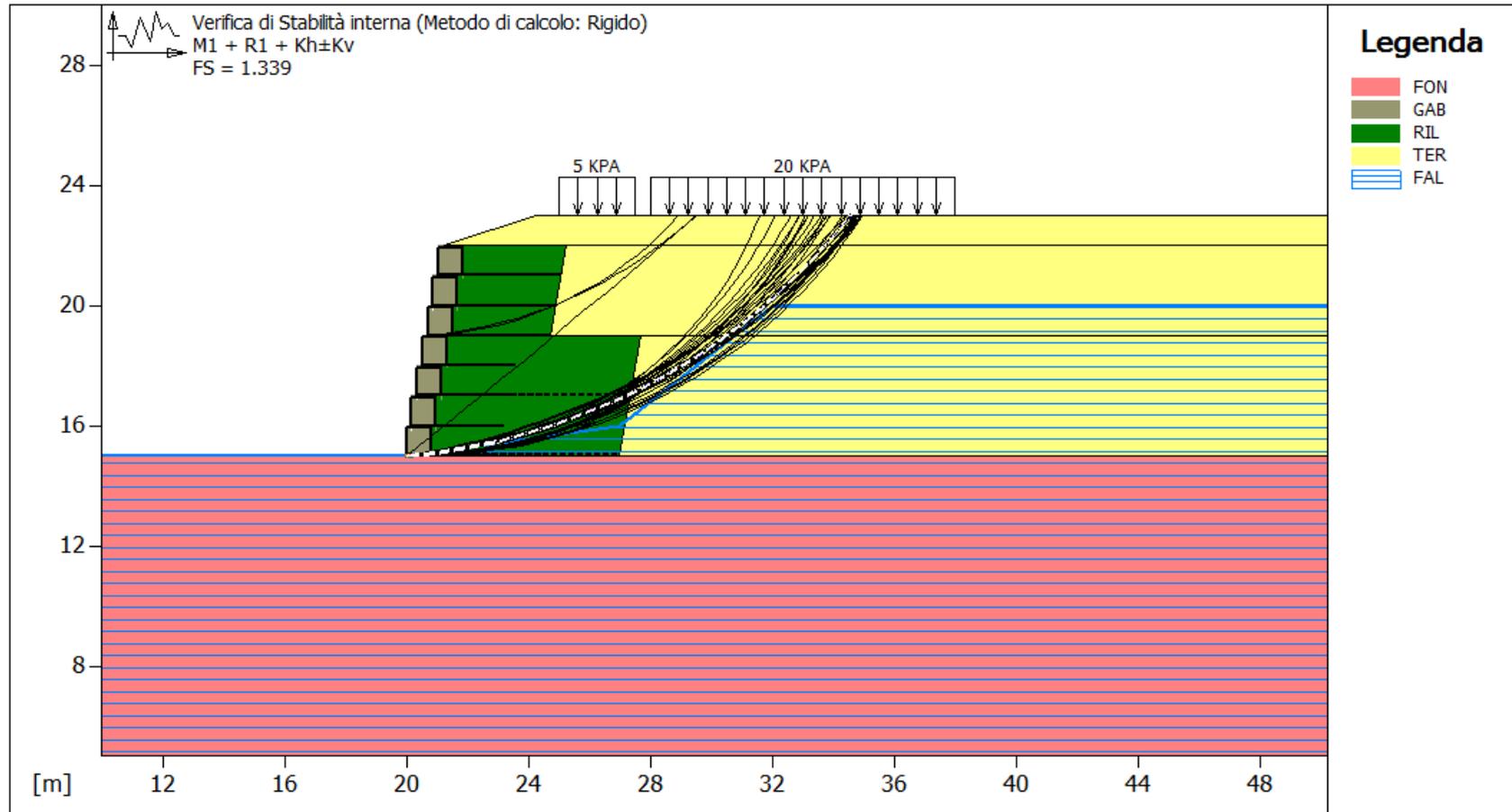
Maccaferri Stability Analysis of  
Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

**Sezione:**

**Documento:** Esempio NTC 2008

Pratica:

## VERIFICA STABILITA' INTERNA



**MACCAFERRI**

**Proposta:** Esempio di calcolo con NTC 2008

Data:  
04/08/2015

**MacStARS W**

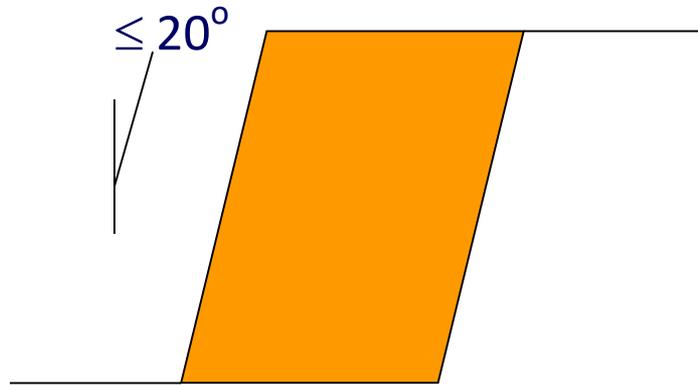
**Sezione:**

Pratica:

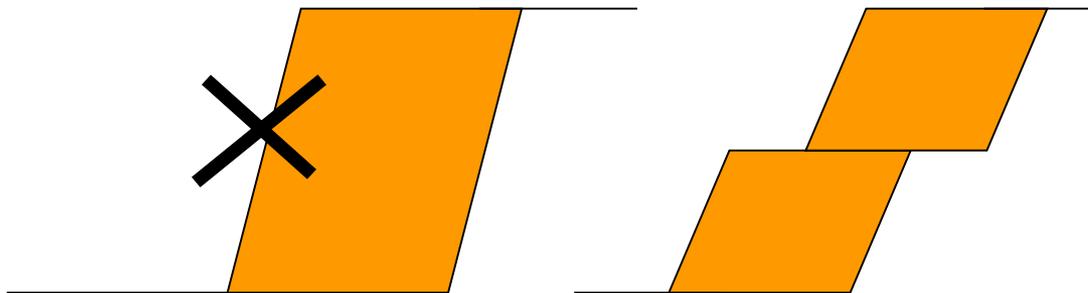
Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0

**Documento:** Esempio NTC 2008

## INDICAZIONI PROGETTUALI

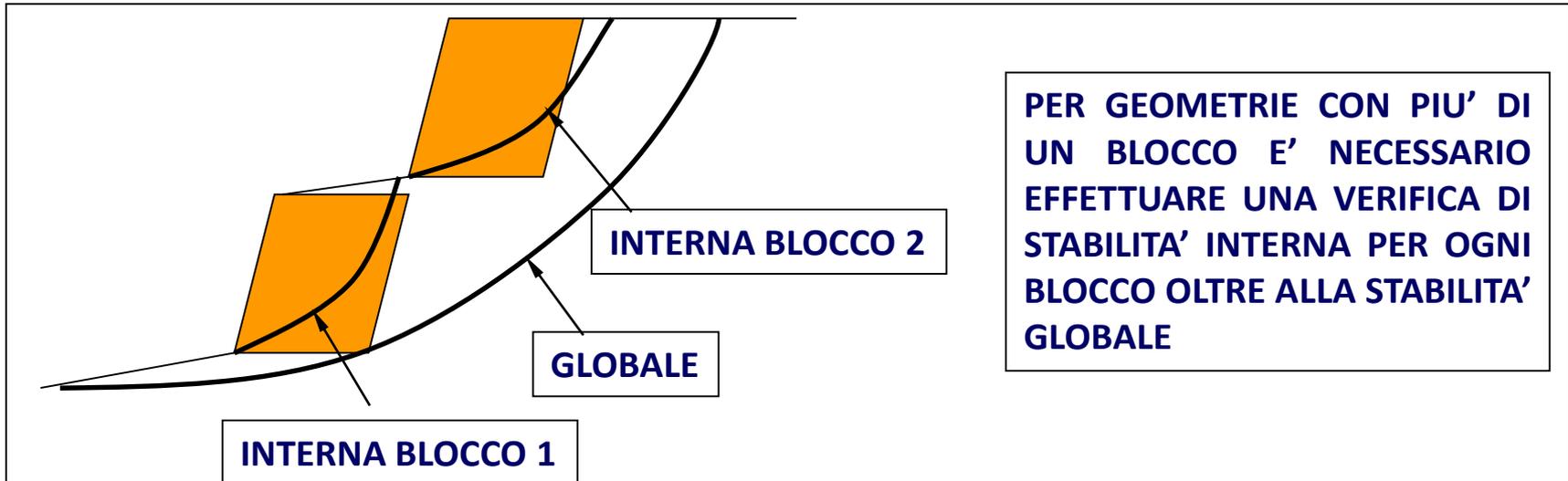


Quando possibile, sono raccomandate scarpate con inclinazione inferiore a  $70^\circ$



Per strutture di altezza superiore a 10-12 m è opportuno creare berme intermedie

# INDICAZIONI PROGETTUALI



# **QUALI SONO LE CAUSE DI POSSIBILI CEDIMENTI DELLE STRUTTURE IN TERRA RINFORZATA?**

## 3 PROBLEMI PRINCIPALI

### 1. ACQUA

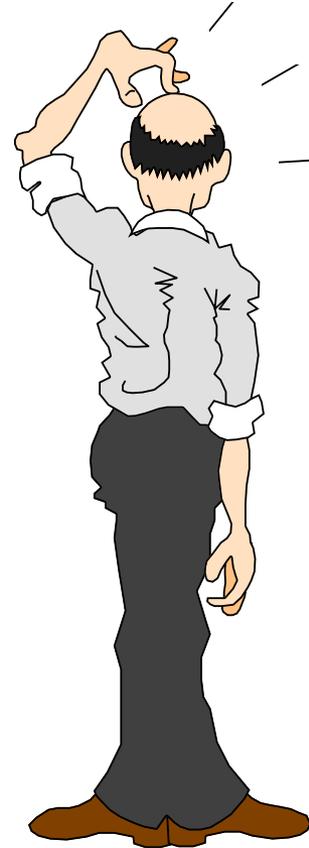
- Riduce la coesione dei terreni

### 2. ACQUA

- Aumenta le pressioni interstiziali

### 3. ACQUA

- Può provocare erosioni al piede



**E' un problema del rinforzo o di un assenza/mancanza di Controllo Qualità durante l'installazione?**



**Lo stesso prodotto, propriamente installato,  
non presenta problemi**



25.01.2008 11:17

# ■ **CASE HISTORIES**

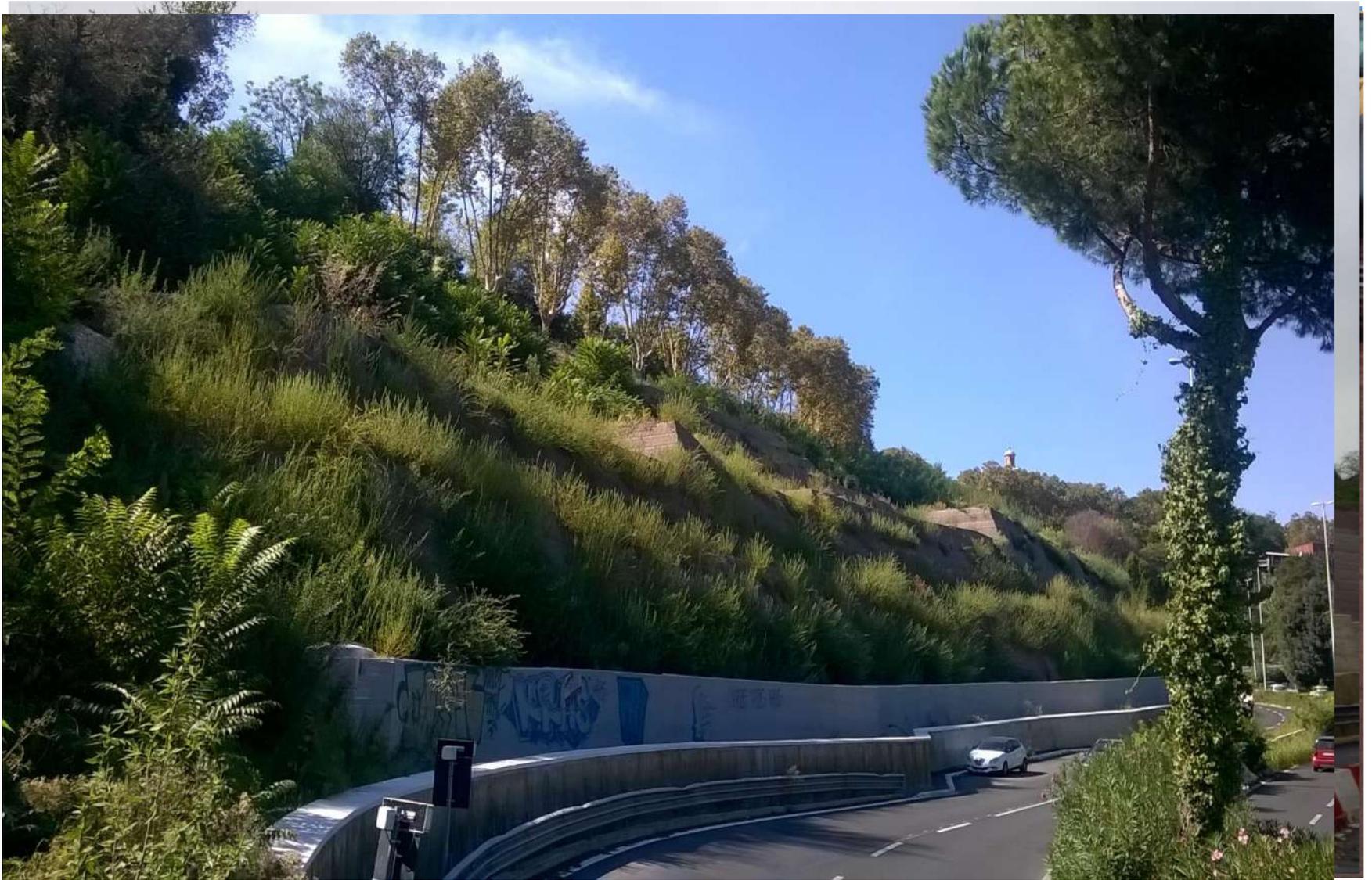








## Monte Mario Via Panoramica– Roma (2015)





***Grazie per l'attenzione***