



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA  
Corso di aggiornamento professionale

## **“Progettazione geotecnica secondo le NTC 2008”**

*Pistoia, 13 maggio-24 giugno 2011*

# **Opere in terre rinforzate con geogriglie: aspetti teorici, applicazioni e metodi di calcolo alla luce delle normative NTC 2008**

**Ing. Luca Mottadelli**

*Aula Polivalente del Seminario Vescovile  
Via Puccini, 36 - Pistoia*

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia  
Via Panciatichi, 11 – 51100 Pistoia  
Tel. 0573 25931 - fax 0573 24383

[info@ordineingegneri.pistoia.it](mailto:info@ordineingegneri.pistoia.it)

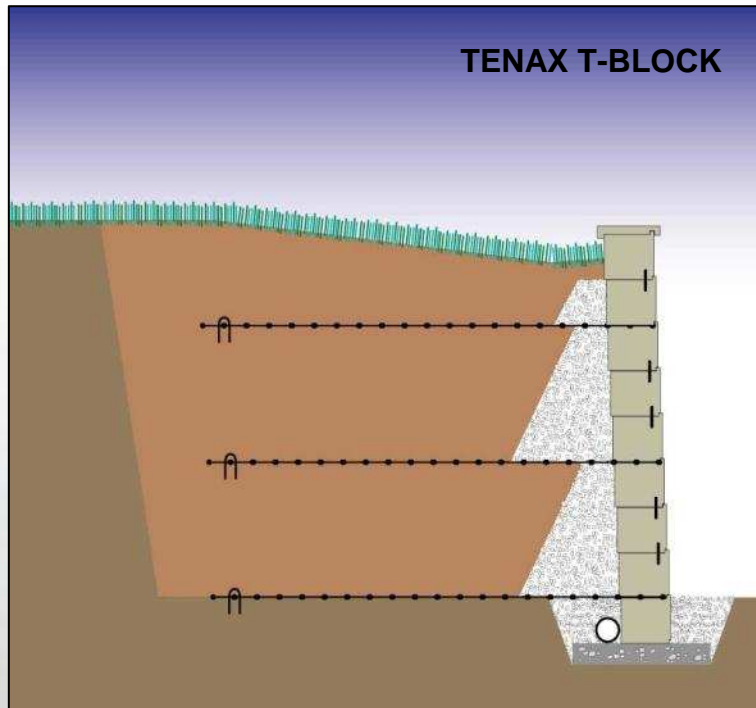
[www.ordineingegneri.pistoia.it](http://www.ordineingegneri.pistoia.it)



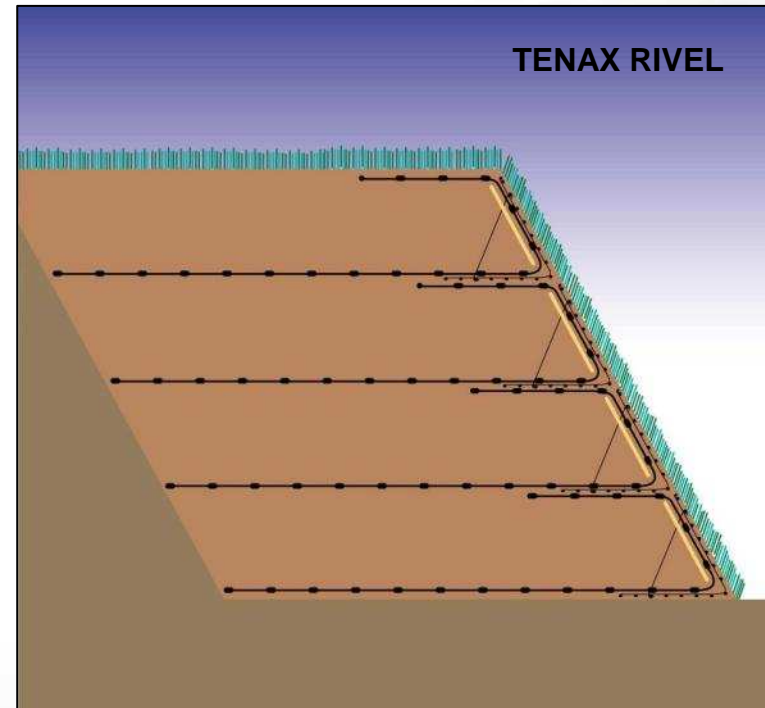


## OPERE IN TERRE RINFORZATE: SEZIONI TIPO

Opere con facciata non strutturale dove la stabilità dell'intero sistema viene garantita dal rinforzo del terreno tramite elementi ad elevata resistenza a trazione (geogriglie)



Sistema integrato TENAX T-BLOCK per la realizzazione di muri con geogriglie di rinforzo per il terreno e paramento modulare in blocchi di CLS



Sistema TENAX RIVEL per la realizzazione di scarpate rinforzate con paramento rinverdibile inclinato



## MURI MODULARI RINFORZATI - SEGMENTAL RETAINING WALL

Sono opere di sostegno realizzate interamente a secco

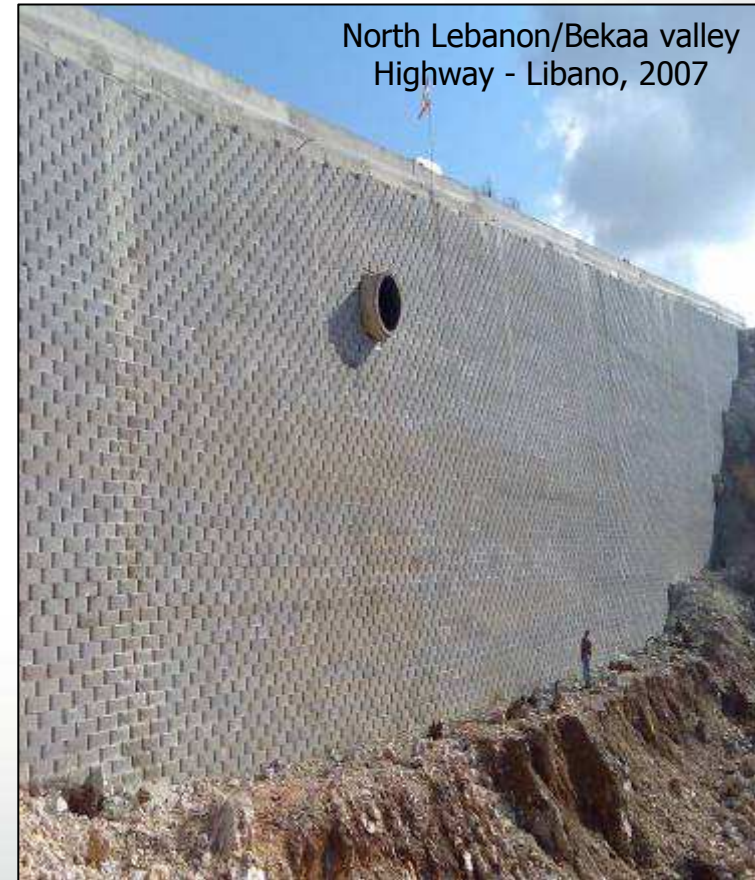
- paramento modulare in CLS (blocchi o pannelli)
- geogriglie per il rinforzo del terreno di riempimento



Cairo,  
Egitto



Pyramids Hills,  
Egitto



North Lebanon/Bekaa valley  
Highway - Libano, 2007



## SISTEMA INTEGRATO TENAX T-BLOCK

Si propone principalmente come valida (e più economica) alternativa tecnico/strutturale rispetto

- manufatti in CLS o CA (anche rivestiti in pietra)
- muri a pannelli prefabbricati
- muri cellulari

### VANTAGGI

#### Versatilità

- tecnica
- estetica
- economica

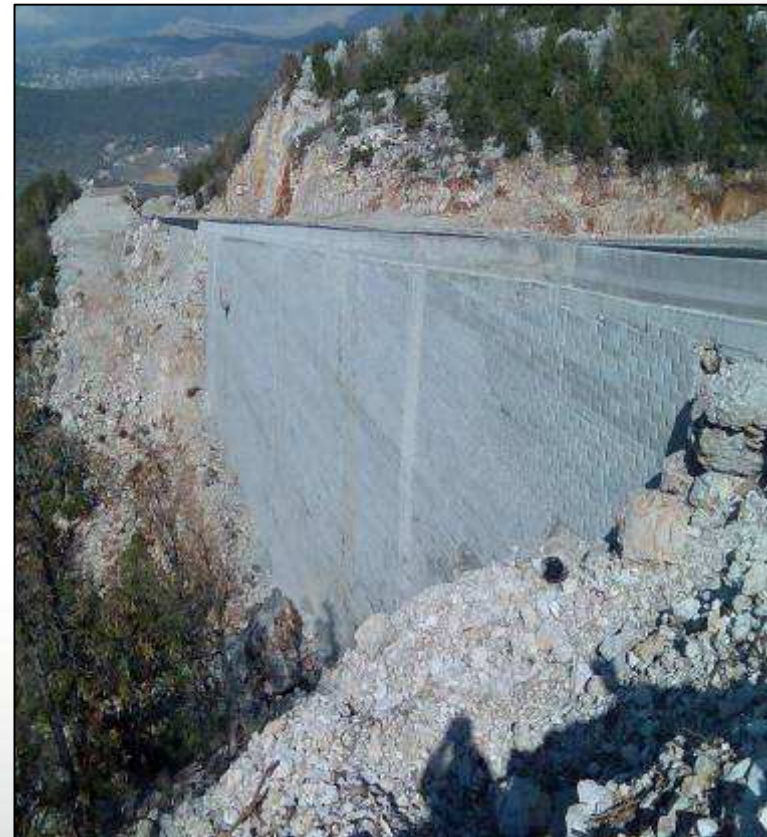
#### Elevata resistenza

- altezze notevoli
- sopportare carichi e spinte elevate



Seul,  
Corea del Sud

North Lebanon/Bekaa valley  
Highway - Libano, 2007





## APPLICAZIONI

Realizzazione di opere di sostegno

- Interventi con ampio sviluppo lineare
  - Rilevati stradali (nuovi o allargamento esistenti)
  - Muri d'ala e spalle di ponte
- Interventi con geometria complessa ed articolata
  - Edilizia privata
  - Arredo urbano e giardini – elementi decorativi

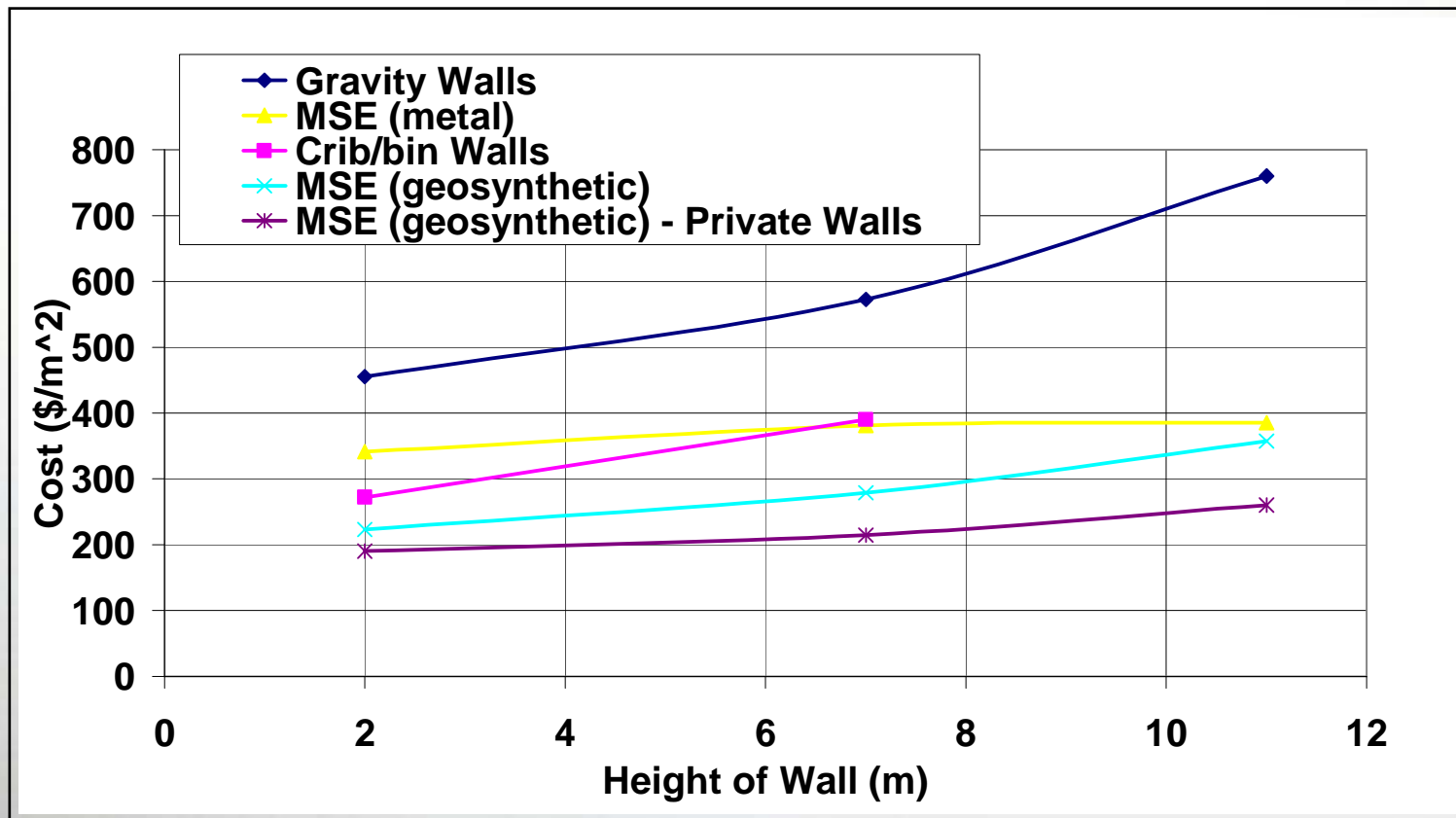




## OPERE DI SOSTEGNO

Analisi comparativa costi per le opere di sostegno

J. Koerner, e al., Survey (1998)





## TENAX T-BLOCK – ELEMENTI COSTITUTIVI

1. Elemento di rinforzo: geogriglie in HDPE a giunzione integrale
2. Elemento di facciata: blocco modulare in CLS
3. Elemento di connessione: connettori T-Clip

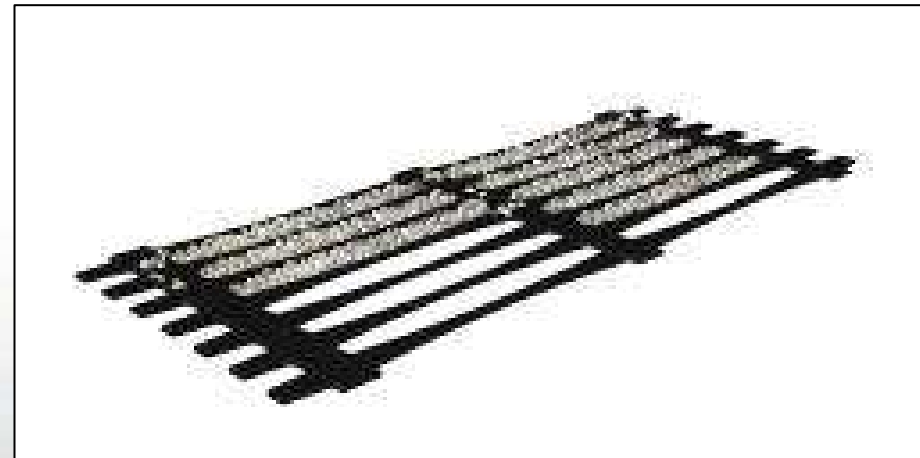




## ELEMENTO DI RINFORZO: GEOGRIGLIE A GIUNZIONE INTEGRALE

Le geogriglie utilizzate per il rinforzo del terreno sono geogriglie TENAX TT SAMP, che soddisfano i seguenti requisiti

- struttura piana monolitica (**giunzione integrale** pari almeno all' 80% della resistenza massima a trazione dei fili longitudinali)
- resistenza a trazione definita secondo norma EN ISO 10319
- 100% in polietilene ad alta densità (HDPE)
- stabilizzazione ai raggi UV mediante l'impiego di carbon black
- durabilità > 120 anni
- $1,6 < PH < 13$
- temperatura di utilizzo < 40 °C



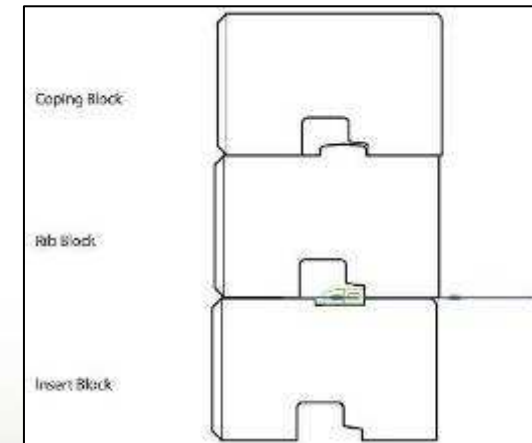




## ELEMENTO DI FACCIATA: BLOCCO MODULARE IN CLS

Gli elementi di facciata T-Block sono blocchi modulari in CLS con una resistenza media alla compressione  $> 20$  MPa

- Faccia a vista
  - splittato
  - liscio
- Diverse colorazioni

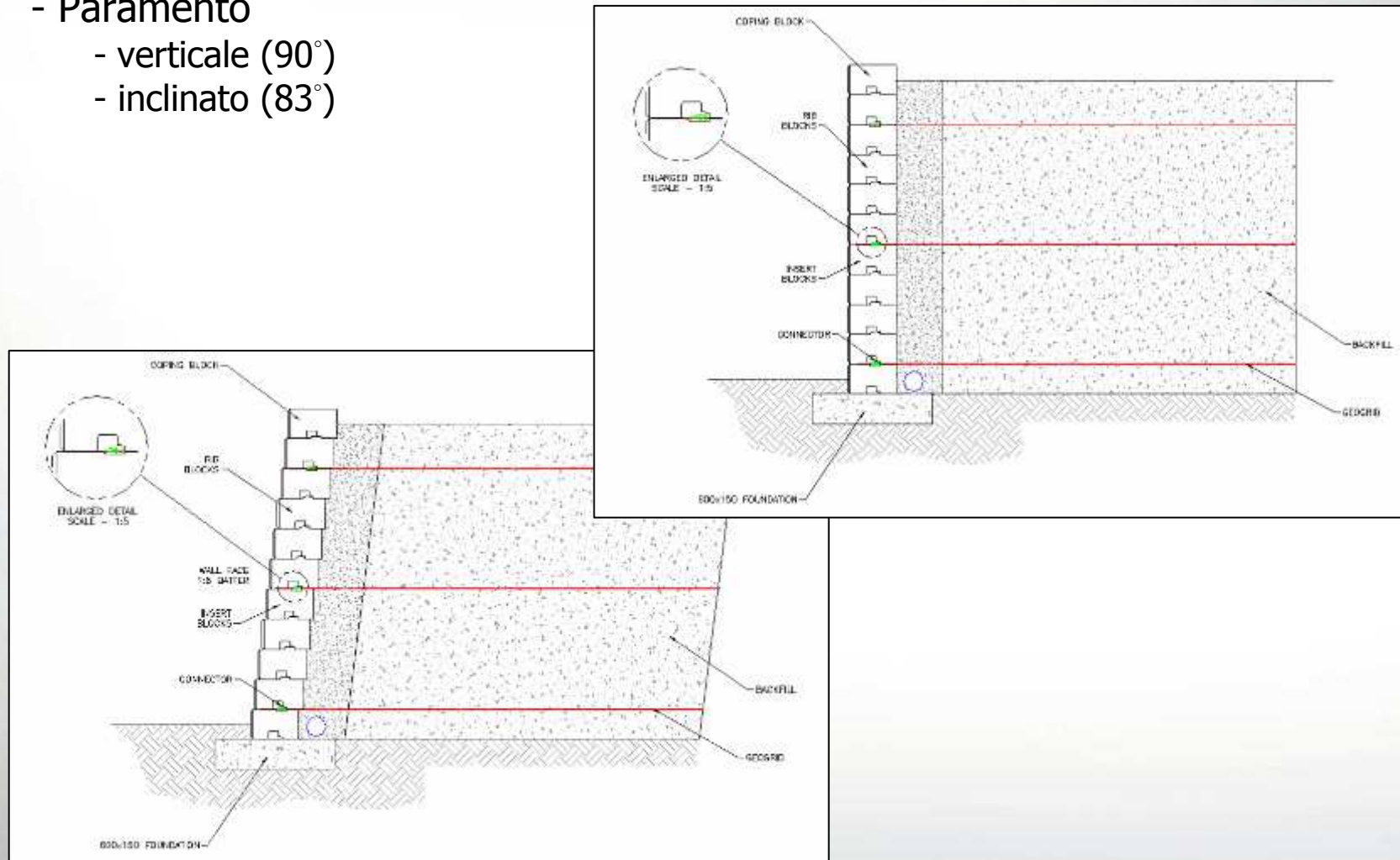




## ELEMENTO DI FACCIATA: BLOCCO MODULARE IN CLS

- Paramento

- verticale (90°)
- inclinato (83°)





## ELEMENTO DI CONNESSIONE: CONNETTORI T-CLIP



T-clip

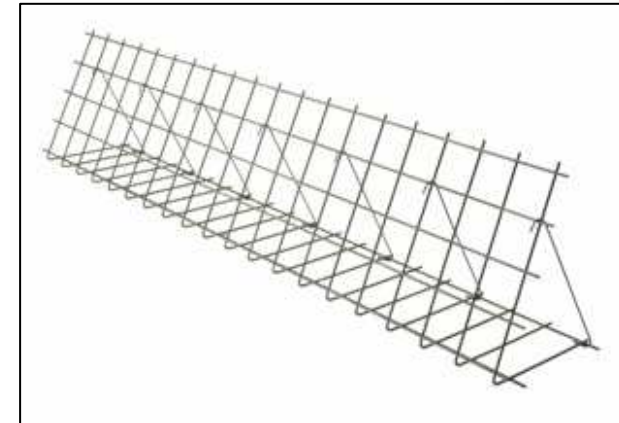


T-clip inserita nella geogriglia



## TENAX RIVEL – ELEMENTI COSTITUTIVI

1. Elemento di rinforzo: geogriglie in HDPE a giunzione integrale certificate per la realizzazione di pendii ripidi rinforzati con inclinazione fino a 85° dall'ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni)
2. Elementi di facciata:
  - Cassero in rete elettrosaldata di guida e d'appoggio "a perdere" ( $\varnothing$  8mm / maglia 150x150mm)
  - Tiranti di irrigidimento
  - Feltro Vegetativo Preseminato o biostuoia vegetale e successiva idrosemina





## APPLICAZIONI



Trentino - Italia,  
2001



Nent landfill - Hong Kong,  
2006



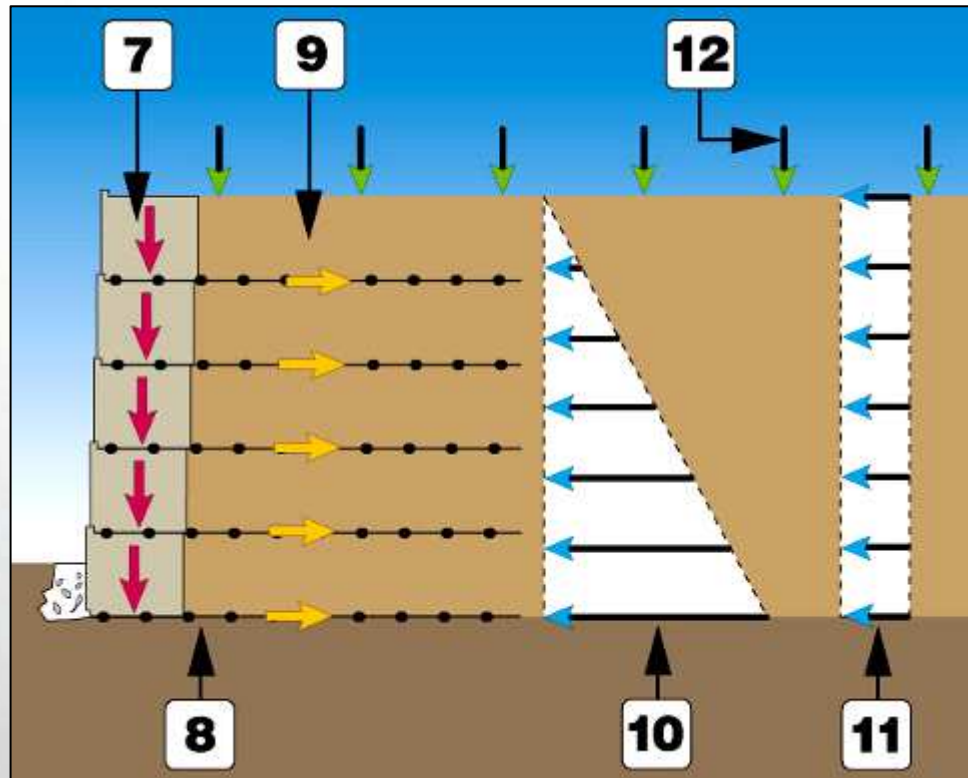
## MURI MODULARI RINFORZATI - H > 20,00m



Cairo, Allegria project  
Egitto



## ELEMENTI COSTITUTIVI DI UN MURO MODULARE



7: Il peso dei blocchi contribuisce a garantire la stabilità della facciata e a proteggere dall'erosione

8: La pressione alle spalle dei blocchi è minima

9: Sforzi interni trasmessi dalle geogriglie

10: Spinta dovuta al peso del terreno di riempimento

11: Spinta dovuta al carico distribuito

12: Carico distribuito



# NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La progettazione dei muri modulari rinforzati e delle opere in terre rinforzate è uso comune in molte zone del mondo. Esistono metodi di calcolo riconosciuti che consentono di avere tutte le garanzie necessarie nella progettazione di tali opere, tra cui:

- **FHWA** (Federal Highway Administration)
- **AASHTO** (American Association of State Highway and Transportation Officials)
- **BS 8006** (British Standard)

Il **DM 14/01/2008** (Gazzetta ufficiale n. 29 del 04/02/2008)

“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”

Entrato in vigore 30 giugno 2009

Circolare n. 617 del 26/02/2009

“Istruzioni per l’applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”





# DM 14/01/2008

## PRINCIPALI NOVITA' NTC 2008

Accorpamento in un unico testo della normativa fondamentale nel campo delle costruzioni

Filosofia progettuale che recepisce si avvicina ai criteri dettati dagli ***Eurocodici***

Introduzione dei ***valori caratteristici dei parametri*** di progetto

Filosofia ***prestazionale*** delle opere

Determinazione degli ***Stati Limite***, per la progettazione delle opere



# PROGETTAZIONE GEOTECNICA (Cap. 6)

## CAPITOLO 6: PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Oggetto delle norme è la verifica, progettazione e la realizzazione di:

- stabilità dei pendii naturali
- opere di fondazione
- ***opere di sostegno (terre rinforzate, muri cellulari)***
- tiranti di ancoraggio
- opere in sotterraneo
- opere e manufatti di materiali sciolti e fronti di scavo
- miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi
- consolidamento dei terreni interessanti opere esistenti
- discariche controllate di rifiuti e depositi di inerti
- fattibilità di grandi opere che hanno riflessi su grandi aree



# STATI LIMITE

## DETERMINAZIONE DEGLI STATI LIMITE

La sicurezza e le prestazioni di un'opera e di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli **stati limite** che si possono verificare durante la vita nominale. **Stato limite** è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata

Si distinguono due possibili condizioni:

- **Stati limite ultimi (SLU)**: il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce **collasso**
- **Stati limite di esercizio (SLE)**: il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere **reversibile o irreversibile**



# STATI LIMITE

## **STATO LIMITE ULTIMO - SLU**

L'opera deve essere progettata per prevenire

- crolli
- perdite di equilibrio
- dissesti gravi totali e parziali

La progettazione deve essere idonea

- salvaguardare l'incolumità delle persone
- evitare la perdita di beni
- tutelare dalla possibilità danni ambientali e sociali

Occorre evitare che l'opera possa essere messa fuori servizio



## STATO LIMITE ULTIMO - SLU

La verifica agli *stati limite ultimi* deve rispettare la condizione

$$Ed \leq Rd$$

Dove

***Ed*** è una funzione dei **valori caratteristici** di ciascuna **azione** agente **moltiplicati** per un coefficiente parziale di sicurezza che tiene conto delle incertezze di modellazione della resistenza

***Rd*** è una funzione dei **valori caratteristici** della **resistenza** del sistema geotecnico **divisi** per un coefficiente di sicurezza sulla resistenza e un coefficiente di incertezza nella modellazione della resistenza



# STATI LIMITE

## STATO LIMITE DI ESERCIZIO - SLE

L'opera deve possedere tutti i requisiti per garantire le prestazioni previste compatibilmente con la destinazione d'uso dell'opera stessa

- deformazioni
- spostamenti

Le opere in terra rinforzata sono strutture ***duttili*** e con ***elevata flessibilità***, che garantiscono una adeguata funzionalità anche in presenza di grandi spostamenti.

L'opera risulta essere fuori servizio solamente per deformazioni tali da mettere in crisi la stabilità della struttura stessa

***SLE -> SLU***



# STATI LIMITE

## IDENTIFICAZIONE DEGLI STATI LIMITE ULTIMI

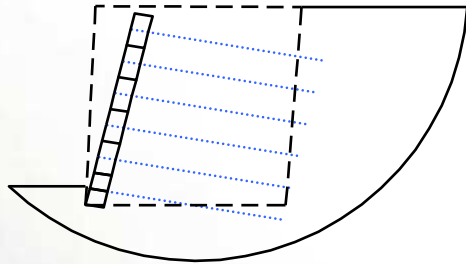
Nel dettaglio, si possono considerare cinque stati limite ultimi che, in riferimento a quanto indicato negli Eurocodici, sono così identificati:

- **EQU** – perdita di equilibrio della struttura, del terreno o dell'insieme terreno-struttura
- **STR** – raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione
- **GEO** – raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura
- **UPL** – perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla sottospinta dell'acqua (galleggiamento)
- **HYD** – erosione e sifonamento del terreno dovuta a gradienti idraulici

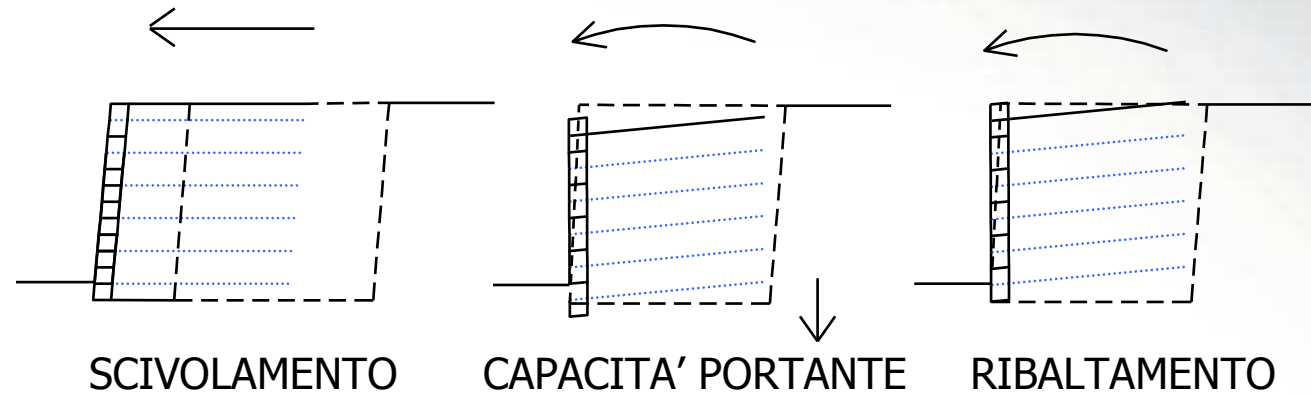


# VERIFICHE DI STABILITA'

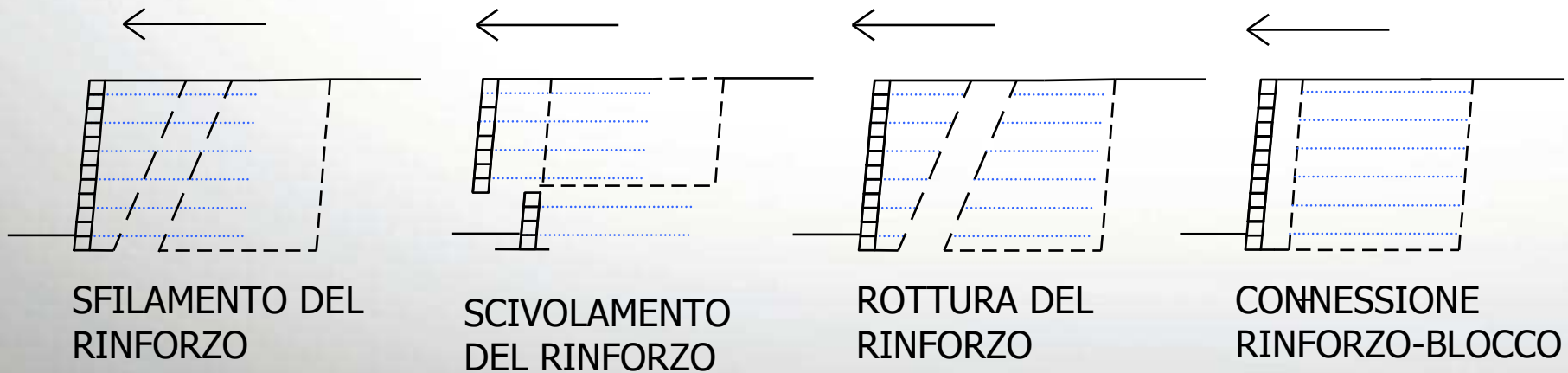
## STABILITA' GLOBALE



## STABILITA' ESTERNA



## STABILITA' INTERNA







# VERIFICHE

## STATO LIMITE ULTIMO – SLU

Le opere in terre rinforzate devono essere verificate per i seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)
  - Stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno
  - Traslazione sul piano di posa
  - Collasso per carico limite del complesso fondazione – terreno
  - Ribaltamento
  
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - Sfilamento del singolo rinforzo dal terreno (Pullout)
  - Traslazione per scivolamento lungo il singolo rinforzo (Direct Sliding)
  - Resistenza di design dell'elemento di rinforzo
  - Sistema di connessione rinforzo – blocchi
  - Vincolo allo scorrimento tra blocchi sovrapposti



# COMBINAZIONE DEI COEFFICIENTI

## STATO LIMITE ULTIMO – SLU

Le NTC 2008 prevedono per verificare gli stati limite ultimi due tipi di approcci progettuali distinti e alternativi :

- **Approccio 1** due diverse combinazioni di coefficienti
  - **Combinazione 1** ( $A1+M1+R1$ ) più severa nei confronti del dimensionamento strutturale di opere a contatto con il terreno
  - **Combinazione 2** ( $A2+M2+R2$ ) più severa nei confronti del dimensionamento geotecnico
- **Approccio 2** ( $A1+M1+R3$ ) una combinazione unica per gruppi di coefficienti adottabili sia nel dimensionamento strutturale che in quello geotecnico

Nel caso di ***muri di sostegno dotati di ancoraggi al terreno***, le verifiche devono essere effettuate con riferimento al solo **Approccio 1**



# COEFFICIENTI (A) PER AZIONI

## STATO LIMITE ULTIMO – SLU

Le combinazioni di coefficienti da applicare alle **azioni (A)** nelle verifiche agli stati limite ultimo sono (cfr. Par. 6.2.3.1.1- Tab. 6.2.I)

**Tabella 6.2.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Terreno e acqua sono assimilabili a carichi permanenti (strutturali), qualora nella modellazione utilizzata contribuiscano al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità



# COEFFICIENTI (M) GEOTECNICI

## STATO LIMITE ULTIMO – SLU

Le combinazioni di coefficienti da applicare ai **parametri geotecnici (M)** nelle verifiche agli stati limite ultimo sono (cfr. Par. 6.2.3.1.2- Tab. 6.2.II)

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0



# COEFFICIENTI (R) PER VERIFICHE

## STATO LIMITE ULTIMO – SLU

Le combinazioni di coefficienti da applicare per le **verifiche (R)** agli stati limite ultimo sono (cfr. Par. 6.5.3.1.1- Tab. 6.5.I)

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Per i manufatti realizzati con materiali sciolti (terre rinforzate, muri cellulari) viene applicato un coefficiente parziale di sicurezza **(R2)** riportato in tab. 6.8.I, identico alle opere in terreni sciolti o fronti di scavo

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1



# PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (Cap. 7)

## VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Per vita nominale si intende il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata

## VITA NOMINALE

Ogni tipologia di opera ha una vita nominale determinata dalla tab. 2.4.I

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$



## CLASSE D'USO

Si distinguono le seguenti classi d'uso delle opere

- Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.



## PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA

Individuata la vita nominale dell'opera e la classe d'uso è possibile determinare il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Dove  $C_U$  è il coefficiente d'uso determinato in tab. 2.4.II

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.





## STATO LIMITE DI ESERCIZIO

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

## STATO LIMITE ULTIMO

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.



## DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE - COEFFICIENTI

Definita l'accelerazione massima attesa nel sito rigido di riferimento è possibile calcolare i coefficienti sismici mediante le seguenti relazioni

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Dove  $S_S$ ,  $S_T$  sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

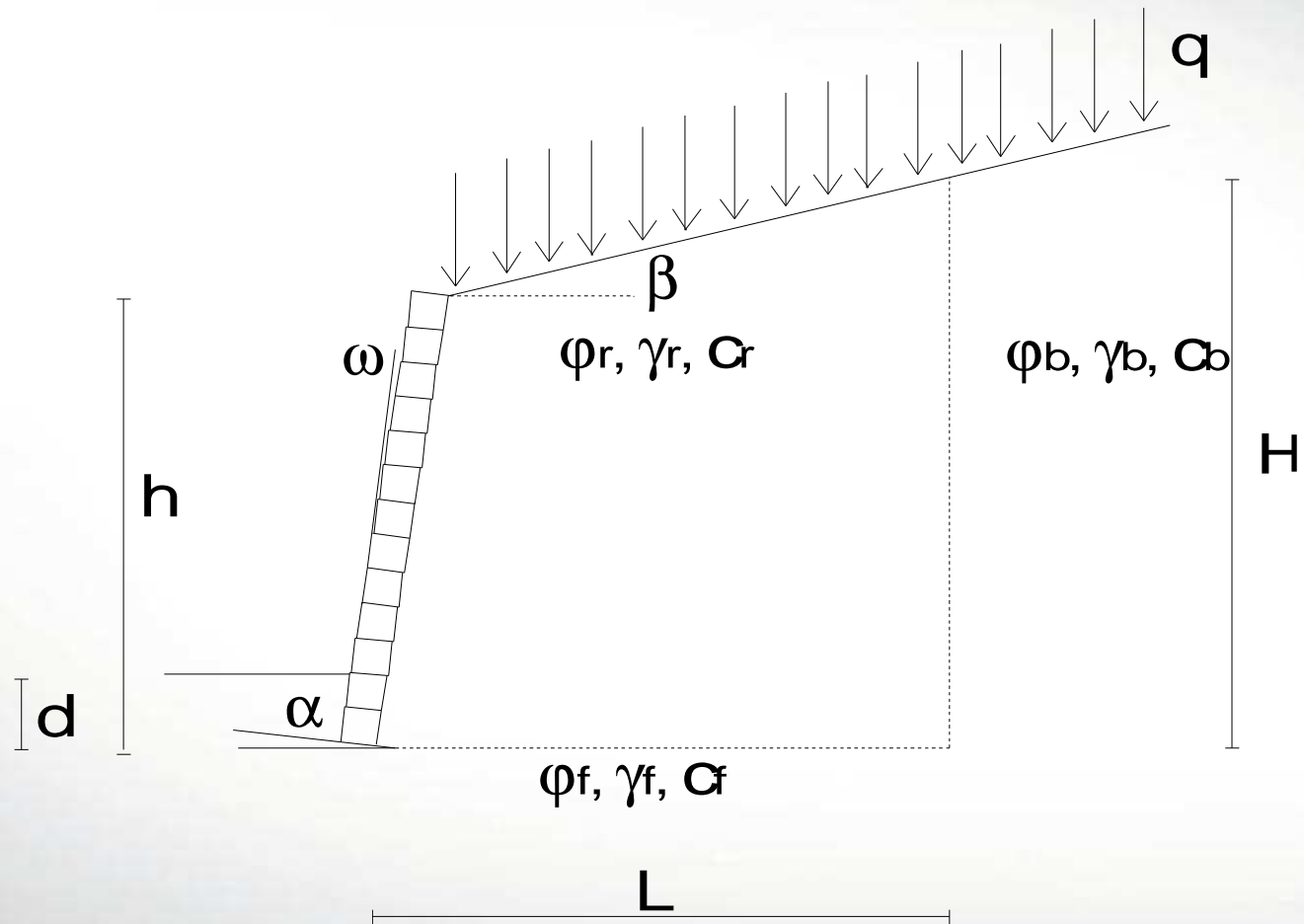
Dove  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, e viene determinato mediante la tab. 7.11.II

Tabella 7.11.II - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

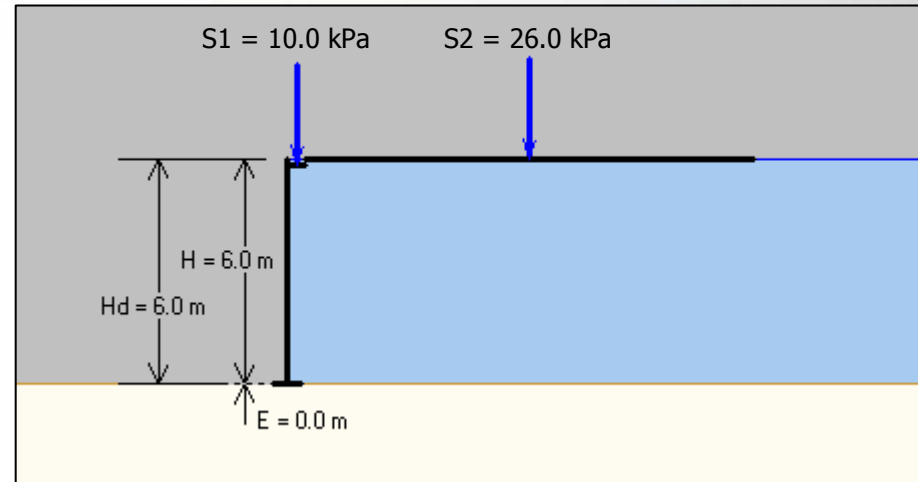


## DATI DI PROGETTO





## GEOMETRIA - CARICHI



### INPUT DATA: Geometry and Surcharge loads (of a SIMPLE STRUCTURE)

Design height, $H_d$	6.00 [m]	{ Embedded depth is $E = 0.00$ m, and height above top of finished bottom grade is $H = 6.00$ m }
Batter, $\omega$	0.0 [deg]	
Backslope, $\beta$	0.0 [deg]	
Backslope rise	0.0 [m]	Broken back equivalent angle, $I = 0.00^\circ$ (see Fig. 25 in DEMO 82)

### UNIFORM SURCHARGE

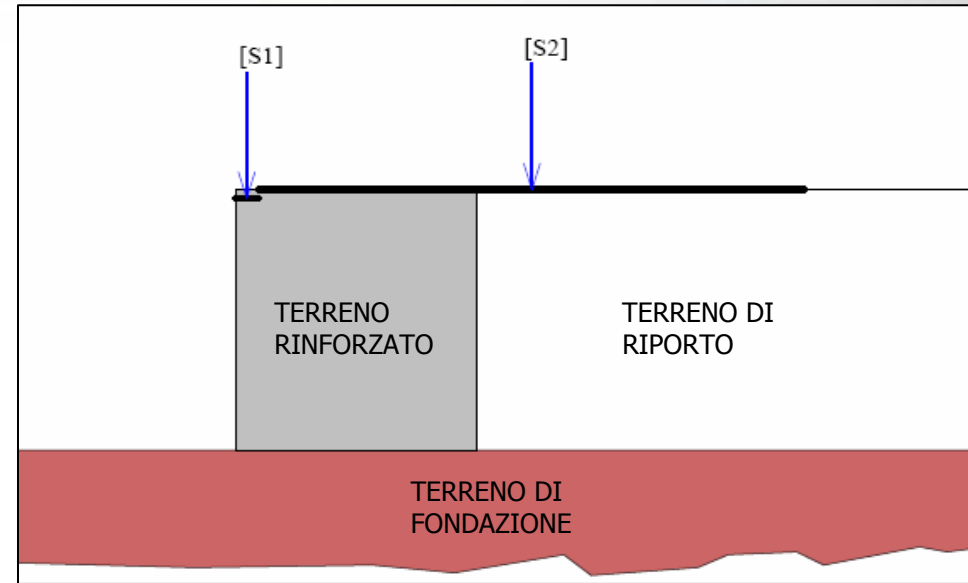
Uniformly distributed dead load is 0.0 [kPa]

### OTHER EXTERNAL LOAD(S)

- [S1] Strip Load,  $Q_{v-d} = 10.0$  and  $Q_{v-l} = 0.0$  [kPa].  
Footing width,  $b=0.5$  [m]. Distance of center of footing from wall face,  $d = 0.3$  [m] @ depth of 0.2 [m] below soil surface.
- [S2] Strip Load,  $Q_{v-d} = 0.0$  and  $Q_{v-l} = 26.0$  [kPa].  
Footing width,  $b=12.0$  [m]. Distance of center of footing from wall face,  $d = 6.5$  [m] @ depth of 0.0 [m] below soil surface.



## CARATTERISTICHE DEI TERRENI



### SOIL DATA

#### REINFORCED SOIL

Unit weight,  $\gamma$  19.0 kN/m<sup>3</sup>  
Design value of internal angle of friction,  $\phi$  30.0 °

#### RETAINED SOIL

Unit weight,  $\gamma$  19.0 kN/m<sup>3</sup>  
Design value of internal angle of friction,  $\phi$  30.0 °

#### FOUNDATION SOIL (Considered as an equivalent uniform soil)

Equivalent unit weight,  $\gamma_{equiv}$  19.0 kN/m<sup>3</sup>  
Equivalent internal angle of friction,  $\phi_{equiv}$  29.0 °  
Equivalent cohesion,  $c_{equiv}$  0.0 kPa

Water table does not affect bearing capacity

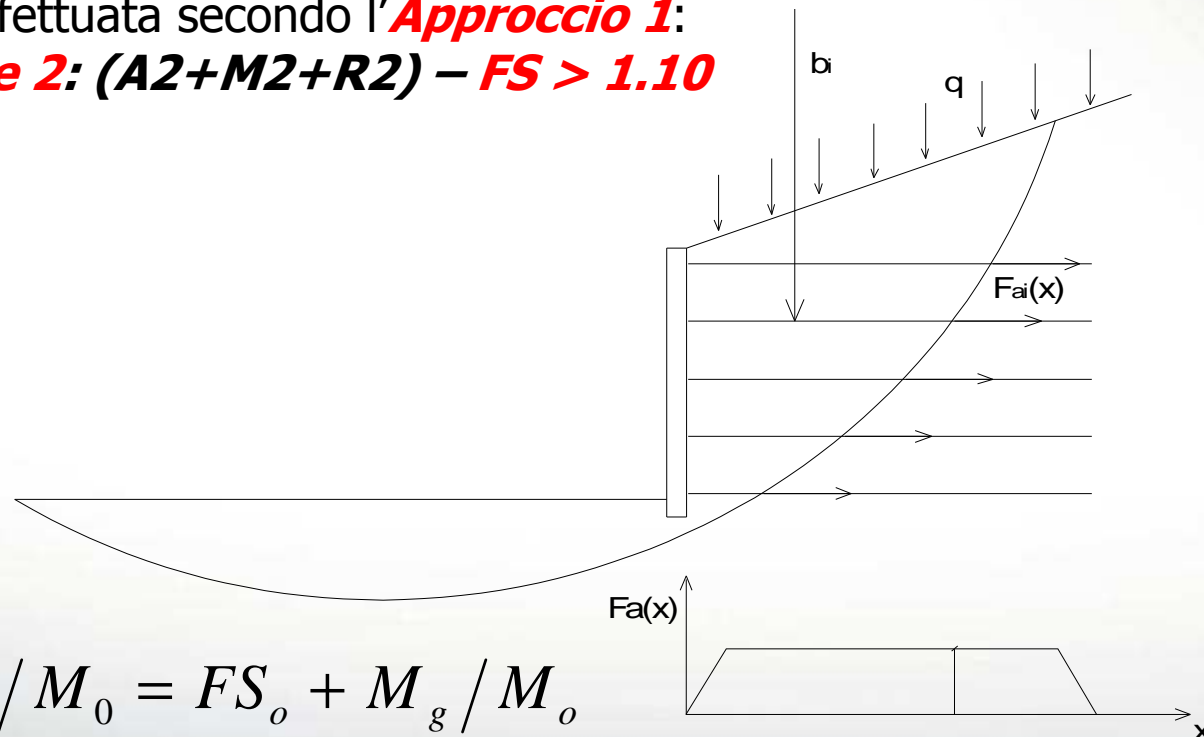
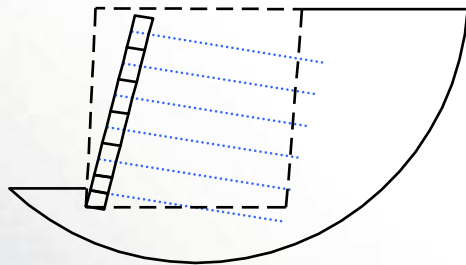


# STABILITA' GLOBALE

## STABILITA' GLOBALE - SLU di tipo geotecnico (GEO)

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

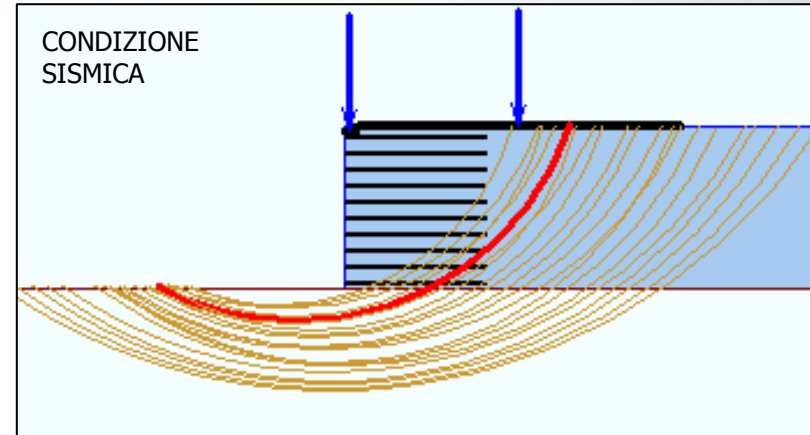
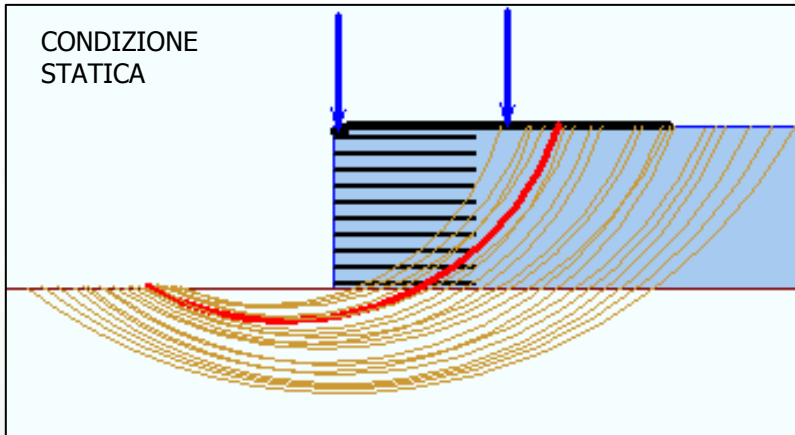
- **Combinazione 2: (A2+M2+R2) – FS > 1.10**



$$FS_{gl} = (M_s + M_g) / M_o = FS_o + M_g / M_o$$



## STABILITA' GLOBALE



### STATIC CONDITIONS:

For the specified search grid, the calculated minimum  $F_s$  is 1.429

(it corresponds to a critical circle at  $X_c = -1.72$ ,  $Y_c = 9.52$  and  $R = 10.77$  [m] where  $(x=0, y=0)$  is taken at the TOE or  $X_c = 31.61$ ,  $Y_c = 109.52$  and  $R = 10.77$  [m] when the terrain coordinate system is used as shown in the table below.)

### SEISMIC CONDITIONS:

For the specified search grid, the calculated minimum  $F_s$  is 1.364

(it corresponds to a critical circle at  $X_c = -1.72$ ,  $Y_c = 9.52$  and  $R = 10.77$  [m] where  $(x=0, y=0)$  is taken at the TOE or  $X_c = 31.61$ ,  $Y_c = 109.52$  and  $R = 10.77$  [m] when the terrain coordinate system is used as shown in the table below.)



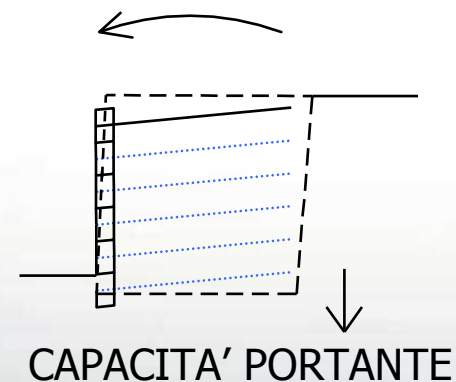
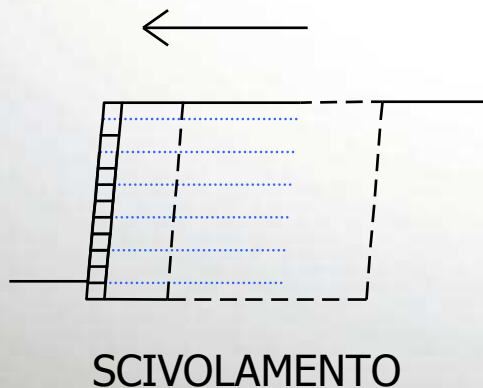
# STABILITA' ESTERNA

## SLU di tipo geotecnico (GEO)

- Verifica alla traslazione sul piano di posa
- Verifica al collasso per carico limite del complesso fondazione - terreno

devono essere effettuate secondo l'**Approccio 1**

- **Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.00$**
- **Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.00$**





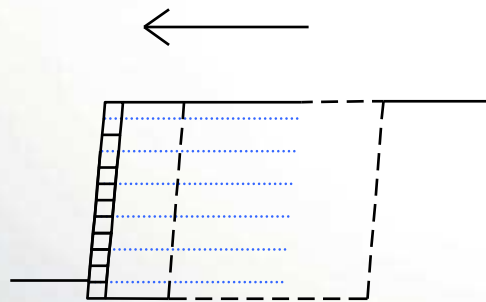


# STABILITA' ESTERNA

## TRASLAZIONE - SLU di tipo geotecnico (GEO)

La verifica alla traslazione sul piano di posa deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

- **Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.00$**
- **Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.00$**

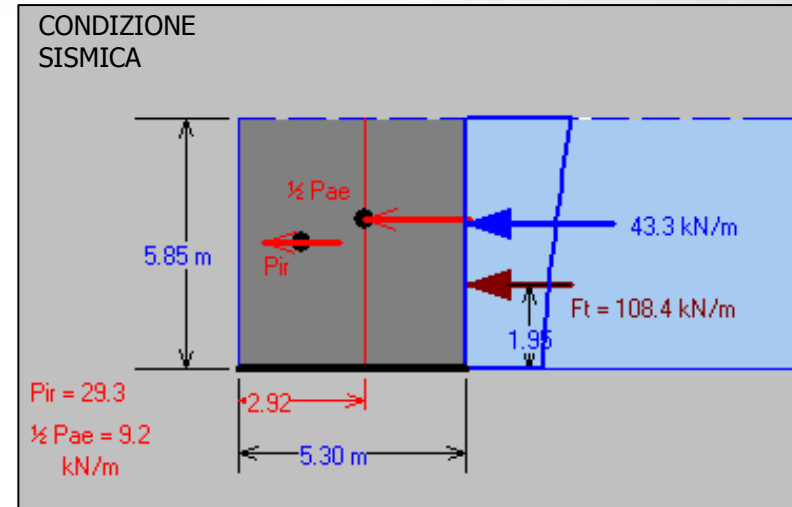
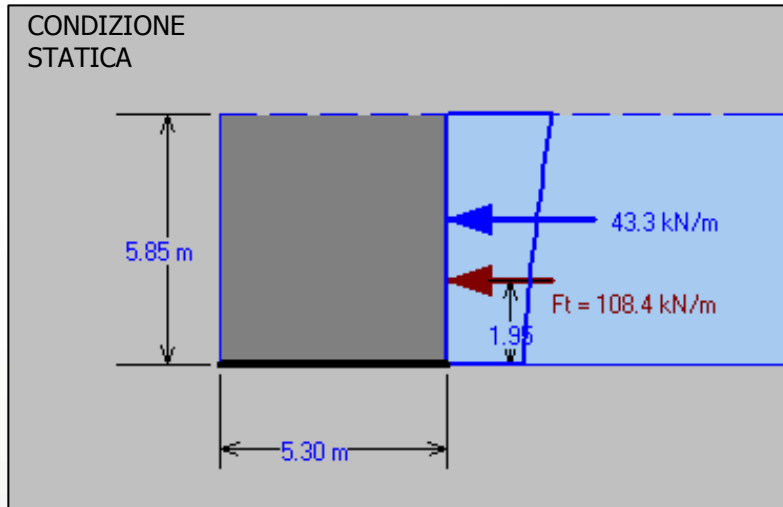


SCIVOLAMENTO

$$FS_s = \frac{(W_r + W_b + Q) \cdot \tan \phi_k}{F_{tbh}}$$



# SCIVOLAMENTO



## DIRECT SLIDING for GIVEN LAYOUT (for GEOGRID reinforcements)

Along reinforced and foundation soils interface:  $F_s\text{-static} = 2.134$  and  $F_s\text{-seismic} = 1.700$

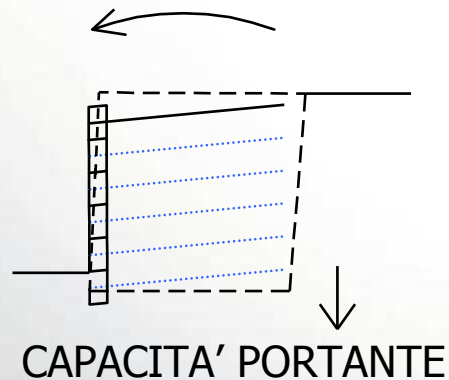


# STABILITA' ESTERNA

## CAPACITA' PORTANTE - SLU di tipo geotecnico (GEO)

La verifica al collasso per carico limite del complesso fondazione – terreno deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

- **Combinazione 1: (A1+M1+R1) – FS > 1.00**
- **Combinazione 2: (A2+M2+R2) – FS > 1.00**



$$e = \frac{(2 \cdot F_{dbh} + 3 \cdot F_{qbh}) \cdot H - W_b \cdot L}{6 \cdot (W_r + W_b + Q)} < \frac{L}{6}$$

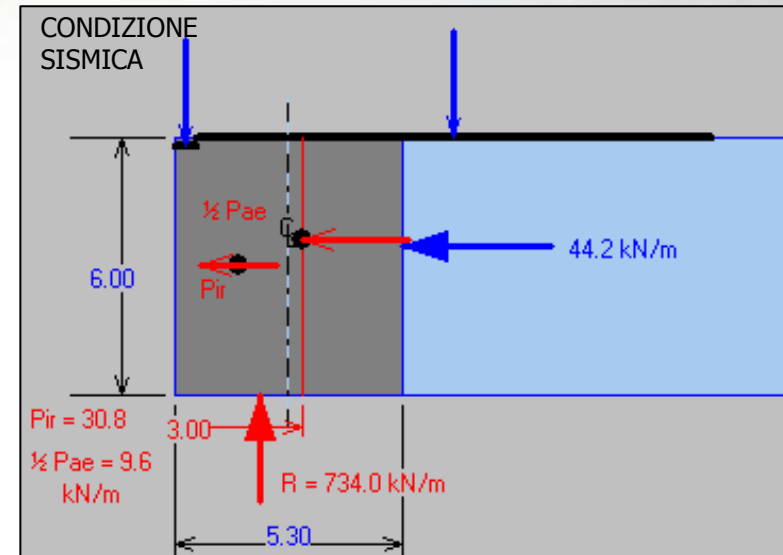
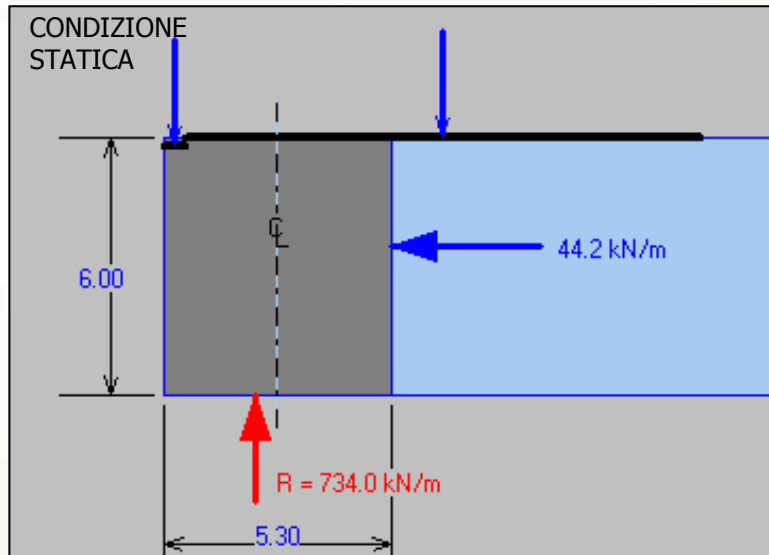
$$L' = L - 2 \cdot e$$

$$Q_a = \frac{W_r + W_b + Q}{l - 2 \cdot e}$$

$$FS_b = \frac{Q_{ult}}{Q_a}$$



# CAPACITA' PORTANTE



## BEARING CAPACITY for GIVEN LAYOUT

	STATIC	SEISMIC	UNITS
(Water table does not affect bearing capacity)			
Ultimate bearing capacity, $q_{ult}$	792.2	728.6	[kPa]
Meyerhof stress, $\sigma_v$	170.22	185.1	[kPa]
Eccentricity, $e$	0.49	0.67	[m]
Eccentricity, $e/L$	0.093	0.126	
$F_s$ calculated	4.65	3.94	
Base length	5.30	5.30	[m]

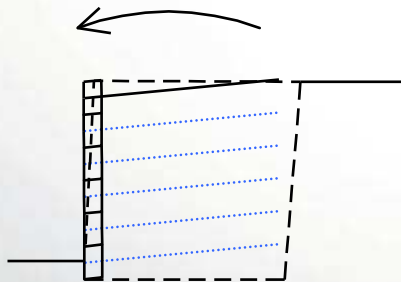


# STABILITA' ESTERNA

## SLU di equilibrio di corpo rigido (EQU)

La verifica a **RIBALTAMENTO** non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio di corpo rigido (**EQU**):

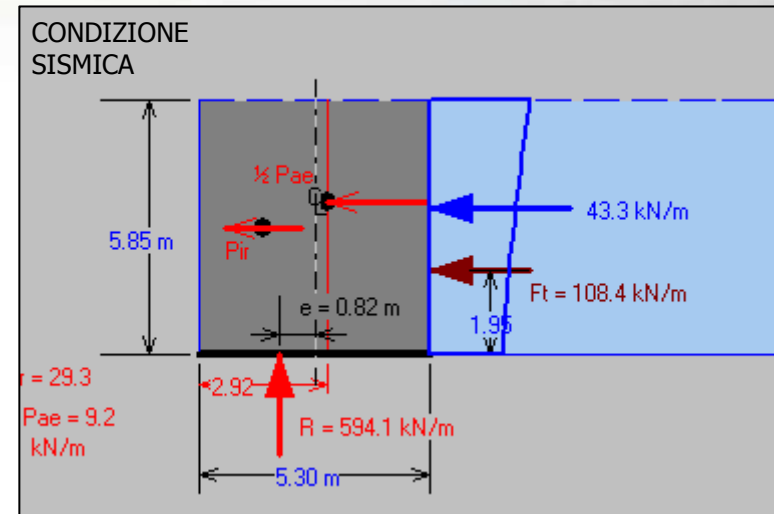
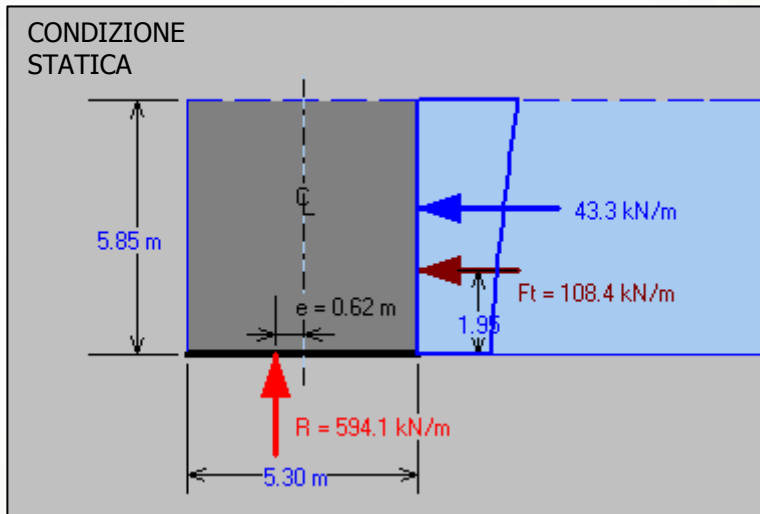
- **Combinazione: (EQU+M2+R2) – FS > 1.00**



RIBALTAMENTO



# RIBALTAMENTO



## ECCENTRICITY for GIVEN LAYOUT

At interface with foundation:  $e/L$  static = 0.1219,  $e/L$  seismic = 0.1613; Overturning:  $F_s$ -static = 4.20,  $F_s$ -seismic = 3.15

#	Geogrid Elevation [m]	Geogrid Length [m]	$e/L$ Static	$e/L$ Seismic	Geogrid Type #	Product name
1	0.15	5.30	0.1175	0.1549	3	TENAXTT090
2	0.75	5.30	0.1004	0.1305	3	TENAXTT090
3	1.35	5.30	0.0847	0.1083	3	TENAXTT090
4	1.95	5.30	0.0706	0.0885	3	TENAXTT090
5	2.55	5.30	0.0581	0.0710	2	TENAXTT060
6	3.15	5.30	0.0472	0.0560	2	TENAXTT060
7	3.75	5.30	0.0384	0.0438	2	TENAXTT060
8	4.35	5.30	0.0323	0.0352	1	TENAXTT045
9	4.95	5.30	0.0313	0.0325	1	TENAXTT045
10	5.55	5.30	0.0489	0.0491	1	TENAXTT045



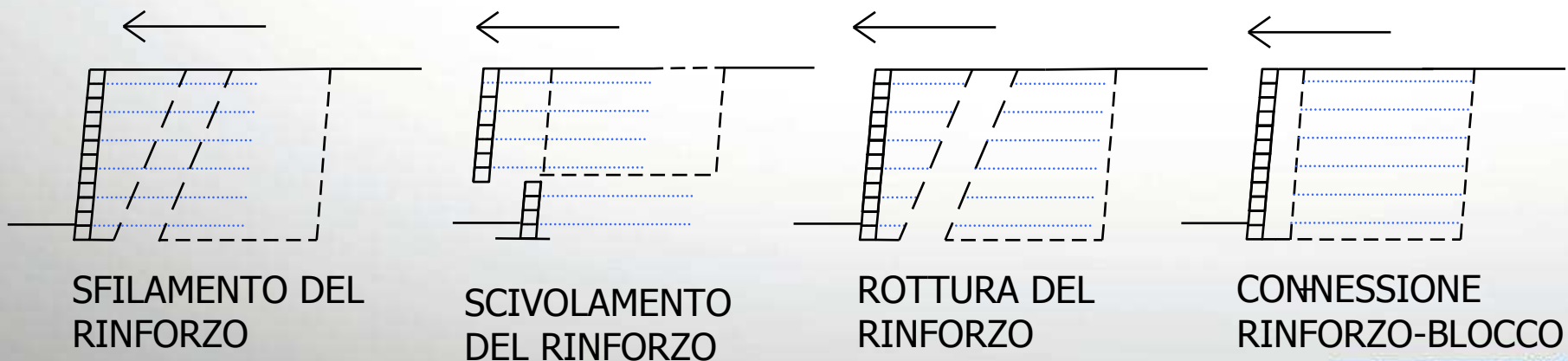
# STABILITA' INTERNA

## SLU di tipo strutturale (STR)

- Verifica allo sfilamento del singolo rinforzo dal terreno (***Pullout***)
- Verifica allo scivolamento lungo il singolo rinforzo (***Direct Sliding***)
- Verifica della resistenza di design dell'elemento di rinforzo
- Verifica del sistema di connessione tra rinforzo e blocco
- Verifica allo scorrimento tra blocchi sovrapposti

devono essere effettuate secondo l'***Approccio 1***

- ***Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.00$***
- ***Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.00$***





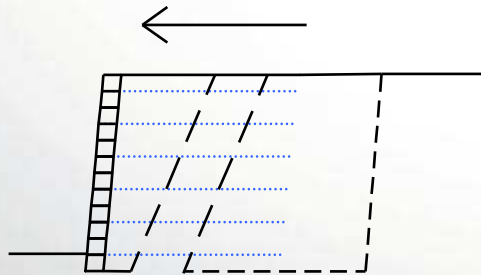
# STABILITA' INTERNA

## SFILAMENTO (PULLOUT) - SLU di tipo strutturale (STR)

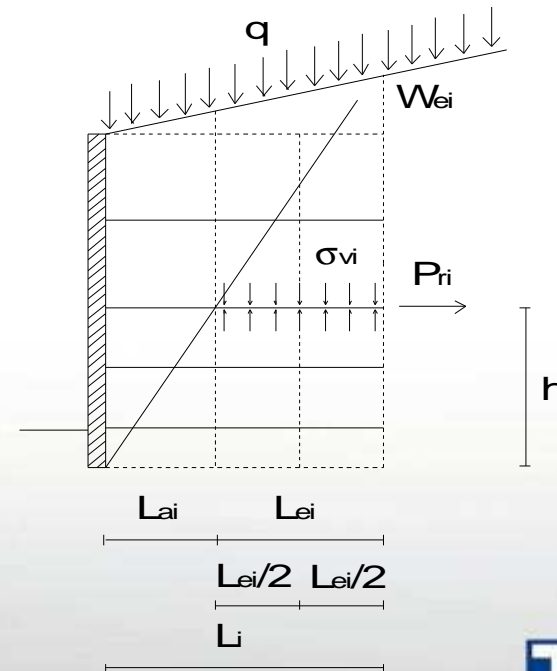
La verifica allo sfilamento del singolo rinforzo dal terreno deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

- **Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.50^*$**
- **Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.50^*$**

\* FHWA-NHI-00-043 (Cap. 2.7.c)



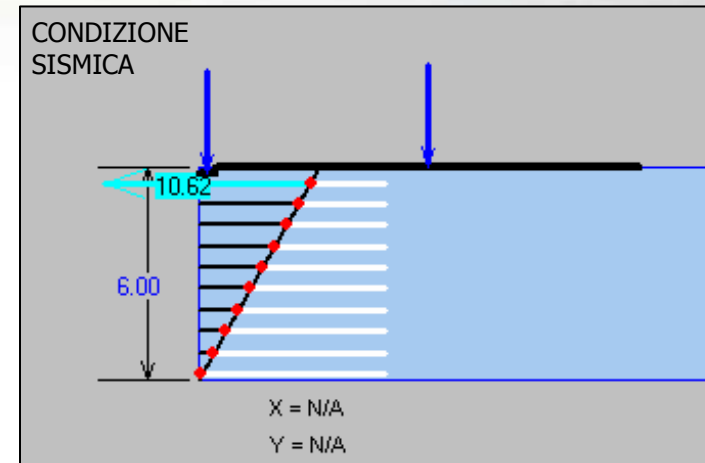
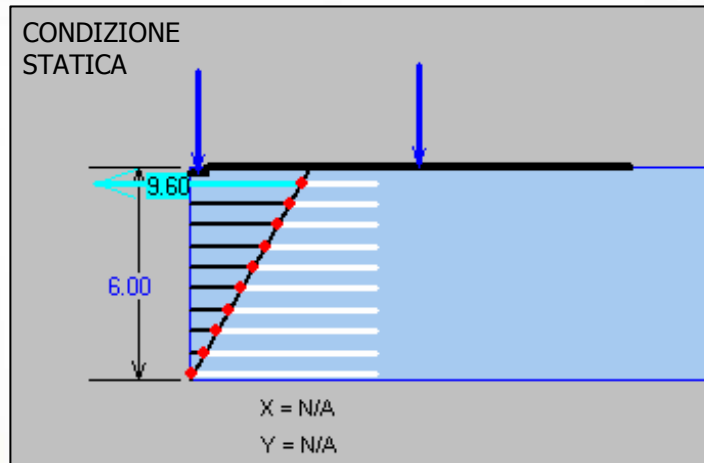
SFILAMENTO DEL RINFORZO







# SFILAMENTO (PULLOUT)



## RESULTS for PULLOUT

#	Geogrid Elevation [m]	Coverage Ratio	Tmax [kN/m]	Tmd [kN/m]	Le [m]	La [m]	Avail.Static Pullout, Pr [kN/m]	Specified Static Fs	Actual Static Fs	Avail.Seism. Pullout, Pr [kN/m]	Specified Seismic Fs	Actual Seismic Fs
1	0.15	1.000	19.73	2.54	5.21	0.09	607.1	N/A	30.771	607.1	N/A	27.266
2	0.75	1.000	24.41	2.37	4.87	0.43	508.8	N/A	20.847	508.8	N/A	19.004
3	1.35	1.000	22.25	2.20	4.52	0.78	418.6	N/A	18.813	418.6	N/A	17.121
4	1.95	1.000	20.10	2.03	4.17	1.13	336.5	N/A	16.739	336.5	N/A	15.204
5	2.55	1.000	17.97	1.86	3.83	1.47	262.2	N/A	14.589	262.2	N/A	13.219
6	3.15	1.000	15.86	1.69	3.48	1.82	195.8	N/A	12.345	195.8	N/A	11.154
7	3.75	1.000	13.79	1.52	3.13	2.17	139.2	N/A	10.092	139.2	N/A	9.087
8	4.35	1.000	11.78	1.36	2.79	2.51	90.8	N/A	7.710	90.8	N/A	6.914
9	4.95	1.000	9.92	1.19	2.44	2.86	50.6	N/A	5.105	50.6	N/A	4.558
10	5.55	1.000	9.60	1.02	2.10	3.20	18.6	N/A	1.939	18.6	N/A	1.753

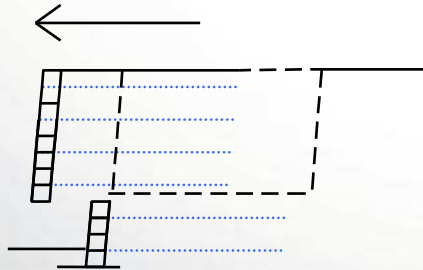


# STABILITA' INTERNA

## TRASLAZIONE (DIRECT SLIDING) - SLU di tipo strutturale (STR)

La verifica allo scorrimento orizzontale lungo ogni strato di rinforzo deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

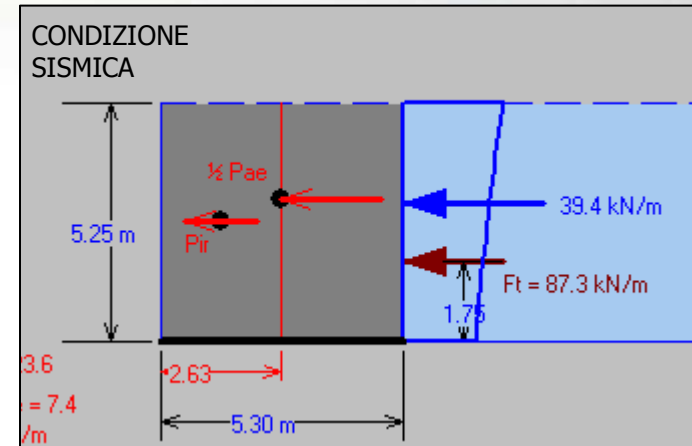
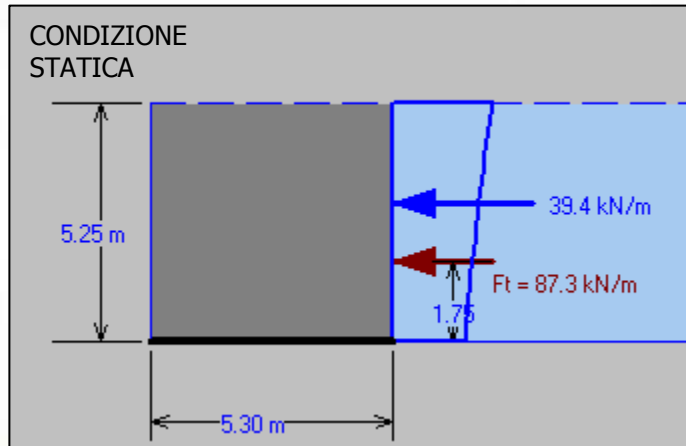
- **Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.00$**
- **Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.00$**



SCIVOLAMENTO  
DEL RINFORZO



## TRASLAZIONE (DIRECT SLIDING)



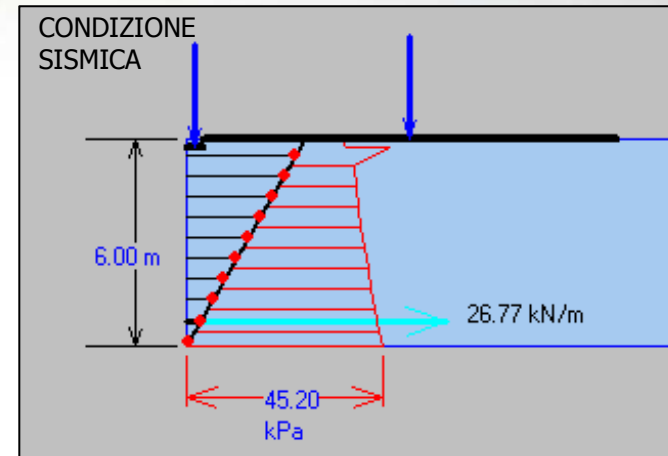
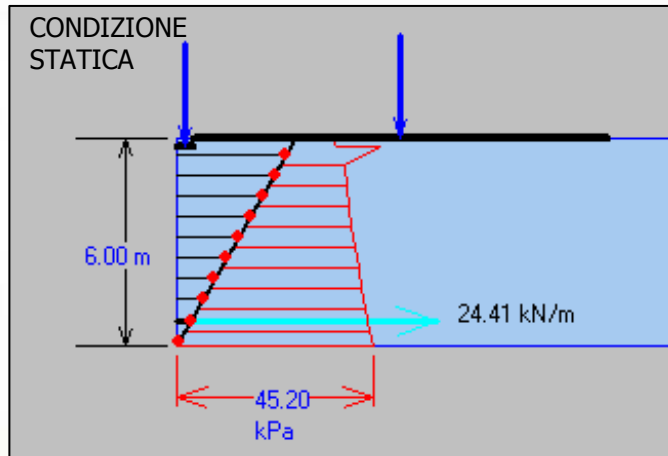
### DIRECT SLIDING for GIVEN LAYOUT (for GEOGRID reinforcements)

Along reinforced and foundation soils interface:  $F_s\text{-static} = 2.134$  and  $F_s\text{-seismic} = 1.700$

#	Geogrid Elevation [m]	Geogrid Length [m]	Fs Static	Fs Seismic	Geogrid Type #	Product name
1	0.15	5.30	1.996	1.592	3	TENAXTT090
2	0.75	5.30	2.146	1.725	3	TENAXTT090
3	1.35	5.30	2.321	1.881	3	TENAXTT090
4	1.95	5.30	2.526	2.069	3	TENAXTT090
5	2.55	5.30	2.772	2.298	2	TENAXTT060
6	3.15	5.30	3.070	2.584	2	TENAXTT060
7	3.75	5.30	3.442	2.952	2	TENAXTT060
8	4.35	5.30	3.922	3.448	1	TENAXTT045
9	4.95	5.30	4.585	4.166	1	TENAXTT045
10	5.55	5.30	5.713	5.437	1	TENAXTT045



# ROTTURA DEL RINFORZO



## RESULTS for STRENGTH

#	Geogrid Elevation [m]	Tavailable [kN/m]	Tmax [kN/m]	Tmd [kN/m]	Specified minimum Fs-overall static	Actual calculated Fs-overall static	Specified minimum Fs-overall seismic	Actual calculated Fs-overall seismic	Product name
1	0.15	42.5	19.73	2.54	N/A	2.152	N/A	2.029	TENAXTT090
2	0.75	42.5	24.41	2.37	N/A	1.739	N/A	1.663	TENAXTT090
3	1.35	42.5	22.25	2.20	N/A	1.908	N/A	1.823	TENAXTT090
4	1.95	42.5	20.10	2.03	N/A	2.112	N/A	2.016	TENAXTT090
5	2.55	28.3	17.97	1.86	N/A	1.575	N/A	1.502	TENAXTT060
6	3.15	28.3	15.86	1.69	N/A	1.784	N/A	1.699	TENAXTT060
7	3.75	28.3	13.79	1.52	N/A	2.052	N/A	1.950	TENAXTT060
8	4.35	19.8	11.78	1.36	N/A	1.684	N/A	1.597	TENAXTT045
9	4.95	19.8	9.92	1.19	N/A	2.001	N/A	1.894	TENAXTT045
10	5.55	19.8	9.60	1.02	N/A	2.067	N/A	1.968	TENAXTT045



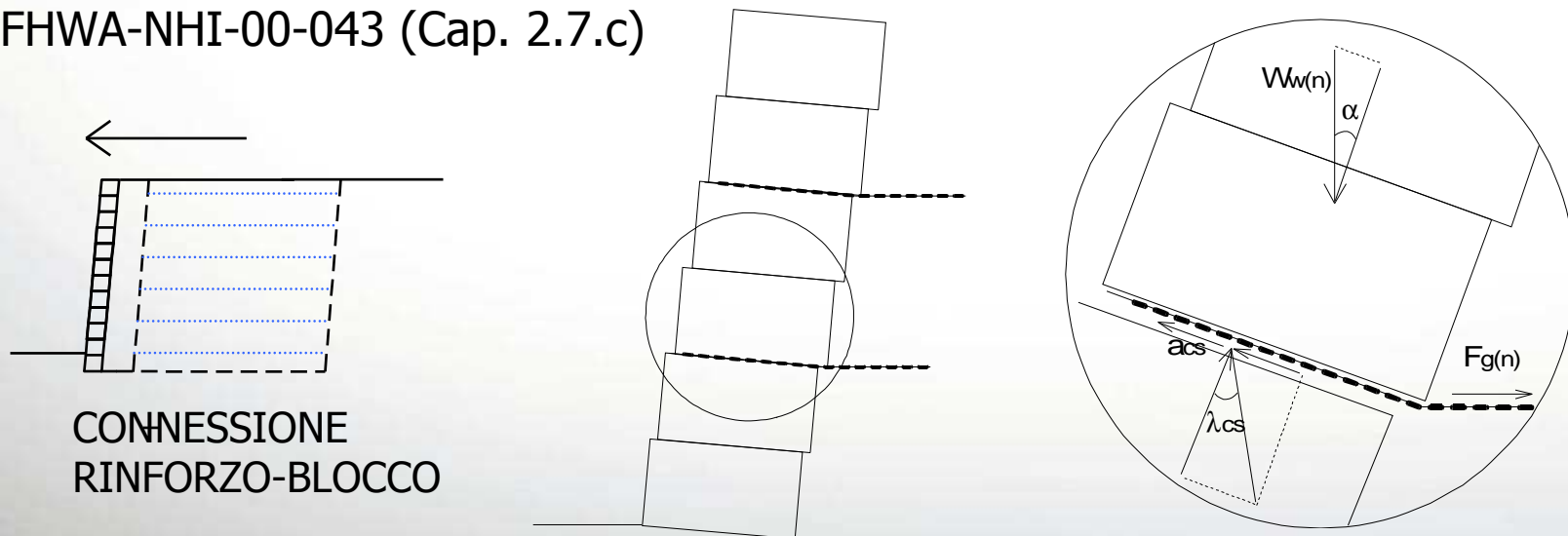
# STABILITA' INTERNA

## CONNESSIONE RINFORZO-BLOCCO - SLU di tipo strutturale (STR)

La verifica del sistema di connessione tra rinforzo e blocco deve essere effettuata secondo l'**Approccio 1**:

- **Combinazione 1:  $(A1+M1+R1) - FS > 1.50$**
- **Combinazione 2:  $(A2+M2+R2) - FS > 1.50$**

\* FHWA-NHI-00-043 (Cap. 2.7.c)





## **SISTEMI DISPONIBILI SUL MERCATO INTERNAZIONALE**

La differenza tra i diversi sistemi disponibili è sostanzialmente nel tipo di connessione tra geogriglia e blocco

**La connessione può essere di tipo frizionale o meccanica**

**CONNESSIONE FRIZIONALE: la geogriglia lavora per attrito e per l'azione di incastro che la ghiaia utilizzata per il riempimento dei blocchi esercita sulla griglia stessa**

**Vantaggi:** - velocità di installazione (solo per blocchi pieni)

**Svantaggi:** - modesta resistenza della connessione  
- AASHTO non ne consente l'utilizzo in aree sismiche con  $k_h > 0.20$  g,  
- possibili problemi di allineamento durante l'installazione dei blocchi dovuto al riempimento con ghiaia nei blocchi forati



## **SISTEMI DISPONIBILI SUL MERCATO INTERNAZIONALE**

**CONNESSIONE MECCANICA: la geogriglia è fissata al blocco tramite una connessione meccanica che interagisce direttamente con la geogriglia di rinforzo**

**Vantaggi:**

- la resistenza della connessione è maggiore rispetto a quella frizionale
- possono essere utilizzati anche in zona sismica con  $k_h > 0.20 g$  (solo con la geogriglia integrale)
- maggiore velocità di posa se si utilizzano blocchi pieni

**Svantaggi:**

- installazione più lenta nel caso in cui la connessione non sia di facile utilizzo (bodkin)



# VERIFICA DELLE CONNESSIONI

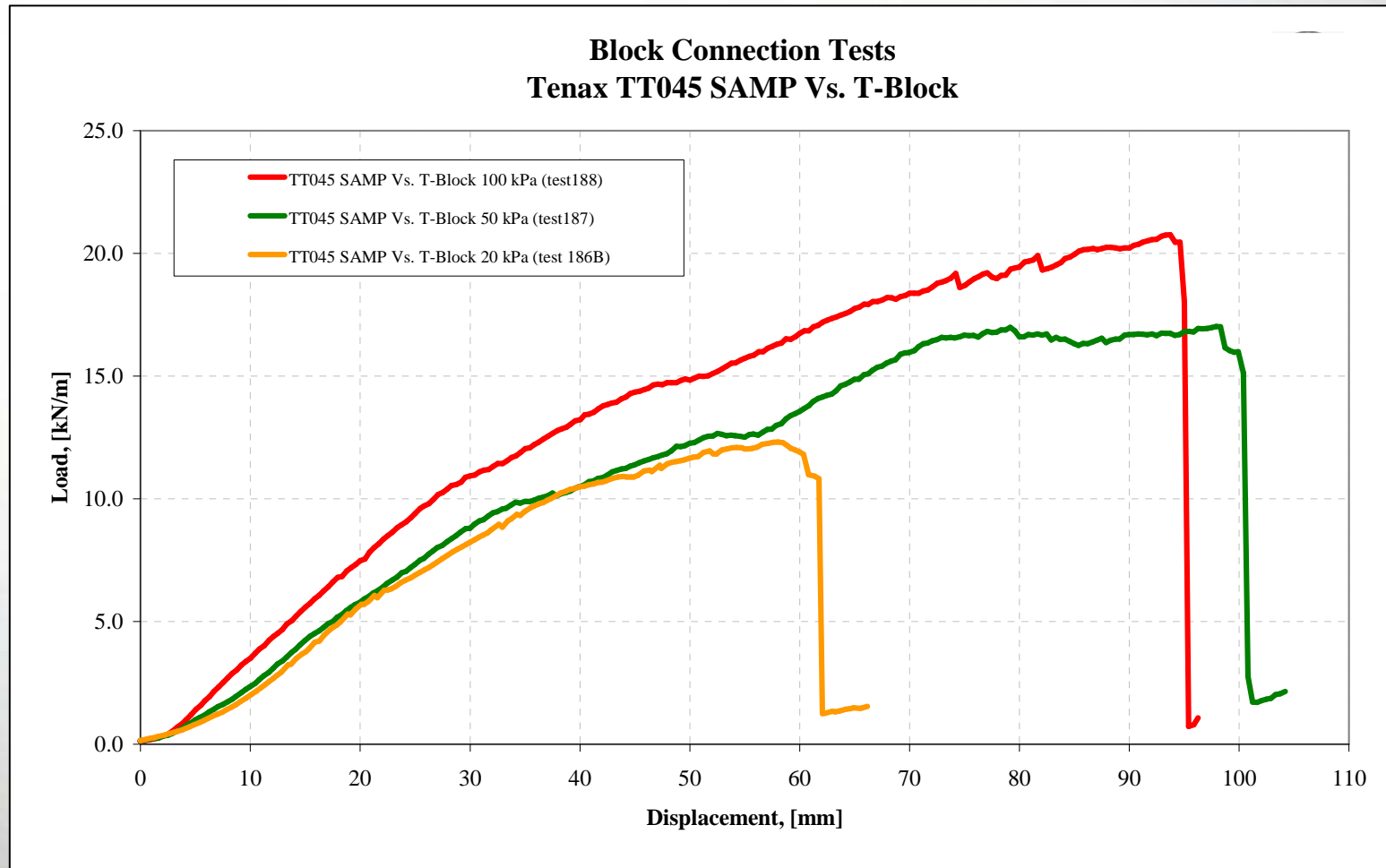


**METODO DI PROVA: ASTM D 6638 - 01**



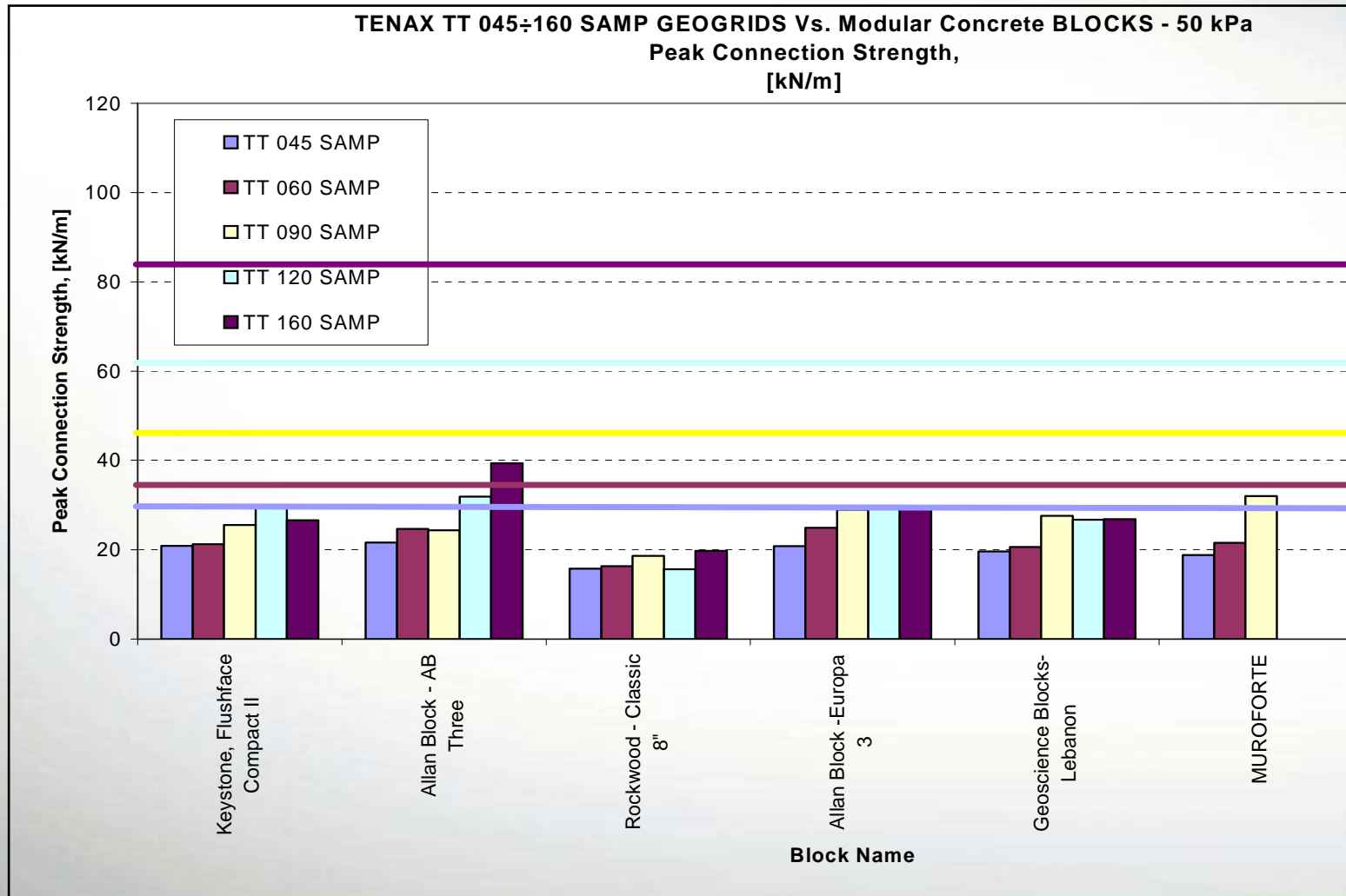


# VERIFICA DELLE CONNESSIONI



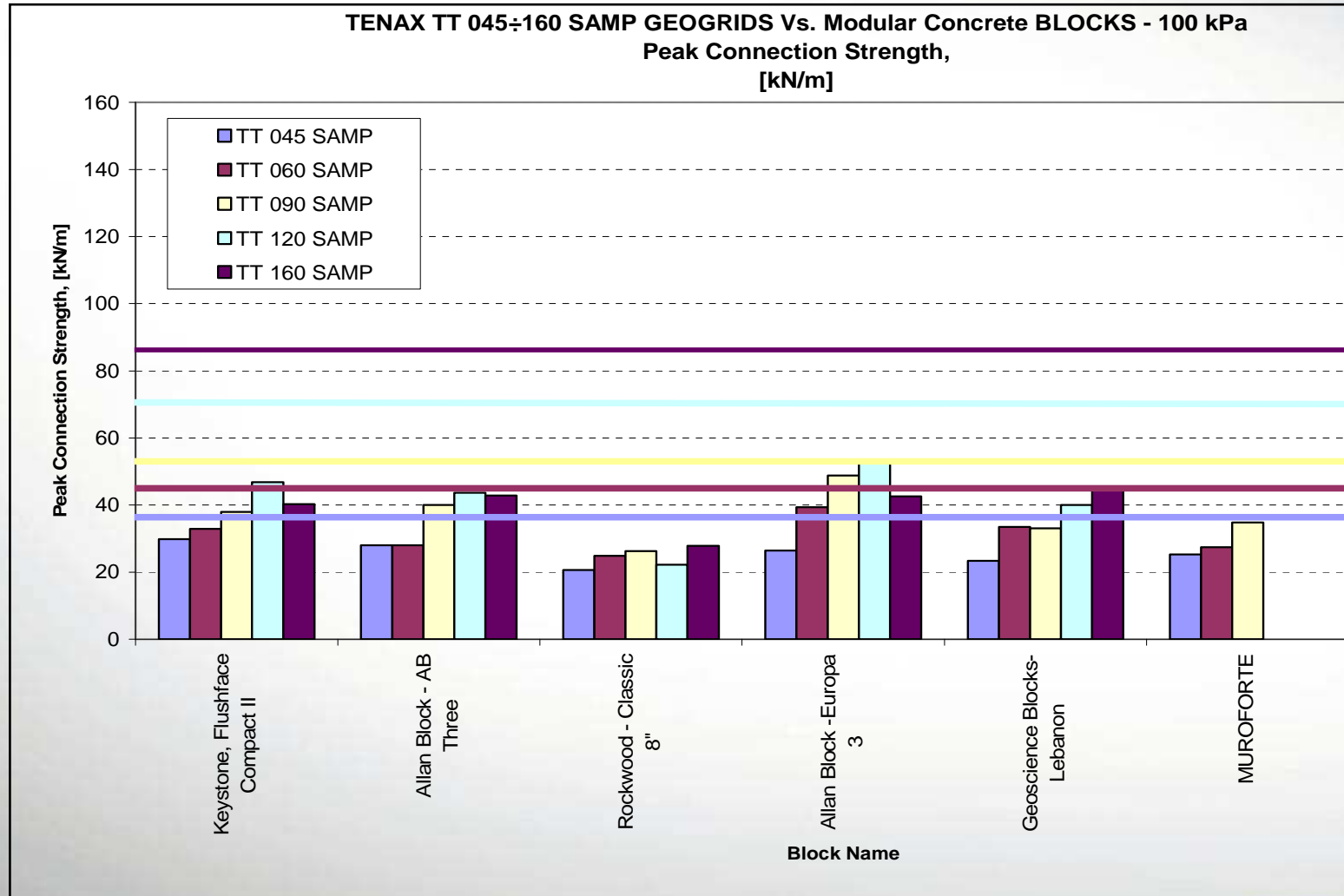


## PROVE DI CONNESSIONE a 50 kPa: altezza muro > 2.50 m



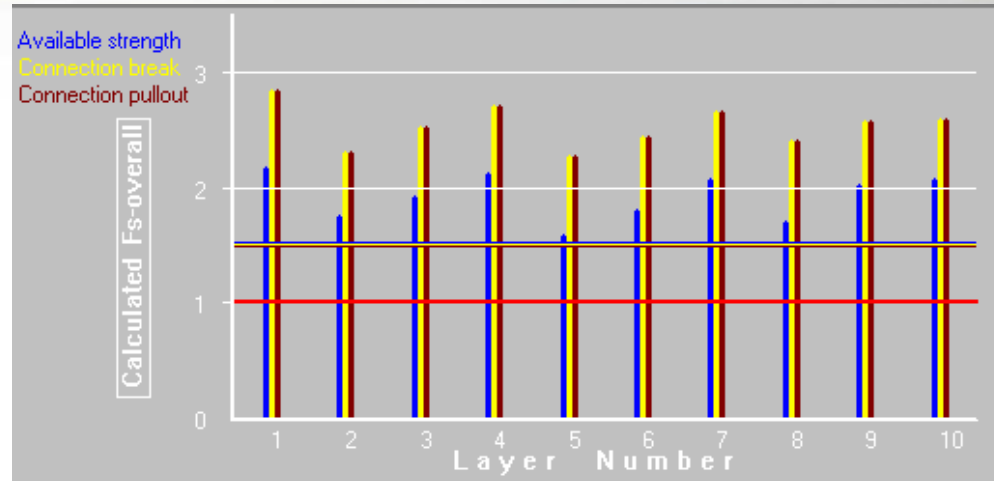


## PROVE DI CONNESSIONE a 100 kPa: altezza muro > 5,00 m





# CONNESSIONE RINFORZO-BLOCCO

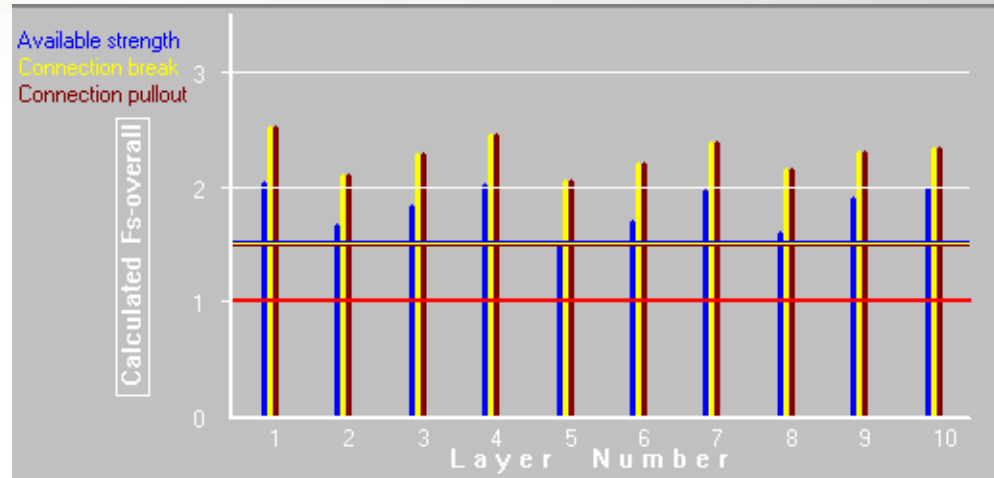


## RESULTS for CONNECTION (static conditions)

#	Geogrid Elevation [m]	Connection force, To [kN/m]	Reduction factor for connection break, CRu	Reduction factor for connection pullout, CRs	Available connection strength, Tc-break [kN/m]	Available connection strength, Tc-pullout [kN/m]	Available Geogrid strength, Tavailable [kN/m]	Fs-overall connection break		Fs-overall connection pullout		Fs-overall Geogrid strength		Product name
								Specified	Actual	Specified	Actual	Specified	Actual	
1	0.15	19.7	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.83	N/A	2.83	N/A	2.15	TENAXTT090
2	0.75	24.4	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.29	N/A	2.29	N/A	1.74	TENAXTT090
3	1.35	22.2	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.51	N/A	2.51	N/A	1.91	TENAXTT090
4	1.95	20.1	0.60	0.60	54.0	54.0	42.5	N/A	2.69	N/A	2.69	N/A	2.11	TENAXTT090
5	2.55	18.0	0.68	0.68	40.6	40.6	28.3	N/A	2.26	N/A	2.26	N/A	1.57	TENAXTT060
6	3.15	15.9	0.64	0.64	38.6	38.6	28.3	N/A	2.43	N/A	2.43	N/A	1.78	TENAXTT060
7	3.75	13.8	0.61	0.61	36.5	36.5	28.3	N/A	2.65	N/A	2.65	N/A	2.05	TENAXTT060
8	4.35	11.8	0.63	0.63	28.2	28.2	19.8	N/A	2.39	N/A	2.39	N/A	1.68	TENAXTT045
9	4.95	9.9	0.56	0.56	25.4	25.4	19.8	N/A	2.56	N/A	2.56	N/A	2.00	TENAXTT045
10	5.55	9.6	0.55	0.55	24.8	24.8	19.8	N/A	2.58	N/A	2.58	N/A	2.07	TENAXTT045



# CONNESSIONE RINFORZO-BLOCCO



## RESULTS for CONNECTION (seismic conditions)

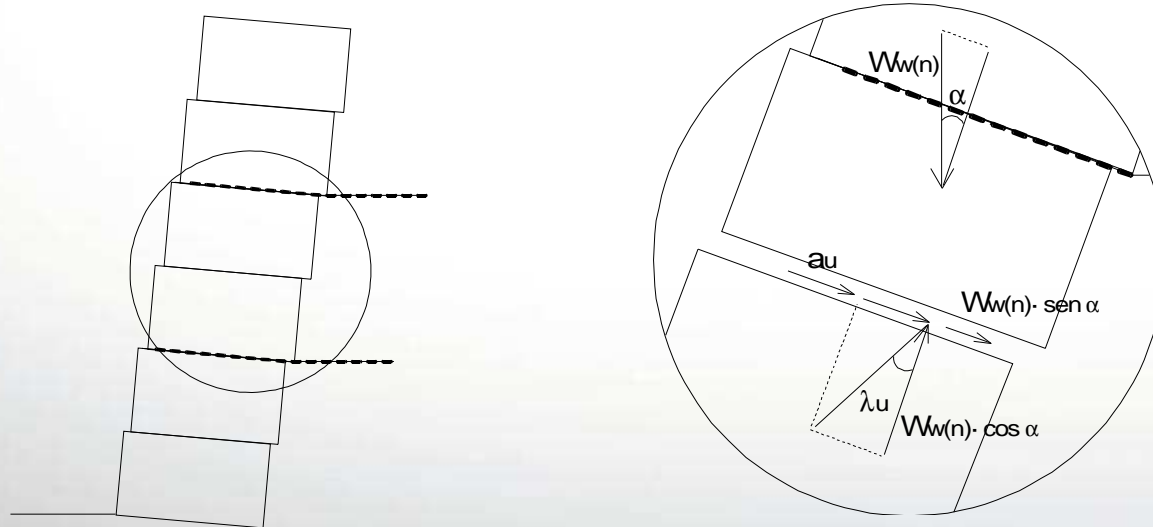
#	Geogrid Elevation force, To [m]	Connection [kN/m]	Reduction factor for connection break, CRu	Reduction factor for connection pullout, CRs	Available connection strength, Tc-break [kN/m]	Available connection strength, Tc-pullout [kN/m]	Available Geogrid strength, Tavailable [kN/m]	Fs-overall connection break		Fs-overall connection pullout		Fs-overall Geogrid strength		Product name
								Specified	Actual	Specified	Actual	Specified	Actual	
1	0.15	22.3	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.51	N/A	2.51	N/A	2.03	TENAXTT090
2	0.75	26.8	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.08	N/A	2.08	N/A	1.66	TENAXTT090
3	1.35	24.4	0.62	0.62	55.8	55.8	42.5	N/A	2.28	N/A	2.28	N/A	1.82	TENAXTT090
4	1.95	22.1	0.60	0.60	54.0	54.0	42.5	N/A	2.44	N/A	2.44	N/A	2.02	TENAXTT090
5	2.55	19.8	0.68	0.68	40.6	40.6	28.3	N/A	2.05	N/A	2.05	N/A	1.50	TENAXTT060
6	3.15	17.6	0.64	0.64	38.6	38.6	28.3	N/A	2.20	N/A	2.20	N/A	1.70	TENAXTT060
7	3.75	15.3	0.61	0.61	36.5	36.5	28.3	N/A	2.38	N/A	2.38	N/A	1.95	TENAXTT060
8	4.35	13.1	0.63	0.63	28.2	28.2	19.8	N/A	2.14	N/A	2.14	N/A	1.60	TENAXTT045
9	4.95	11.1	0.56	0.56	25.4	25.4	19.8	N/A	2.29	N/A	2.29	N/A	1.89	TENAXTT045
10	5.55	10.6	0.55	0.55	24.8	24.8	19.8	N/A	2.33	N/A	2.33	N/A	1.97	TENAXTT045



# STABILITA' INTERNA

## SCORRIMENTO BLOCCO-BLOCCO - SLU di tipo strutturale (STR)

La verifica del vincolo allo scorrimento tra blocchi sovrapposti risulta essere sempre soddisfatta. I valori ottenuti nei test di laboratorio indicano che la resistenza della nervatura garantisce una resistenza maggiore rispetto alla connessione con la griglia.





**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**