



MACCAFERRI

Engineering a better solution

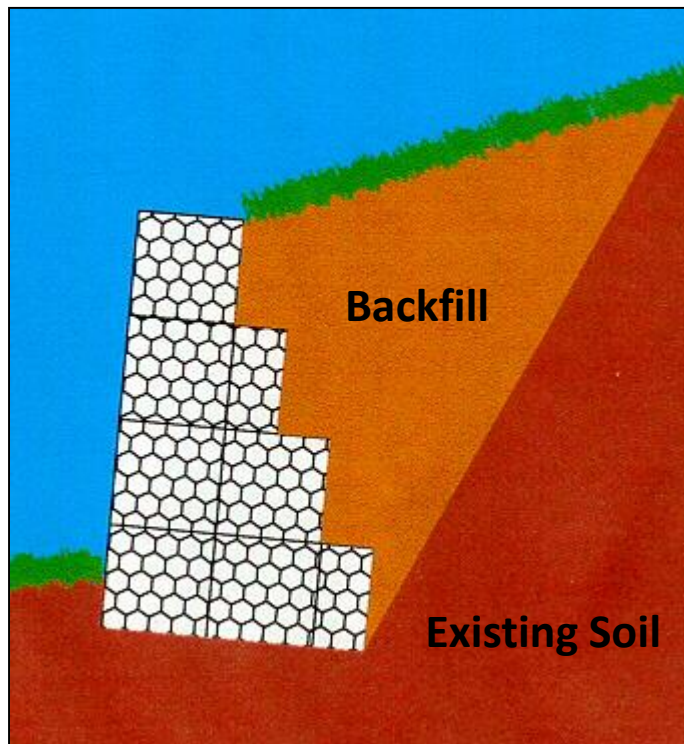
OPERE IN TERRA RINFORZATA E GABBIONI

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

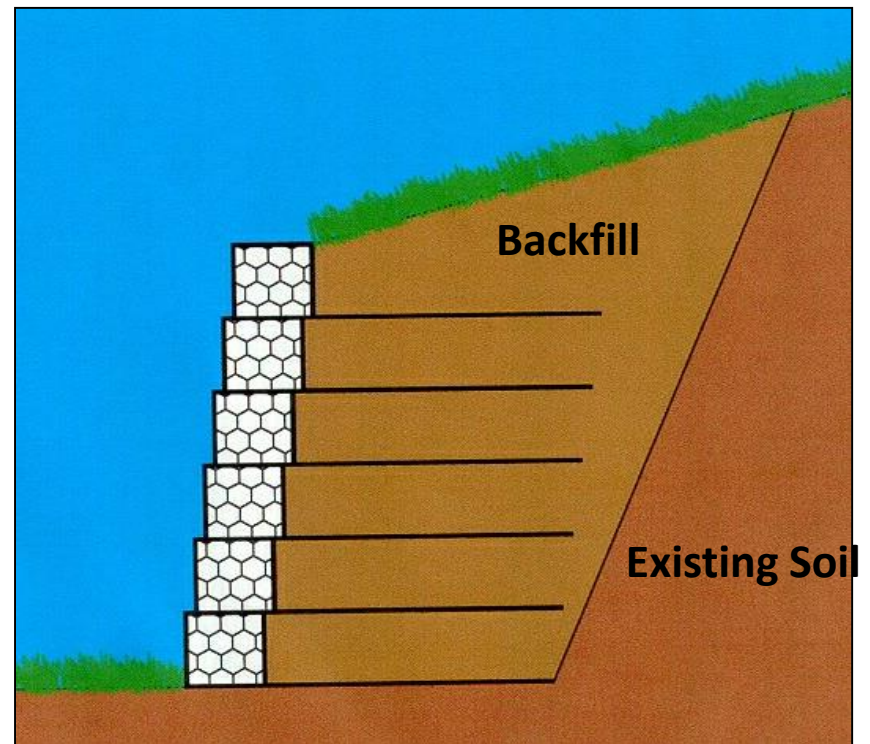


OPERE DI SOSTEGNO: LE SOLUZIONI

MURI A GRAVITA'



TERRE RINFORZATE

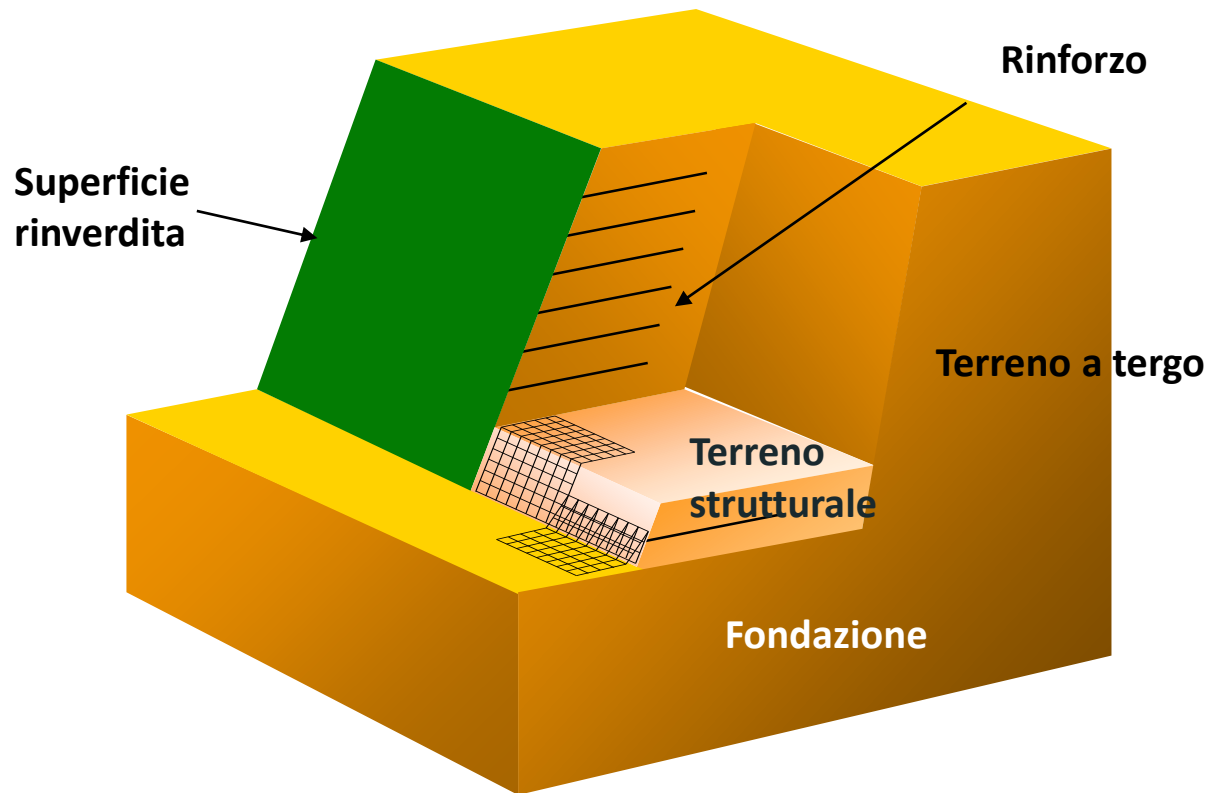




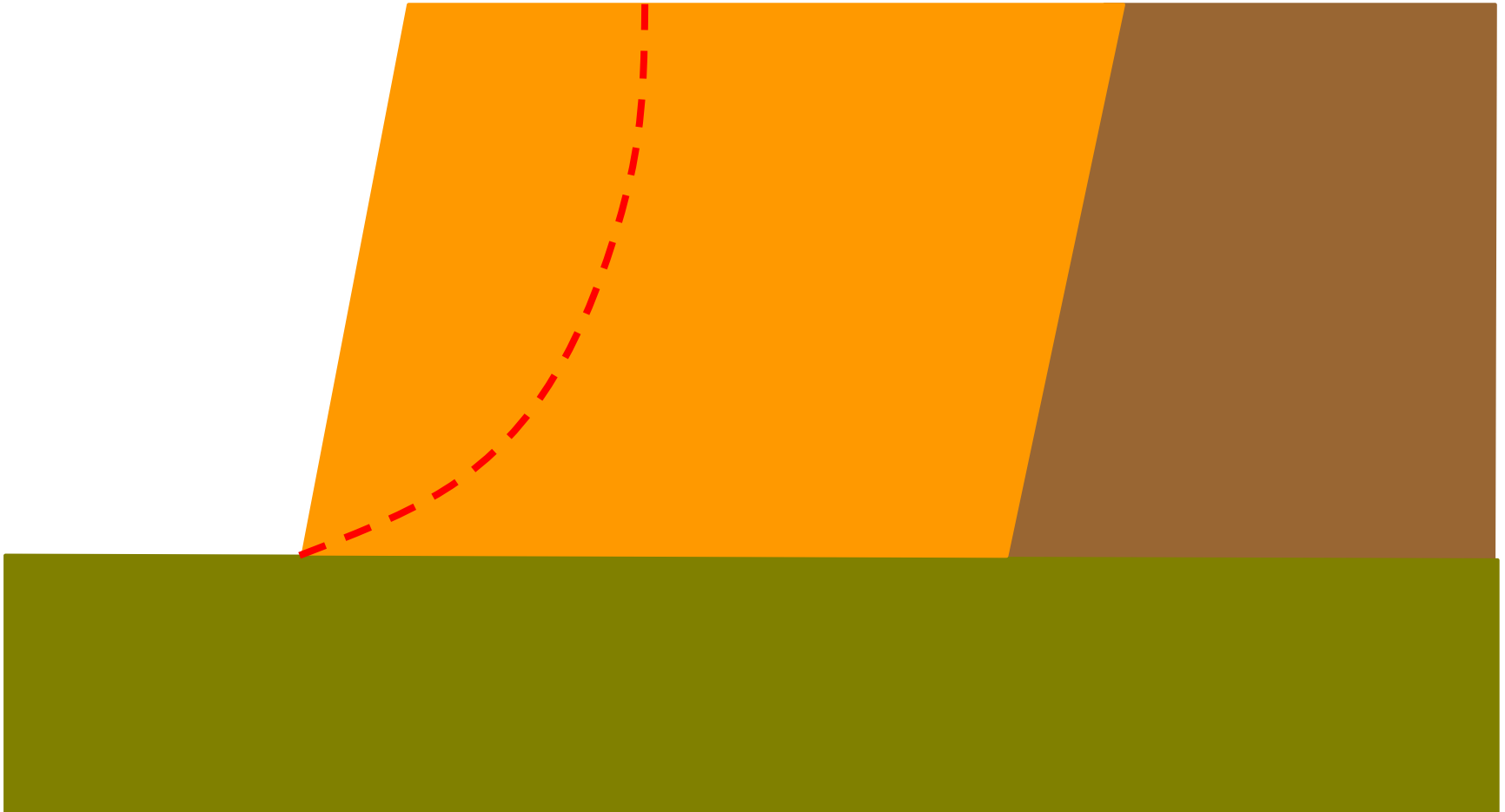
SOMMARIO

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

LE TERRE RINFORZATE



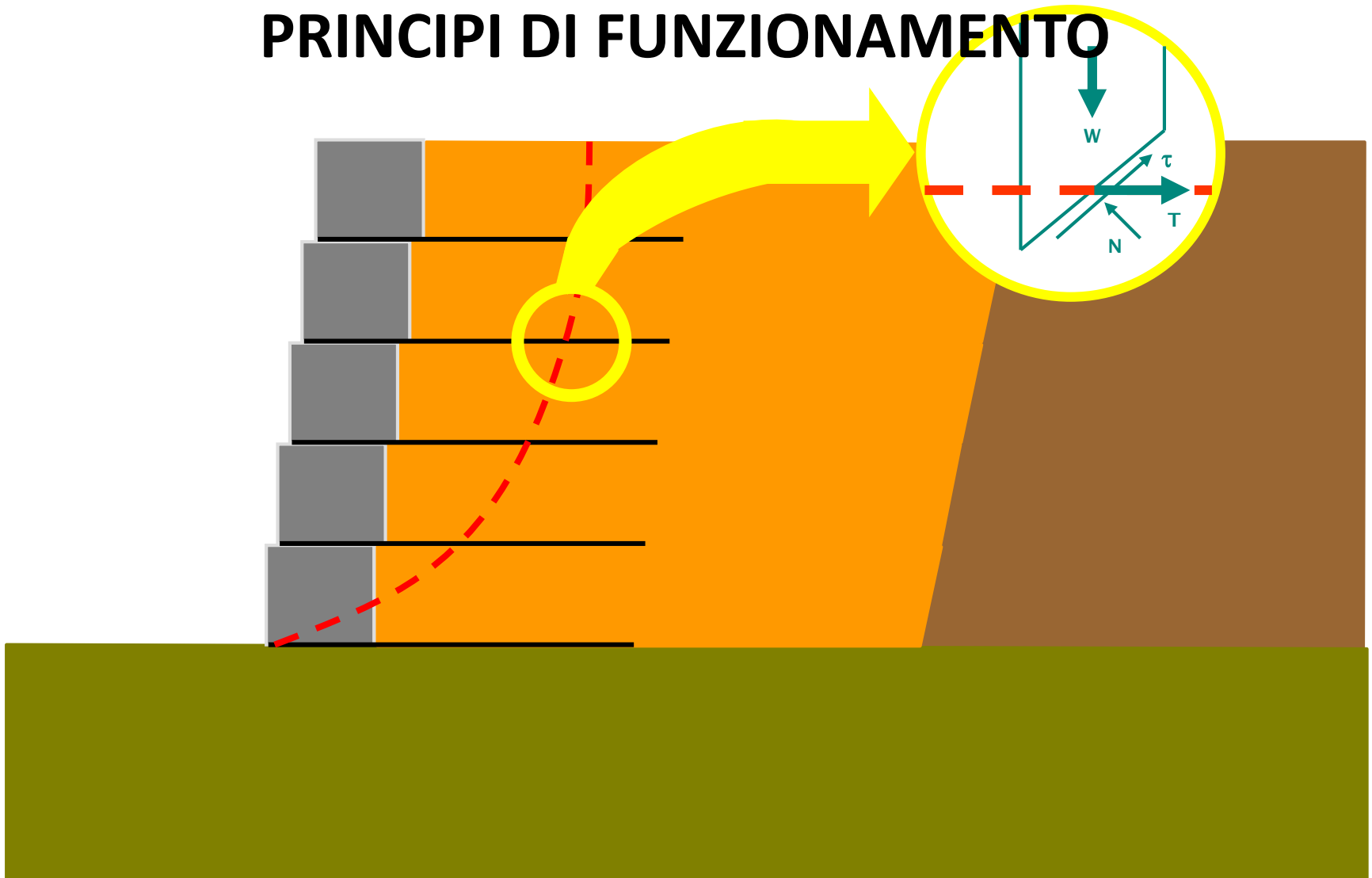
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



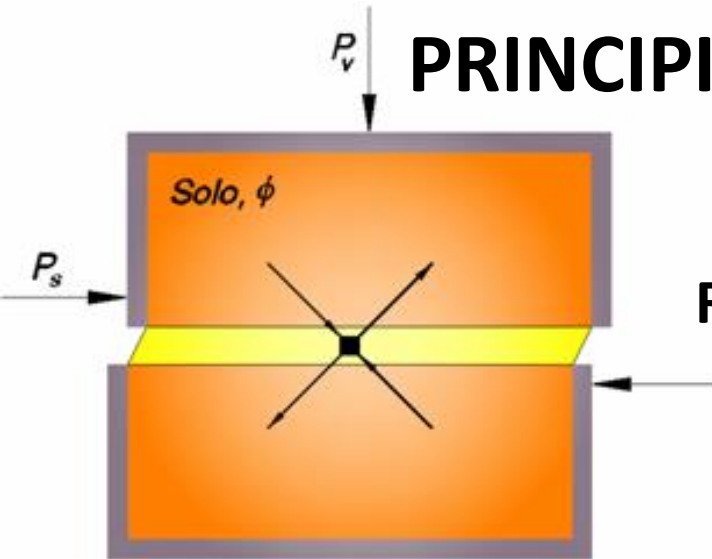
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

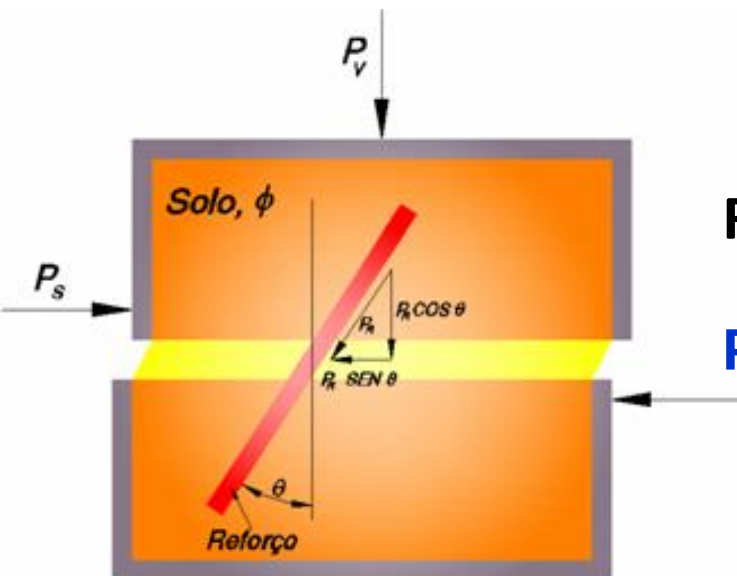


PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



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.

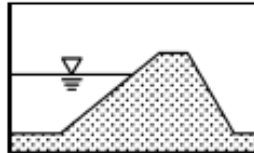
La Normativa Europea di riferimento, recepita in Italia, è la **UNI EN ISO 10318:2005 “Geosintetici - Termini e definizioni”**. In essa sono definite le terminologie suddivise per funzioni, proprietà ed altri termini e la simbologia applicabili ai geosintetici.

GEOSINTETICI: FUNZIONI (UNI EN ISO 10318)



GEOSINTETICI: CAMPI DI APPLICAZIONE

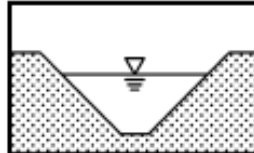
Bacini e dighe



Discariche



Corsi d'acqua



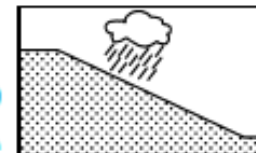
Strutture di sostegno



Strade



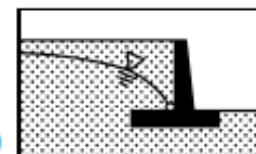
Sistemi controllo erosione



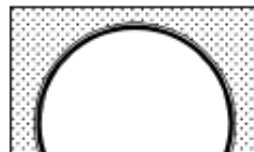
Ferrovie



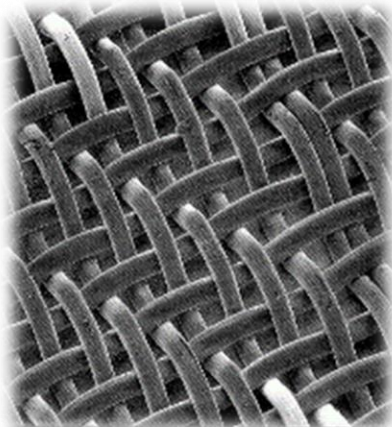
Sistemi per il drenaggio



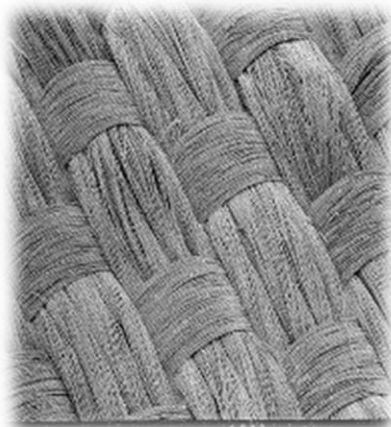
Gallerie



PRODOTTI PER RINFORZO



monofilamento



multifilamento



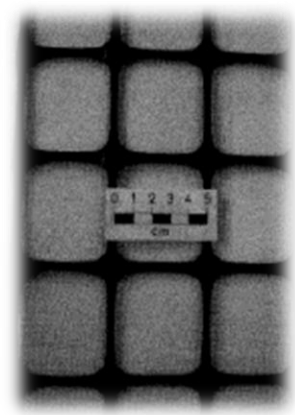
a bandelle



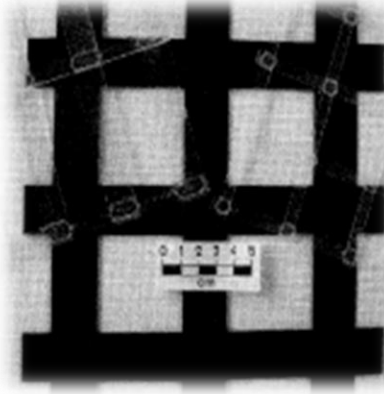
a struttura orientata



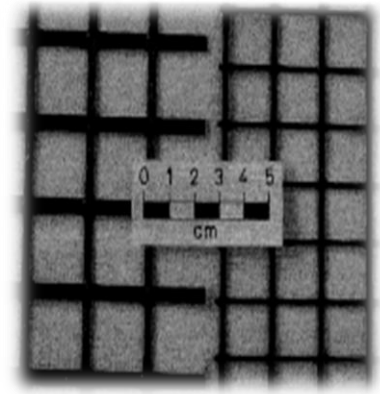
**estrusa
monodirezionale**



**estrusa
bidirezionale**



saldata

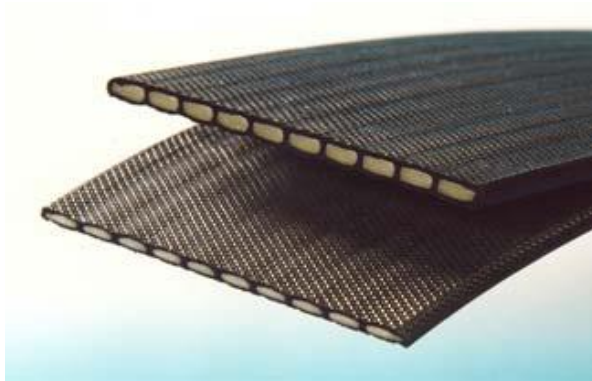


tessuta

GEOTESSILI TESSUTI

GEOGRIGLIE

PRODOTTI PER RINFORZO

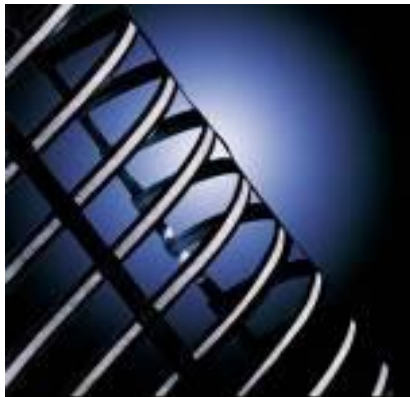


polimeriche



In acciaio

BANDELLE

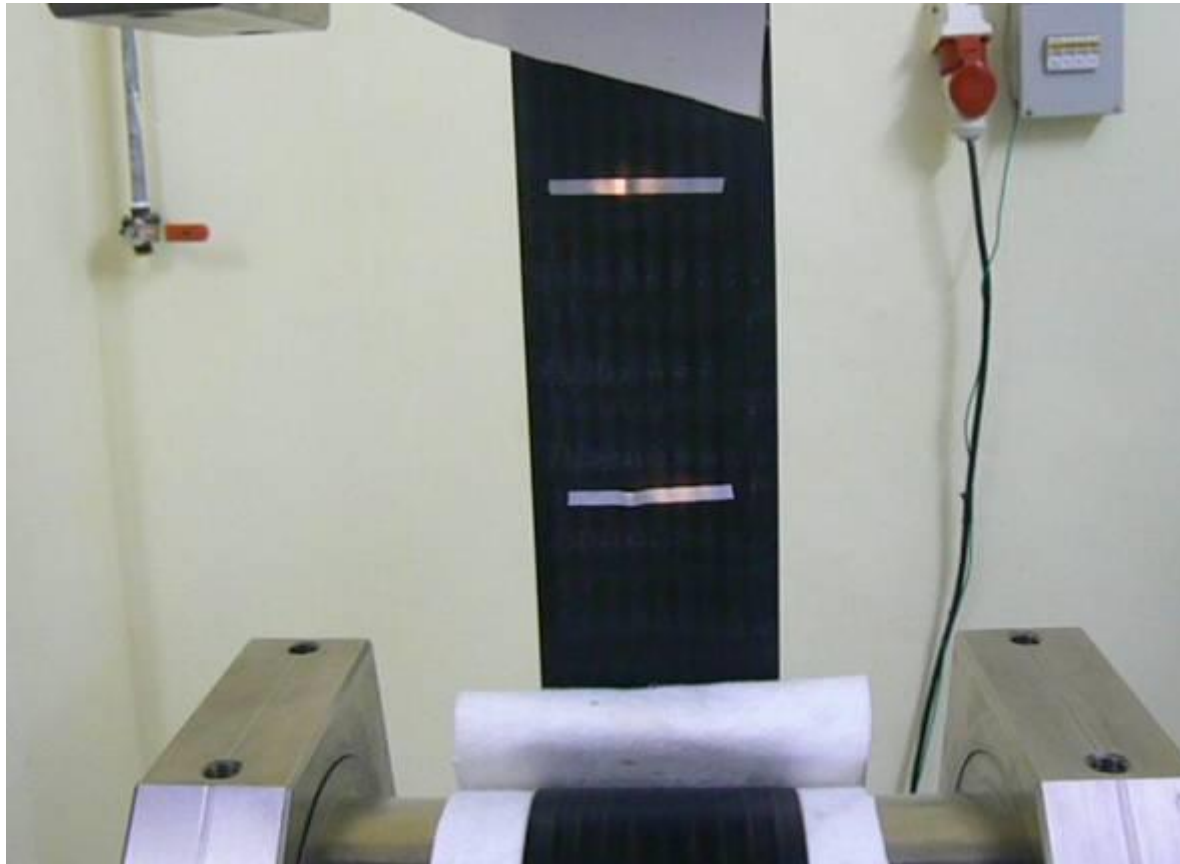


GEOCOMPOSITI



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

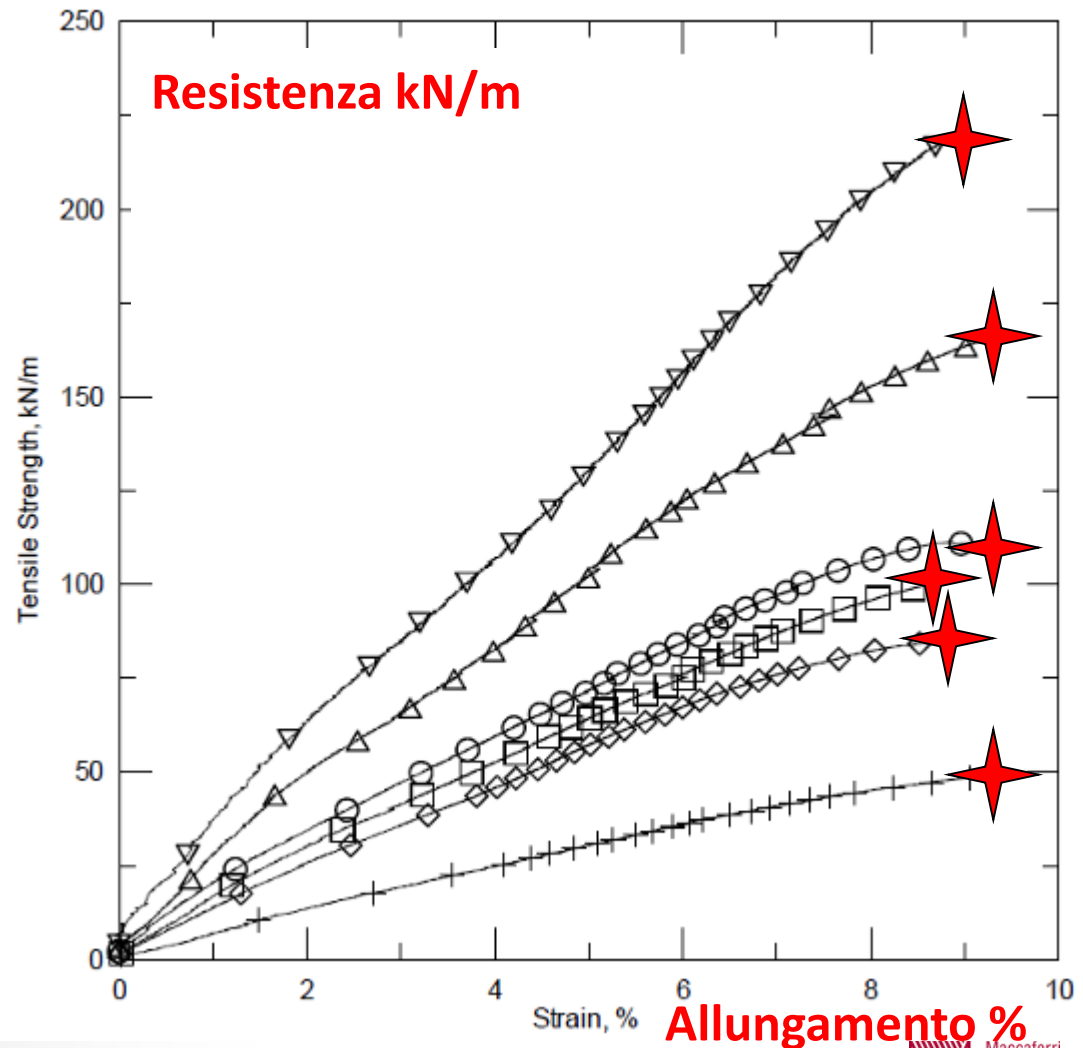
pullout, scorrimento

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



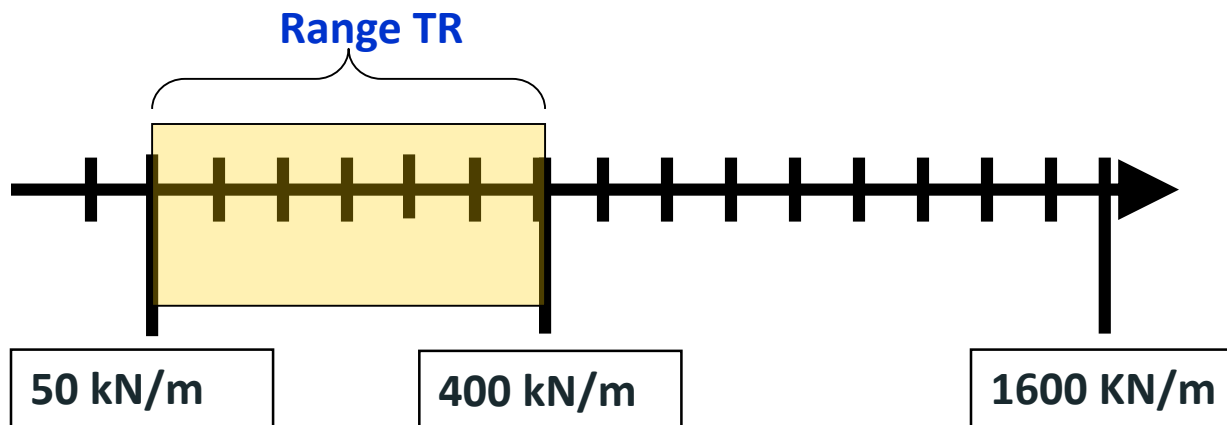
Allungamento %

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)

$$\text{LTDS} = \frac{\text{Ultimate strength of geosynthetic}}{F_{S_{CR}} \times F_{S_{ID}} \times F_{S_D}}$$



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_{creep} a 20° e 120 anni sono nel range tra 1.4 – 5 per i materiali geosintetici

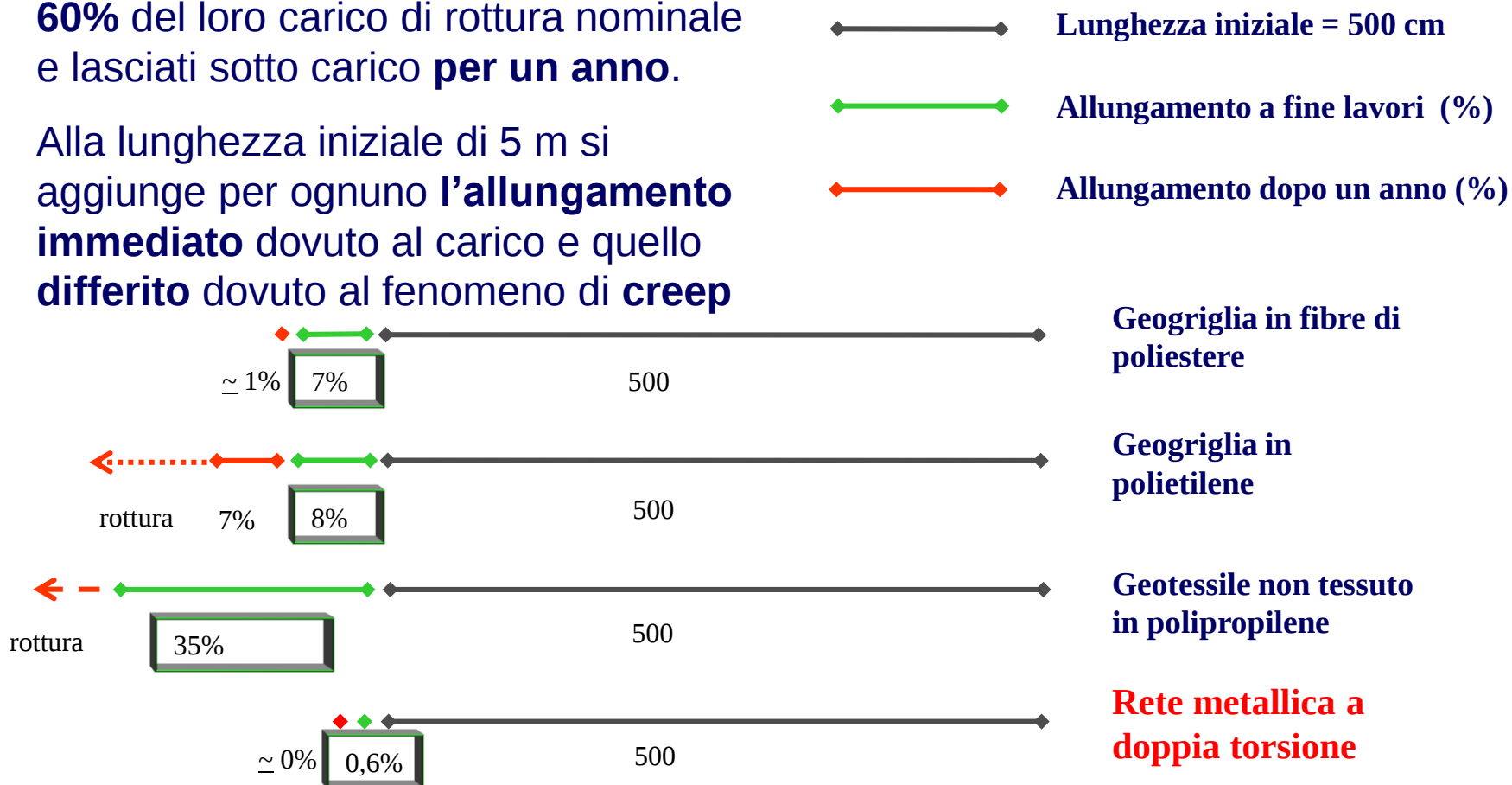
MATERIALE	Fattore di riduzione F_{creep}
ACCIAIO	1
HDPE (Polietilene ad alta densità)	2 – 3.5
PET (Polietilene tereftalato)	1.4 – 1.8
PP (Polipropilene)	4 – 5
PVA (Polivinile Alcool)	1.5 – 2.5

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

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**



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 $4 < pH < 9$ sono compresi tra 1.05 – 1.1

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

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

LTDS: FATTORE DI RIDUZIONE GLOBALE

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

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

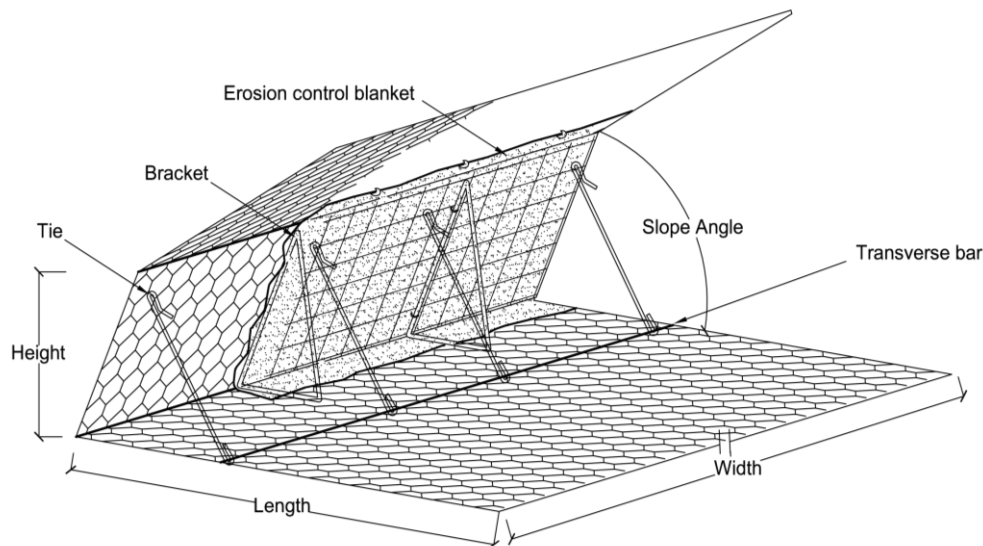
Creep Reduction Factor, RF_{CR}	ASTM D5262		1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Installation Damage Reduction Factor, RF_{ID}	ASTM D5818		1.35	1.34	1.32	1.3	1.26	1.21
Durability Reduction Factor, RF_D^4			1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Reduction Factor, $RF=RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D$			2.25	2.23	2.2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

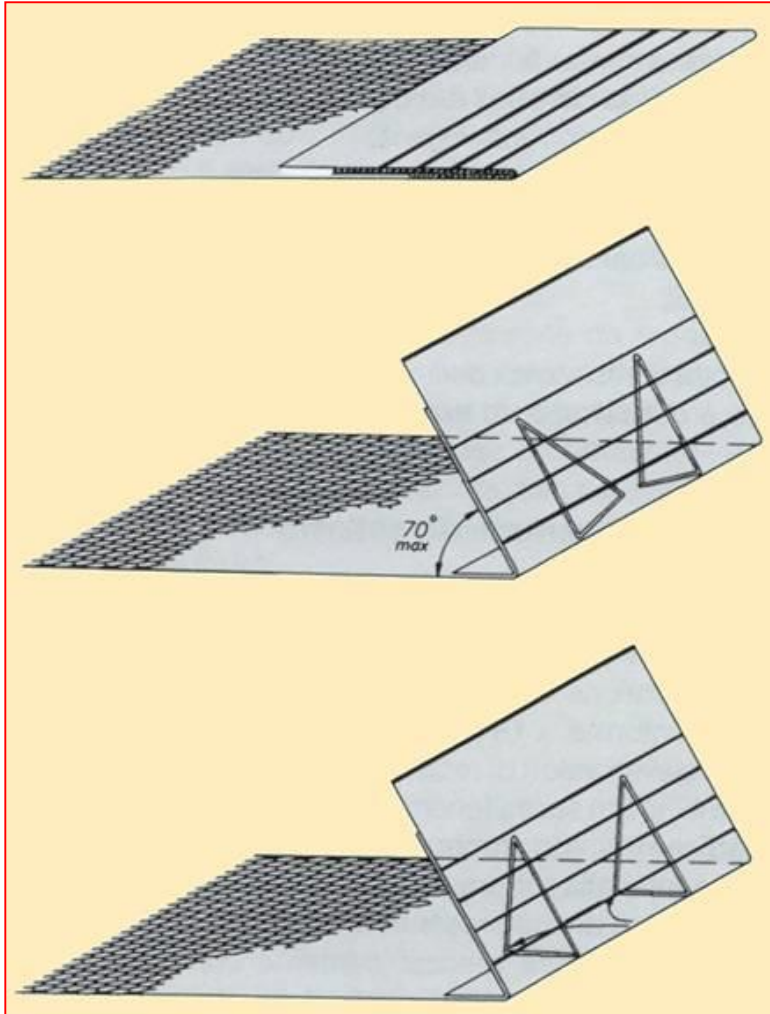
Proprietà a Lungo termine



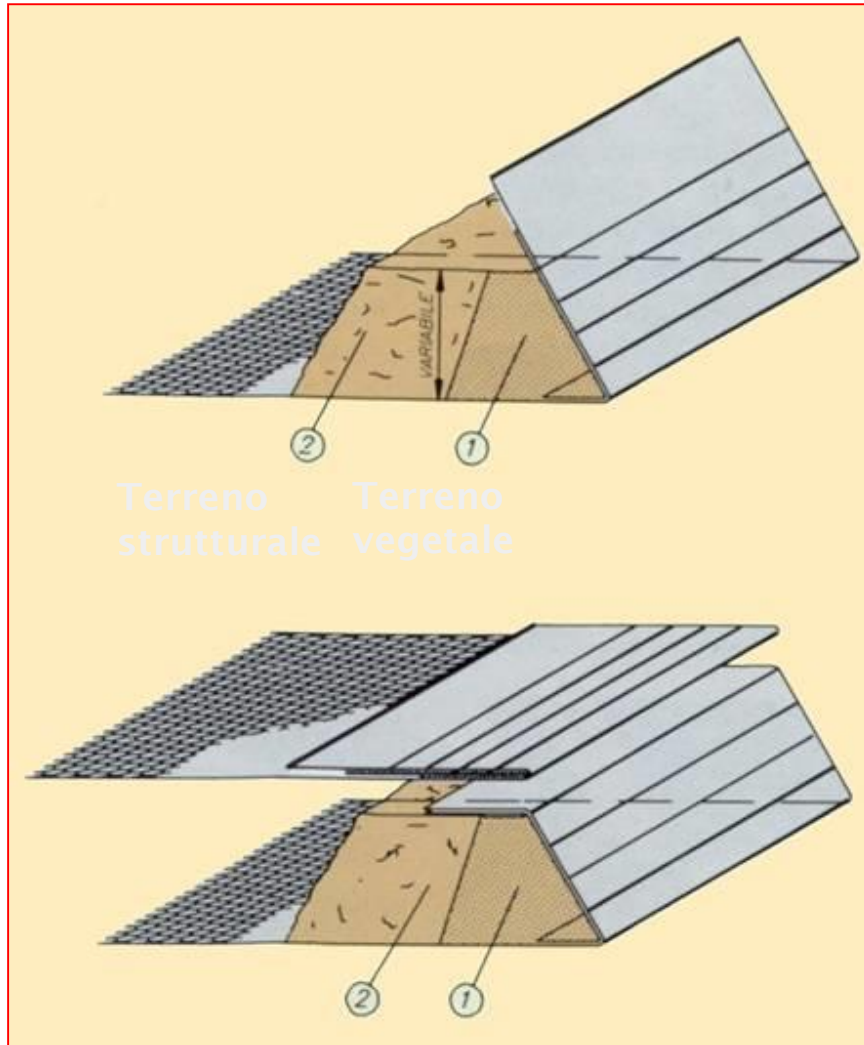
TERRAMESH® VERDE

Il Terramesh® 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





Installazione Terramesh Verde





Green
Terramesh®

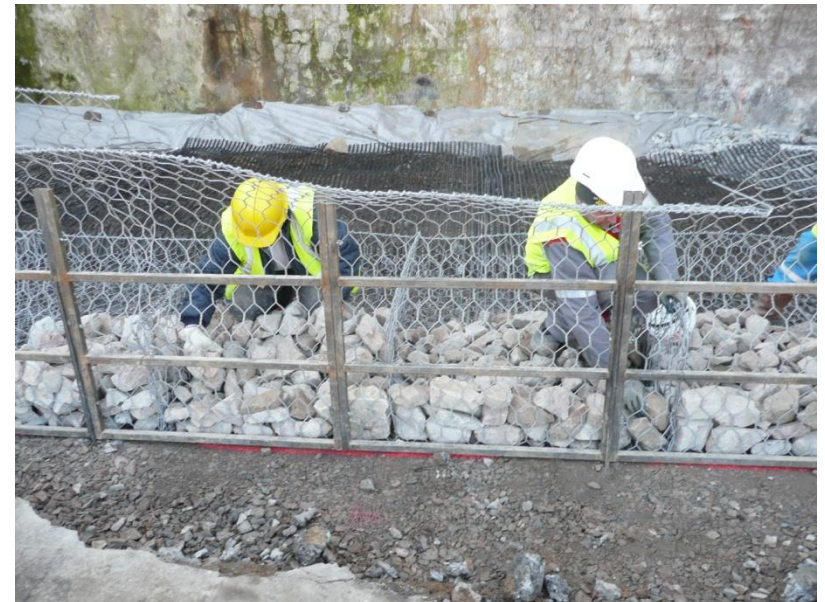
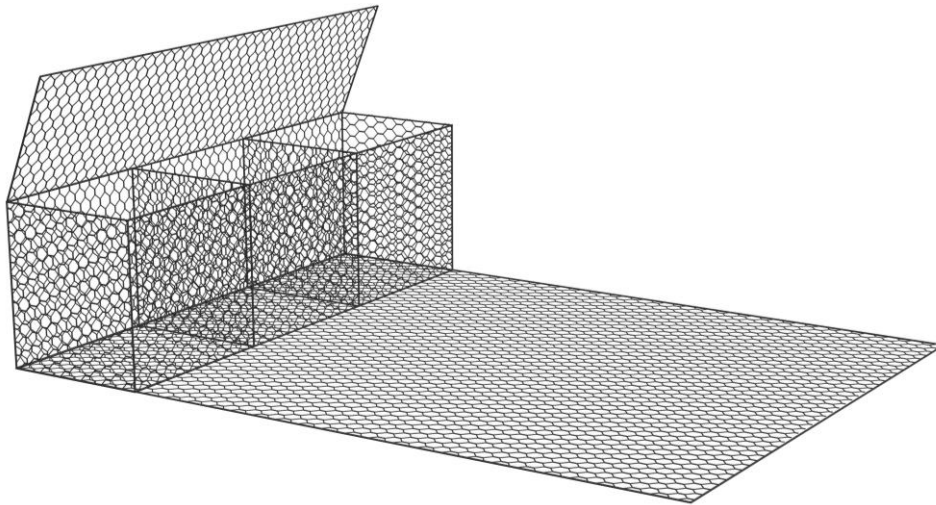


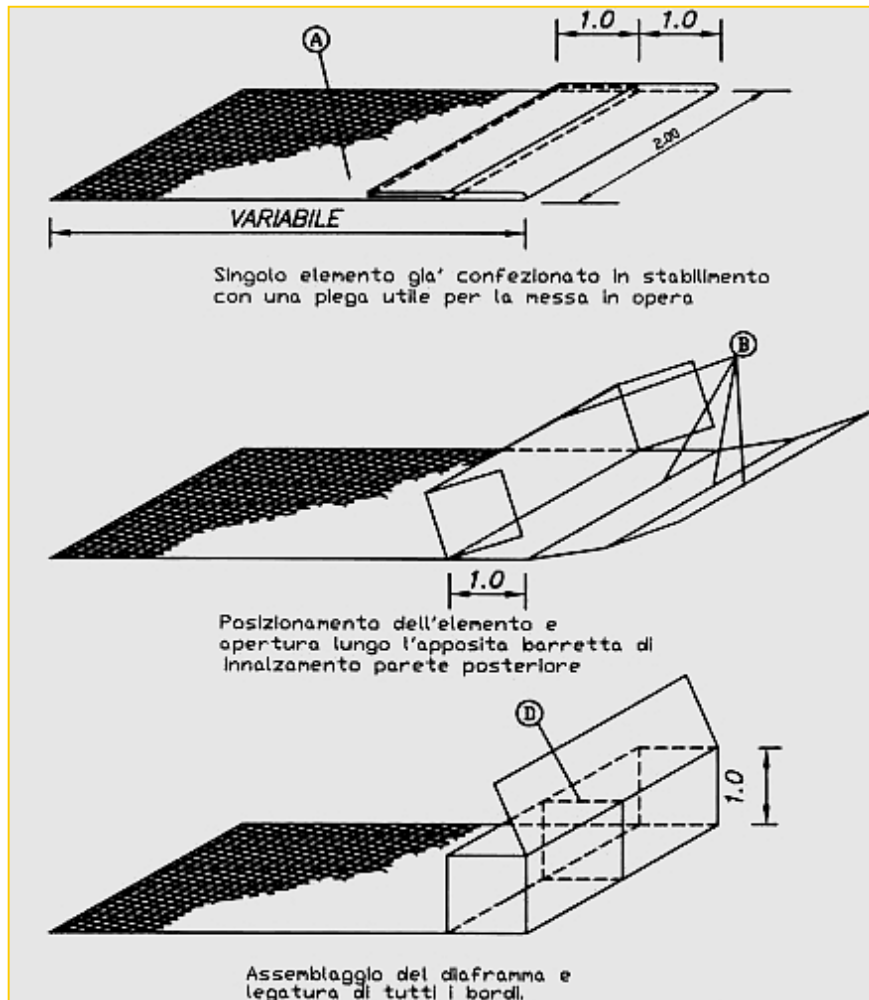
25.01.2008 11:17

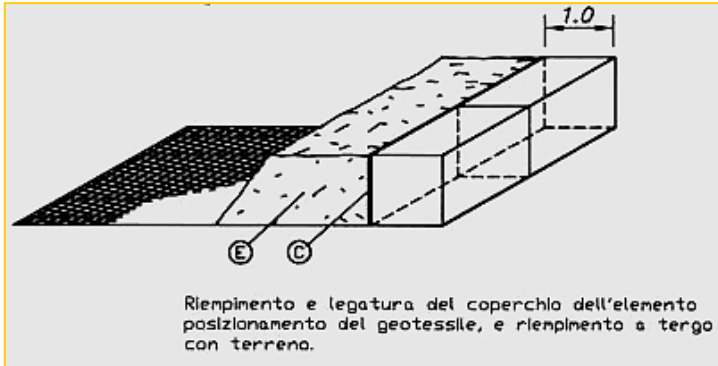


TERRAMESH® SYSTEM

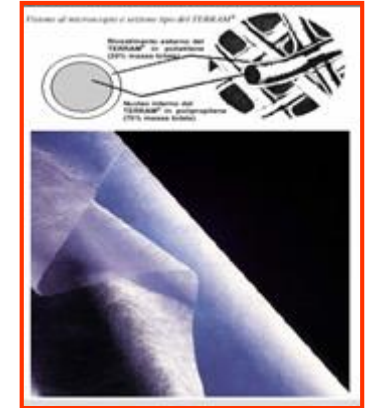
Il Terramesh® System è costituito da un paramento in gabbioni connesso all'elemento di rinforzo. Gli elementi sono forniti già a misura senza richiedere ulteriori tagli in cantiere







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

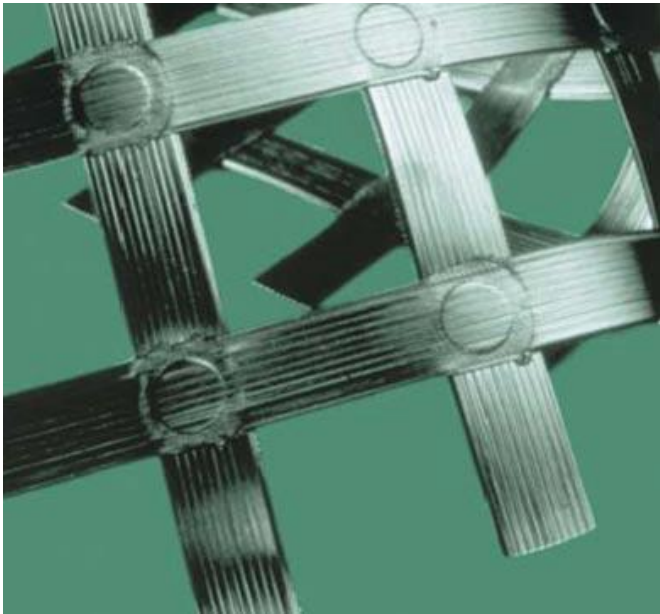




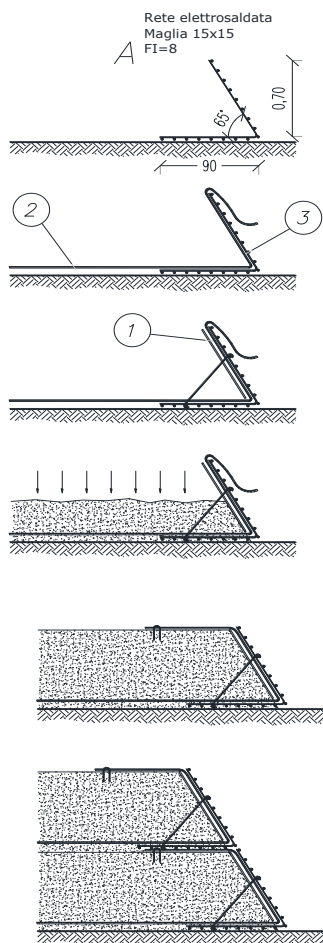


GEOGRIGLIE

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

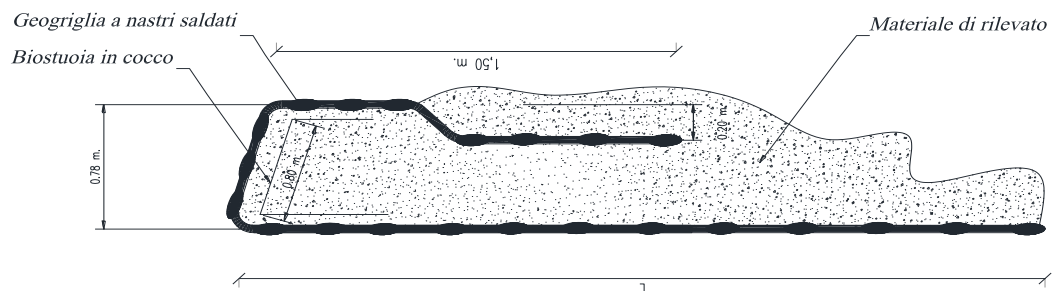


Modalità di posa in opera



- ① Biostuoia in cocco
- ② Geogriglia
- ③ Pannello di rete elettrosaldada

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

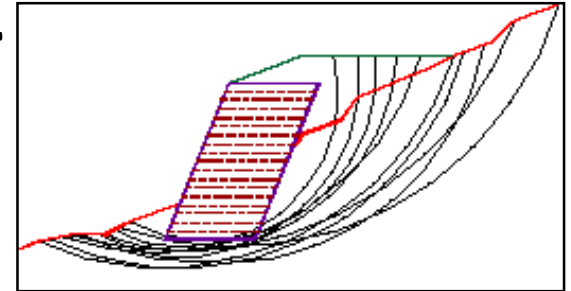
CONSULENTI

Prof. Ghionna (Politecnico di Torino)
Studio Geotecnico Italiano
Prof. Bathrust (Canada)

TIPI DI VERIFICHE

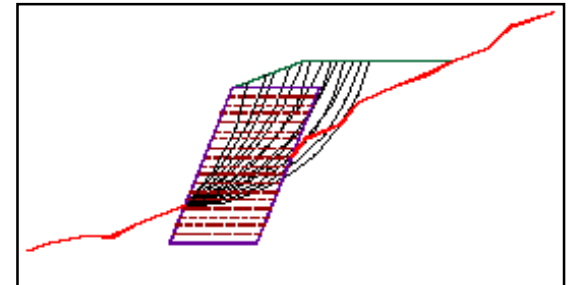
STABILITA' GLOBALE

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



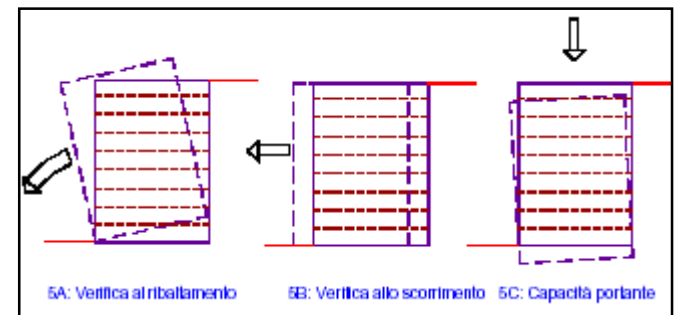
STABILITA' INTERNA

- 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

OK

Nuovo

Elimina

Rinomina

Annulla

?

descrizione:

Intensità [KPa]: 20

Inclinazione [°]: -10

Estensione [m]:

Da: 20.1

A: 21.9

Classe Moltiplicatore

Permanente - favorevole

Permanente - sfavorevole

Permanente non strutturale - favorevole

Permanente non strutturale - sfavorevole

Variabile - favorevole

Variabile - sfavorevole

Configurazione terreno

Sigla: T1

OK

Nuovo

Elimina

Rinomina

Annulla

?

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

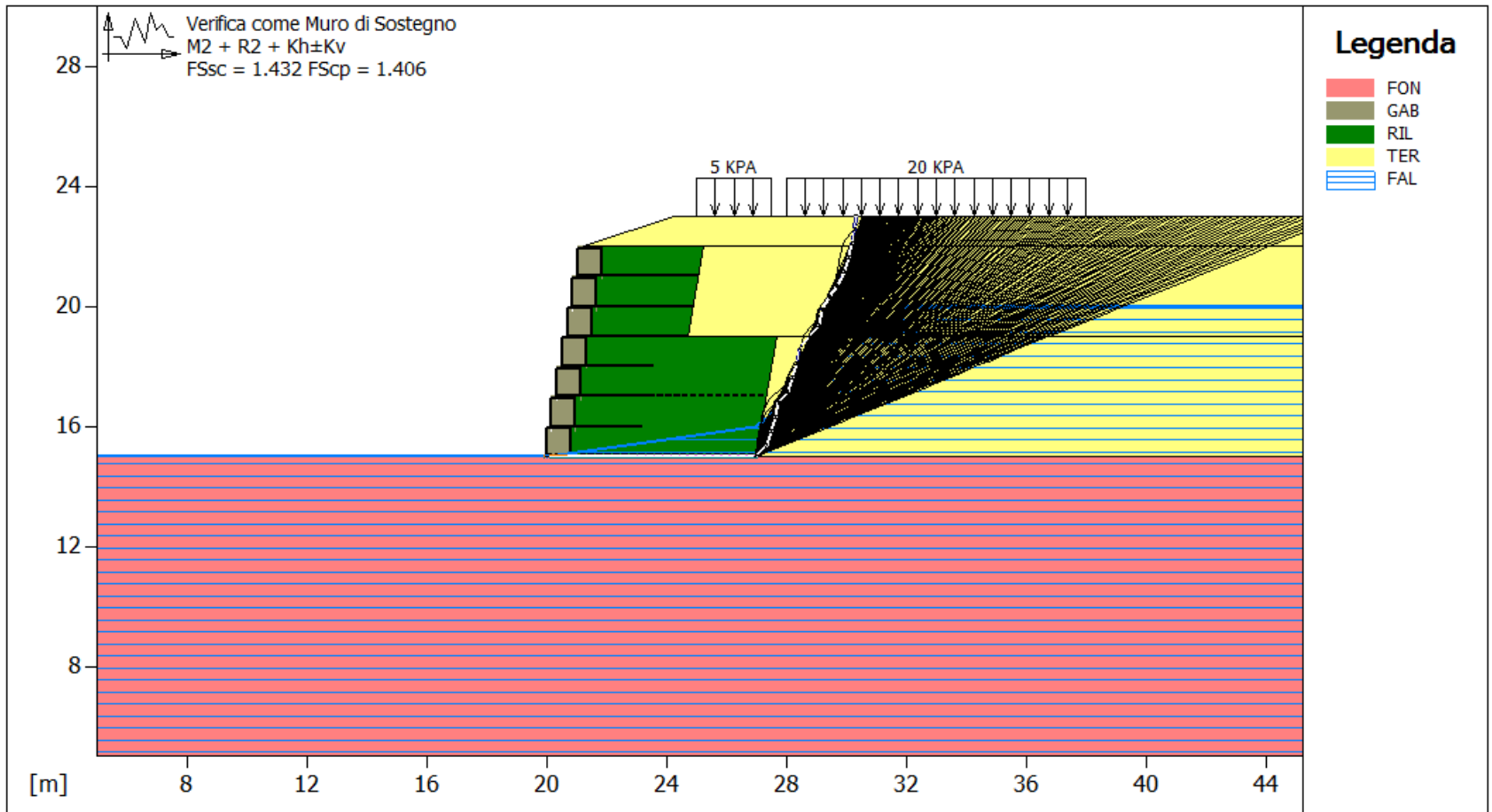
Classe Moltiplicatore

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

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

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

VERIFICA COME OPERA DI SOSTEGNO



MACCAFERRI

MacStARS W

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

Proposta: Esempio di calcolo con NTC 2008

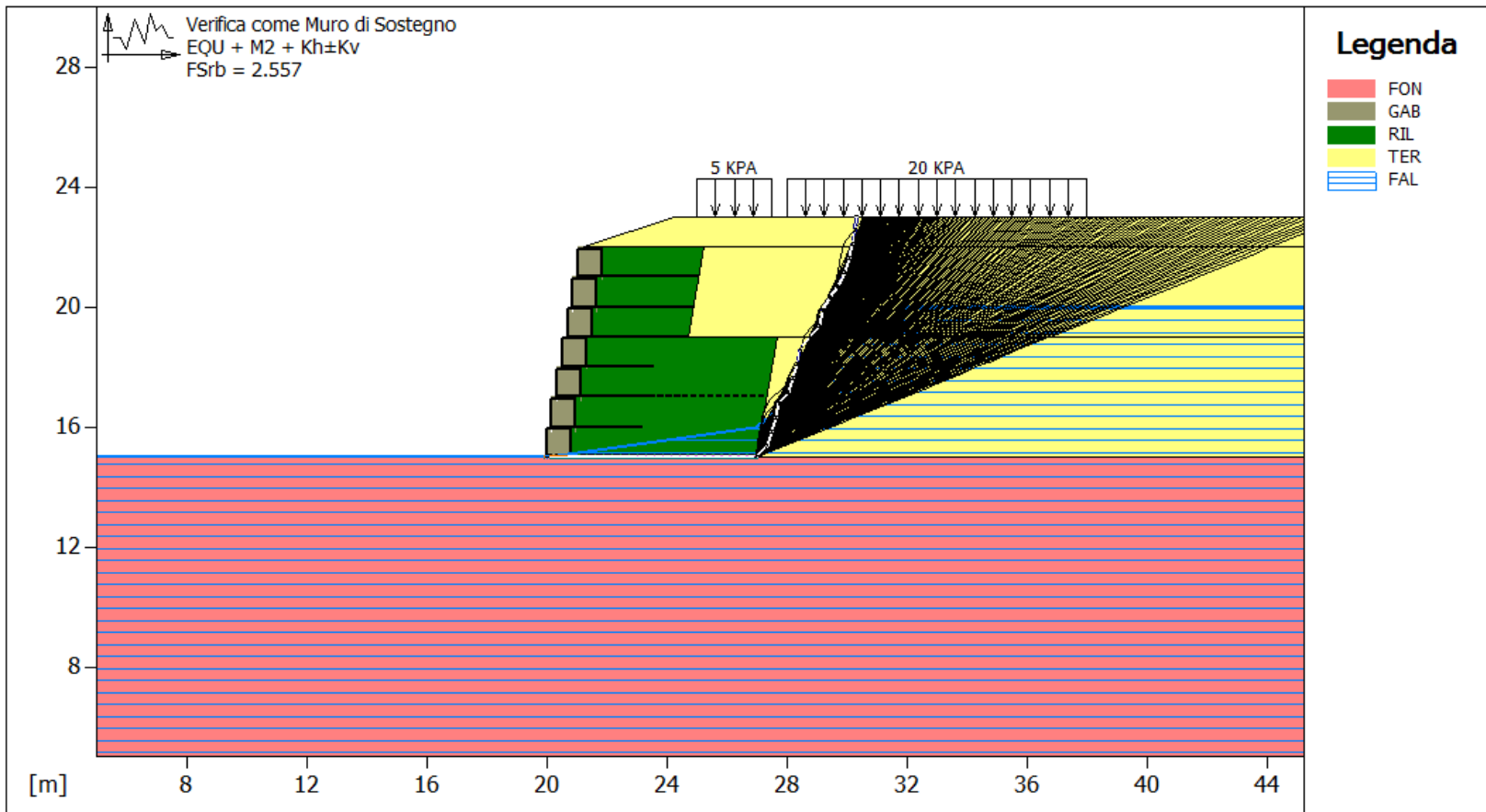
Sezione:

Documento: Esempio NTC 2008

Data:
04/08/2015

Pratica:

VERIFICA COME OPERA DI SOSTEGNO



MACCAFERRI

MacStARS W

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

Proposta: Esempio di calcolo con NTC 2008

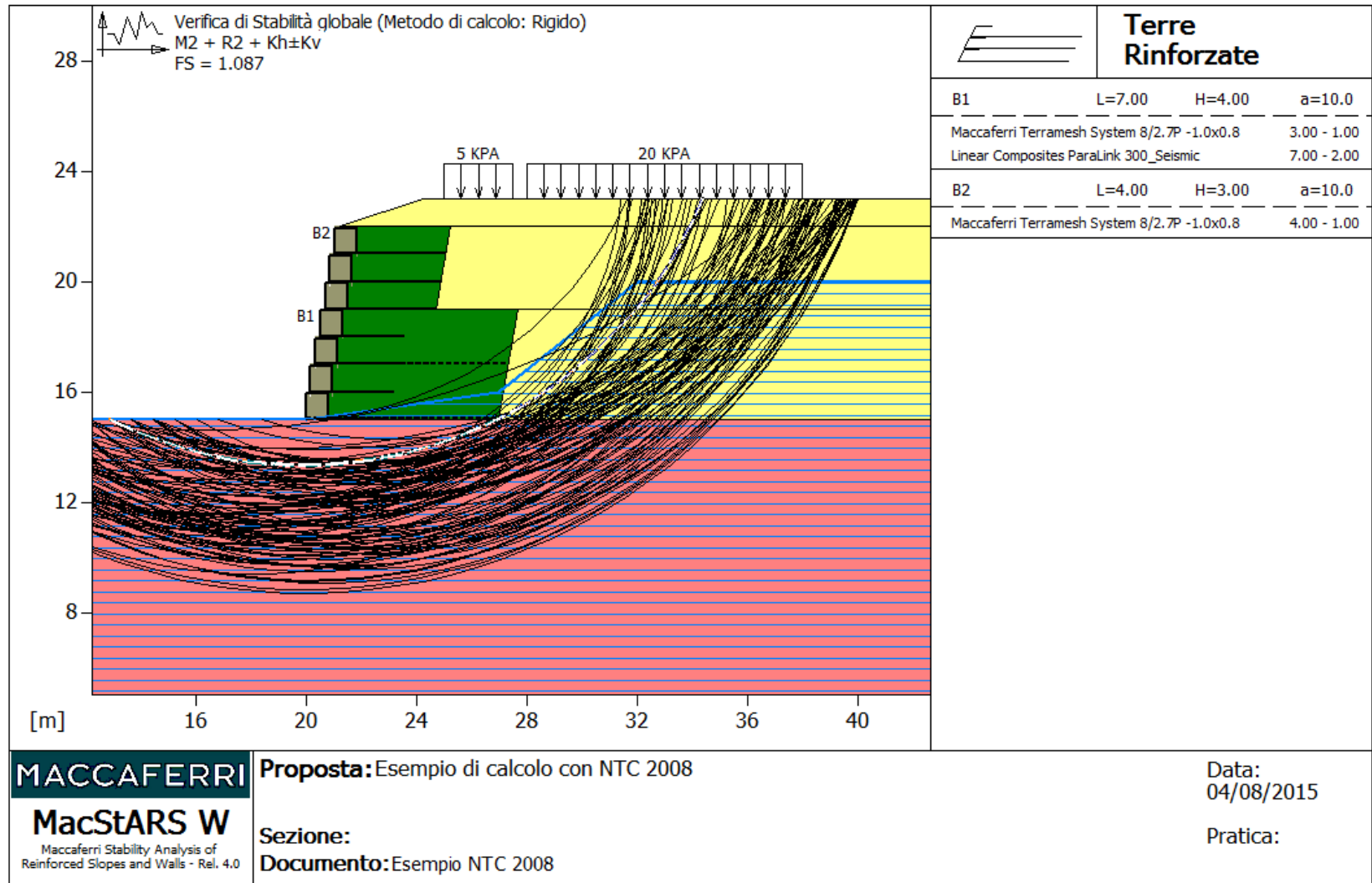
Sezione:

Documento: Esempio NTC 2008

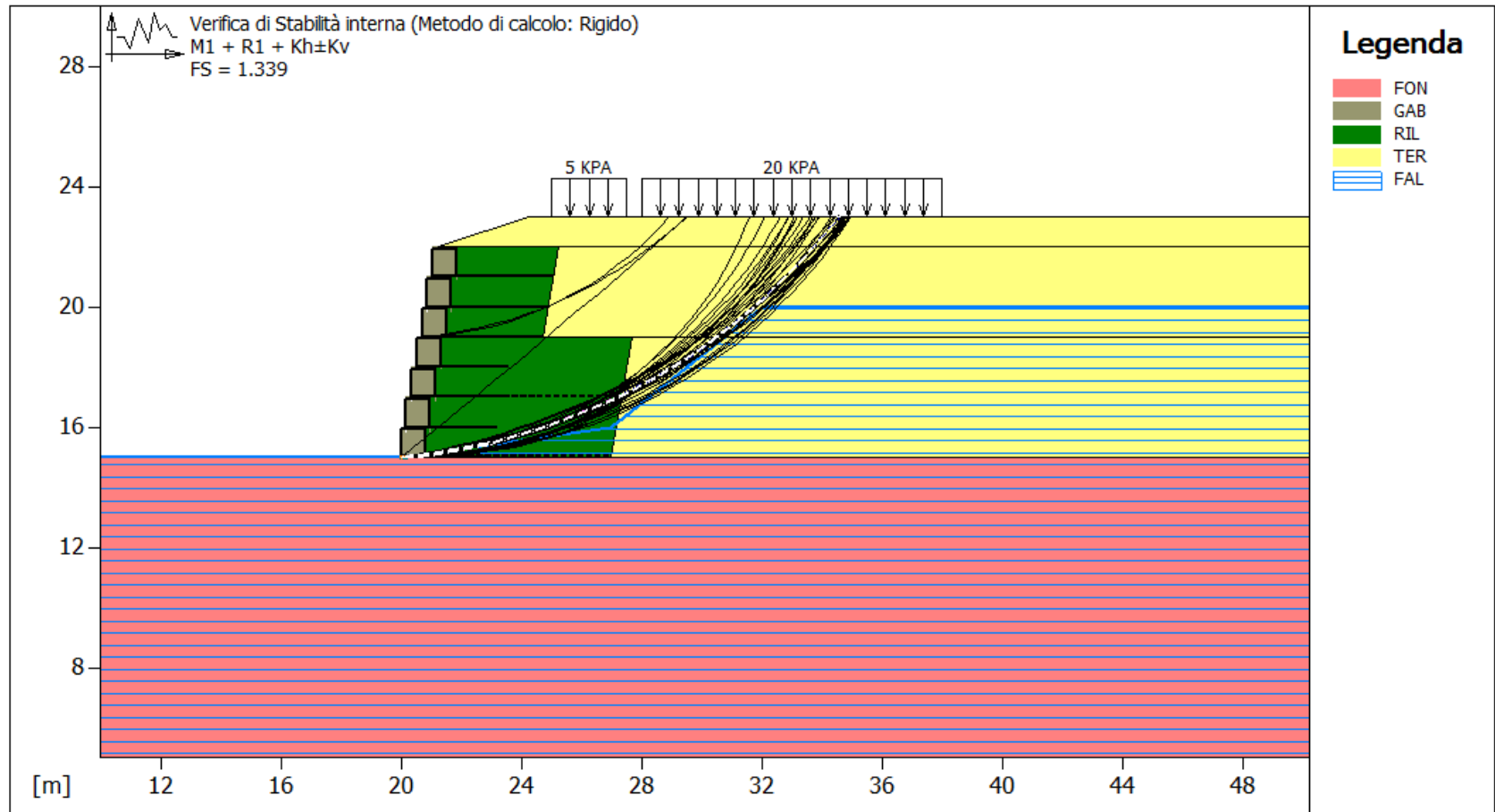
Data:
04/08/2015

Pratica:

VERIFICA STABILITA' GLOBALE



VERIFICA STABILITA' INTERNA



MACCAFERRI

MacStARS W

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

Proposta: Esempio di calcolo con NTC 2008

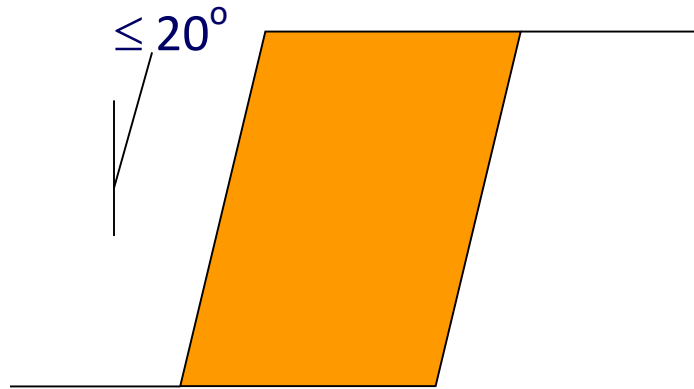
Sezione:

Documento: Esempio NTC 2008

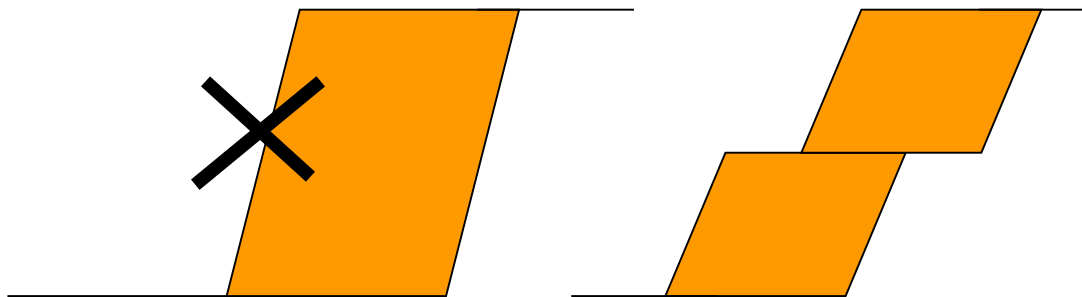
Data:
04/08/2015

Pratica:

INDICAZIONI PROGETTUALI

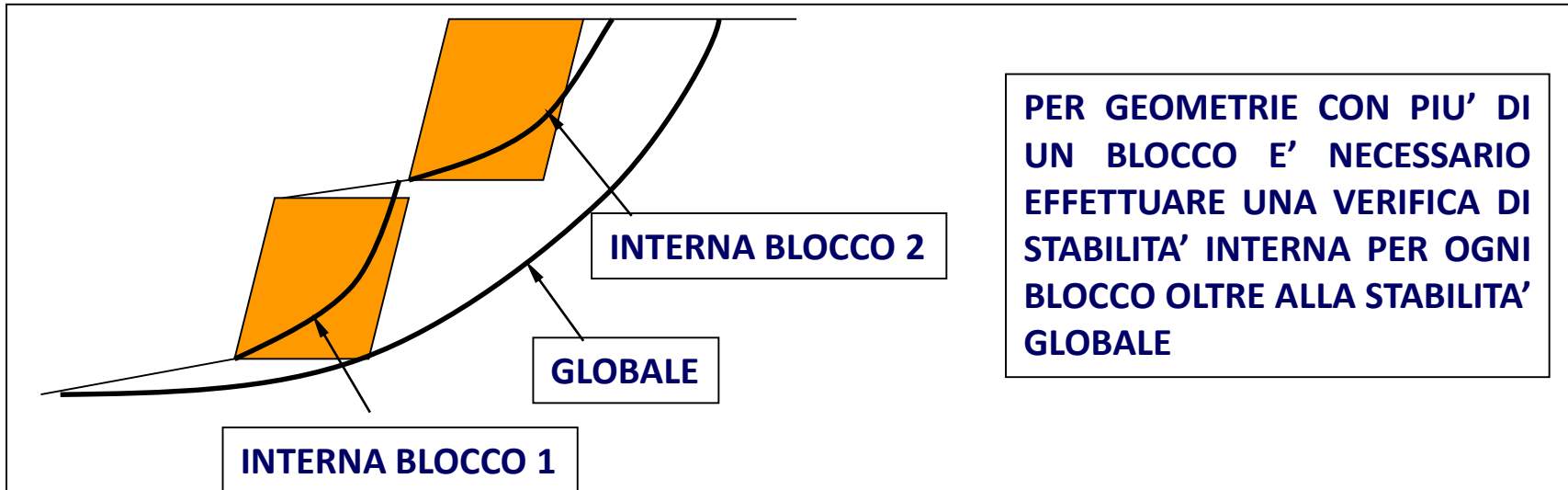


Quando possibile, sono raccomandate scarpate con inclinazione inferiore a 70°



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

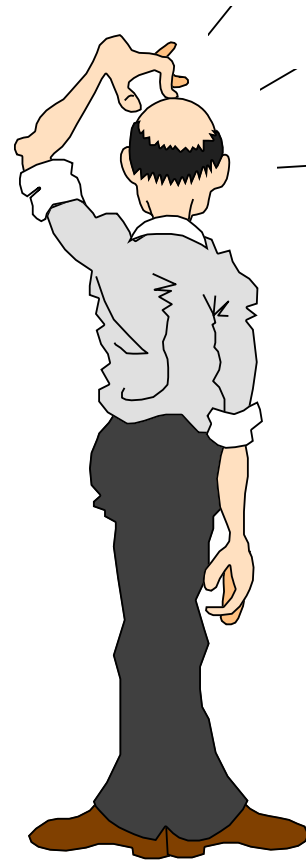
- Riduce la coesione dei terreni

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**



■ **CASE HISTORIES**









Monte Mario Via Panoramica– Roma (2015)





Grazie per l'attenzione