

Sommario

1) Premessa	1
2) Normativa ed approccio di calcolo	1
3) Inserimento ambientale	1
4) Modello geotecnico di comodo adottato.....	1
4.1) Parametri geomeccanici adottati per terre rinforzate.....	1
5) Teoria di calcolo e verifiche eseguite	2
6) Scelta del rinforzo.....	2
7) Modelli e relativi risultati di calcolo	3
7.1) Sezione 12.00 m	3
8) Opere collaterali	5
8.1) Drenaggio	5
8.2) Elemento antierosivo sul fronte e sulla scarpata sovrastante	5
8.3) Fondazione	5

1) Premessa

A seguito della richiesta e della documentazione pervenute, Vi trasmettiamo un aggiornamento della ns. proposta tecnica preliminare per la realizzazione della terra rinforzata prevista presso cantiere a Vibo Valentia.

2) Normativa ed approccio di calcolo

Le verifiche eseguite si basano sul D.M. 14 gennaio 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni e successive integrazioni e per la parte inerente i rinforzi il BS8006 (normativa inglese riconosciuta tra le più affidabili a livello mondiale) ed il certificato HAPAS BBA 14/H211. In base alle indicazioni ricevute si è considerata una vita utile superiore a 50 anni. Sulla base delle N.T.C. si è adottato l'Approccio 1 utilizzando i seguenti coefficienti parziali " γ ":

Tipo di Verifica	Stabilità globale Appr. 1 comb. 2 A2+M2+R2	Struttura e Traslazione Appr. 1 comb. 1 A1+M1+R1	Struttura e Traslazione Appr. 1 comb. 2 A2+M2+R2	BS 8006	Coefficienti di riduzione adottati
FS sui valori di resistenza al taglio dei terreni (γ_R)	1.25	1.0	1.25		1.25
FS al pullout della geogriglia ($\gamma_{Ra,p}$)				1.3	1.30
FS ai carichi strutturali (γ_{G1}) in campo statico *	1.0	1.3	1.3		1.30
FS ai carichi strutturali (γ_{G1}) in campo sismico *	1.0	1.0	1.0		1.00
FS ai carichi esterni (γ_{Q1}) in campo statico *	1.3	1.5	1.3		1.50
FS ai carichi esterni (γ_{Q1}) in campo sismico *	1.0	1.0	1.0		1.00
FS allo scivolamento diretto della terra rinforzata (γ_R)		1.0	1.0		1.00
FS stabilità globale (γ_R)	1.1				1.10

* sono state eseguite le verifiche sia per la condizione statica che sismica; poiché la condizione più gravosa è stata rilevata in presenza di sisma, solo quest'ultima viene descritta in dettaglio.

3) Inserimento ambientale

La tecnica delle terre rinforzate, ormai ampiamente diffusa da alcuni decenni, rientra tra le tecniche riconosciute della AIPIN (Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica) come opera di ingegneria naturalistica a tutti gli effetti. Tale riconoscimento è strettamente legato alla possibilità di creare un paramento vegetato che favorisce lo sviluppo della vegetazione.

4) Modello geotecnico di comodo adottato

I calcoli di stabilità interna delle strutture sono stati eseguiti sulla base di parametri geomeccanici desunti dallo studio geologico, corredato dalle relative indagini, redatto dal dott. geol. Scalamandrè ed allegato al progetto.

I parametri vengono adeguatamente ridotti secondo le indicazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Tutti i parametri considerati andranno comunque valutati e verificati in fase esecutiva al fine di definire la loro idoneità per il caso specifico. L'ipotesi proposta andrà verificata e valutata da Tecnico abilitato responsabile della Progettazione e/o dell'Esecuzione.

4.1) Parametri geomeccanici adottati per terre rinforzate

Parametri di progetto del terreno di riempimento delle opere in terra rinforzata

Peso di volume γ_k 19 kN/m³

Angolo di attrito interno ϕ'_k 35°

Coesione c'_k 0 kPa

Parametri di progetto del terreno a tergo delle opere in terra rinforzata

Peso di volume γ_k 17,3 kN/m³

Angolo di attrito interno ϕ'_k 28°

Coesione c'_k 0 kPa

Parametri di progetto del terreno di fondazione delle opere in terra rinforzata

Peso di volume γ_k 19,9 kN/m³

Angolo di attrito interno φ'_k 32°
Coesione c'_k 57,9 kPa

Sismicità (dati forniti)

Stato Limite Considerato: SLV

$K_h = 0,102$

$K_v = \pm 0,051$

Falda assente

5) Teoria di calcolo e verifiche eseguite

In base al paragrafo 6.5.3.1.1 pag. 209 delle NTC 2008, “*Nel caso di strutture miste o composite, le verifiche di stabilità globale devono essere accompagnate da verifiche di stabilità locale e di funzionalità e durabilità degli elementi*”. Sulla base di tali indicazioni le verifiche di stabilità sono state eseguite mediante il programma di calcolo ReSSA 3.0. Il software è stato realizzato dal Prof. Leshchinsky dell'Università del Delaware (USA). Per le sezioni rappresentative in terra rinforzata sono state eseguite secondo i metodi dell'equilibrio limite le seguenti verifiche di stabilità (rif. BS 8006 e NTC 2008):

- 1) verifica alla stabilità interna e globale mediante superfici di rottura pseudocircolari con il metodo di Bishop (Rotational Stability Analysis);
- 2) verifica della stabilità alla traslazione (Translational Stability);
- 3) verifica al pull-out (FS preimpostato pari a 1.5).

Tutte le verifiche sono state eseguite in campo statico e in campo sismico, analizzando le condizioni SLU (stato limite ultimo).

6) Scelta del rinforzo

In considerazione dell'importanza dell'opera e delle nuove normative vigenti, il rinforzo della terra rinforzata è stato dimensionato per una vita utile superiore a 50 anni. Inoltre occorre prevedere una deformazione ridotta della struttura sia in fase costruttiva al fine di mantenere una buona compatibilità terreno-rinforzo e sia in fase post-costruttiva al fine di rientrare entro il limite di servizio. Per tali ragioni si impongono le seguenti condizioni:

Durata dell'opera > 50 anni

Deformazione complessiva $\leq 6\%$

Deformazione post-costruttiva < 1 %

Sulla base di tali premesse, per la realizzazione delle opere si prevede l'utilizzo della geogriglia monoassiale a bassa deformazione Enkagrid PRO, costituita da nastri estrusi di poliestere altamente orientati, saldati nei nodi con tecnologia laser e trattati in modo specifico per proteggerli dalla degradazione agli U.V.

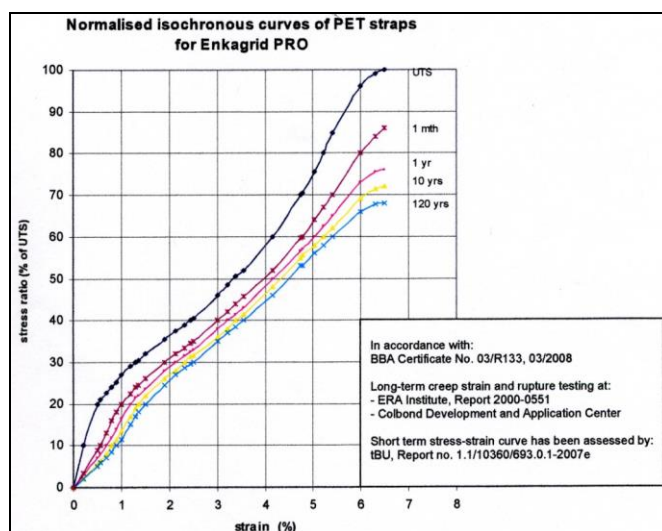


Grafico 1: curve isocrone Enkagrid PRO

Le verifiche di stabilità sono state eseguite mediante il programma specifico di calcolo ReSSA 3.0 realizzato dal Prof. Leshchinsky. In particolare per quanto concerne i fattori di riduzione specifici della geogriglia questi sono stati ricavati dal certificato HAPAS BBA 14/H211.

I dimensionamenti risultano condizionati dall'adozione dei fattori di sicurezza riportati nella tabella Tab 1.

Modello ENKAGRID	PRO 90	
polimero:	PET	
resistenza ultima a trazione UTS:	95	kN/m
resistenza a trazione al 2 % di deformazione:	42	kN/m
resistenza a trazione al 5 % di deformazione:	81	kN/m
deformazione apparente per tipologia del rinforzo	0	%
deformazione finale del rinforzo sotto un carico pari al 60% di UTS per 120 anni	≤ 6	%
interazione terreno-geogriglia per le verifiche alla traslazione	≥ 0.87	
interazione terreno-geogriglia per le verifiche allo sfilamento	≥ 0.80	
coefficiente di riduzione per danneggiamento meccanico	1.05	
coefficiente di riduzione per durata dell'opera a 60 anni	1.10	
coefficiente di riduzione per resistenza chimica ($4.1 < \text{pH} < 9$)	1.00	
coefficiente di riduzione per creep a 60 anni	1.45	
resistenza effettiva di progetto:	$\geq 56,72$	kN/m
Modello ENKAGRID	PRO 60	
polimero:	PET	
resistenza ultima a trazione UTS:	64	kN/m
resistenza a trazione al 2 % di deformazione:	26	kN/m
resistenza a trazione al 5 % di deformazione:	51	kN/m
deformazione apparente per tipologia del rinforzo	0	%
deformazione finale del rinforzo sotto un carico pari al 60% di UTS per 120 anni	≤ 6	%
interazione terreno-geogriglia per le verifiche alla traslazione	≥ 0.87	
interazione terreno-geogriglia per le verifiche allo sfilamento	≥ 0.80	
coefficiente di riduzione per danneggiamento meccanico	1.05	
coefficiente di riduzione per durata dell'opera a 60 anni	1.10	
coefficiente di riduzione per resistenza chimica ($4.1 < \text{pH} < 9$)	1.00	
coefficiente di riduzione per creep a 60 anni	1.45	
resistenza effettiva di progetto:	$\geq 38,21$	kN/m

Tab. 1

7) Modelli e relativi risultati di calcolo

Con riferimento alla richiesta pervenuta, le verifiche sono state eseguite per la sezione così definita:

- terra rinforzata di altezza complessiva $H=12,00$ m.

Per la definizione delle sezioni di seguito descritte ci si è basati sui vincoli geometrici e di carico riportati nello schema di figura 1.

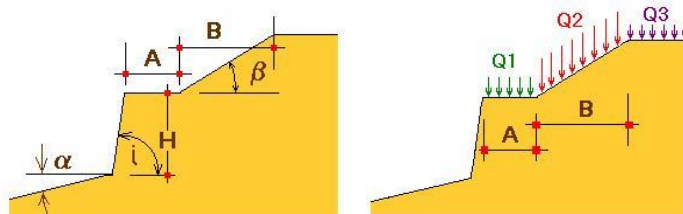


Figura 1: elementi per la definizione dei modelli geometrici e dei relativi carichi

7.1) Sezione 12.00 m

Altezza berma di base H	4,20 m
Inclinazione i del fronte	70°
Inclinazione α del terreno a valle	0°
Inclinazione media β del tratto B	28°
inclinazione delle due berme superiori	$38,3^\circ$

SOVRACCARICHI

Sovraccarico Q_1 sul tratto A	0 kPa	A	5,39 m
Sovraccarico Q_2 sul tratto B	0 kPa	B	16,48 m
Sovraccarico Q_3 a tergo del tratto B	20 kPa	per un tratto di 12,50 m come da schema all.	

DISPOSIZIONE E CARATTERISTICHE DEI RINFORZI

Spaziatura degli strati D 0.60 cm

Numero di strati complessivi 24

Berma di base (compresi due strati di rinforzo in fondazione):

Numero di strati: 9

Tipo di rinforzo (n_1 - n_9) geogriglia ENKAGRID PRO 90

Lunghezza d'ancoraggio minima variabile da 13 m a 14,50 m (ved. sezione allegata)

Scarpata sovrastante-prima berma:

Numero di strati: 7

Tipo di rinforzo (n_{10} - n_{16}) geogriglia ENKAGRID PRO 60

Lunghezza d'ancoraggio minima 9,80 m

Scarpata sovrastante-seconda berma:

Numero di strati: 3

Tipo di rinforzo (n_{17} - n_{19}) geogriglia ENKAGRID PRO 60

Lunghezza d'ancoraggio minima 4,30 m

Scarpata sovrastante-seconda berma-base strada:

Numero di strati: 5

Tipo di rinforzo (n_{20} - n_{24}) geogriglia ENKAGRID PRO 90

Lunghezza d'ancoraggio minima 19,00 m

- 1) verifica alla stabilità globale mediante superfici di rottura pseudocircolari con il metodo di Bishop (Rotational Stability Analysis); $FS_{\text{minimo}} = 1,14$

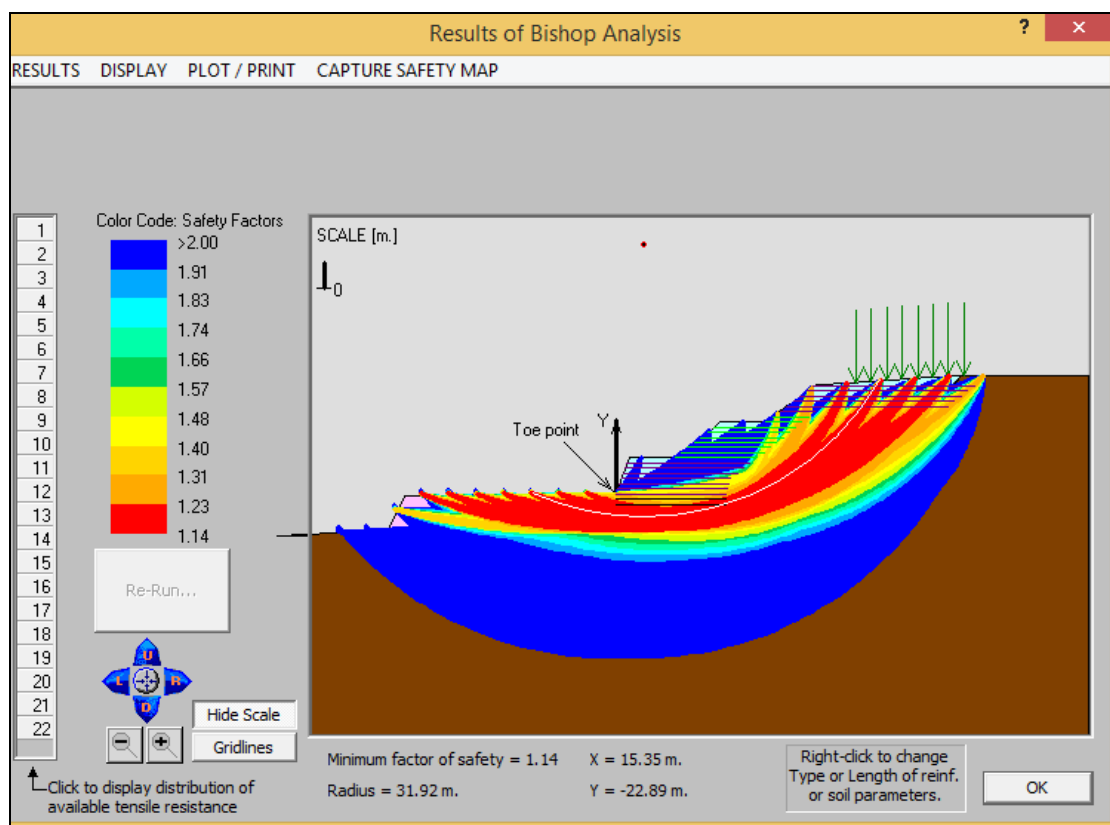


Figura 2: schema risultati verifiche

- 2) verifica della stabilità alla traslazione (Translational Stability); $FS_{\text{minimo}} = 1,28$

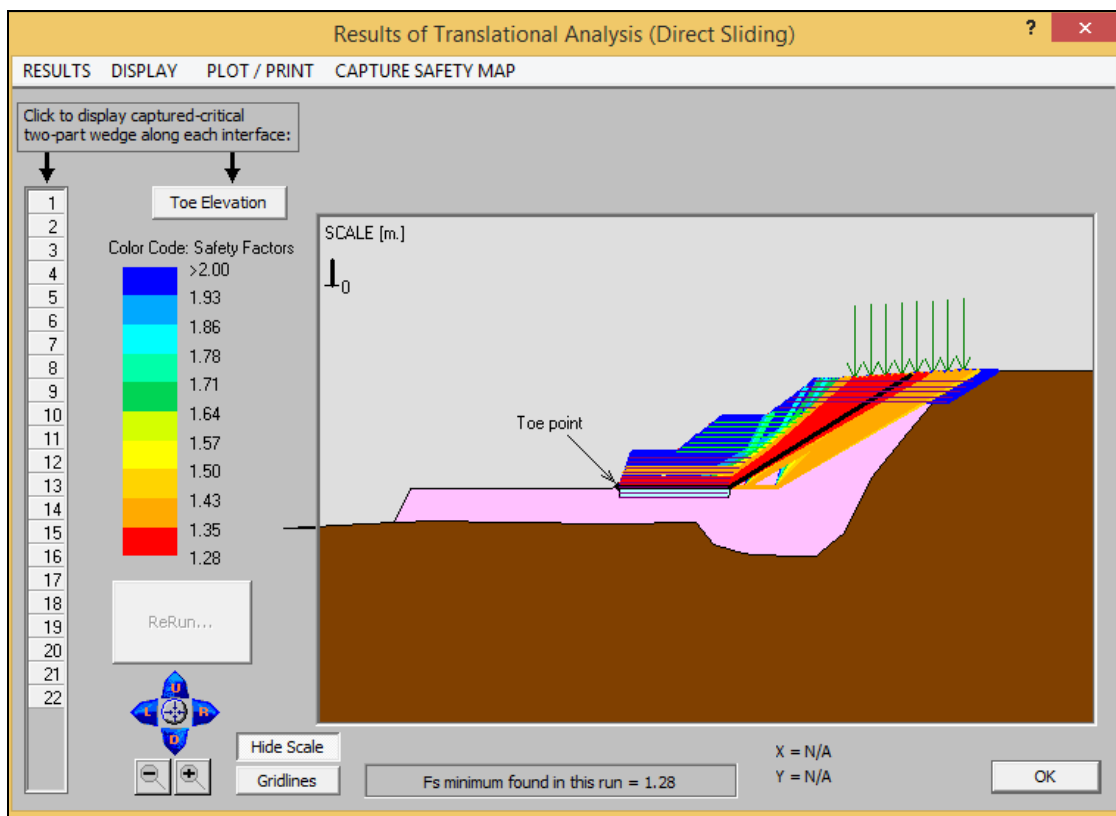


Figura 3: schema risultati verifiche

8) Opere collaterali

8.1) Drenaggio

Per impedire che le pressioni neutre modifichino negativamente le condizioni idrauliche del terreno, sarà opportuno valutare a tergo delle opere in terra rinforzata la realizzazione di un sistema drenante costituito dal geocomposito tipo **ENKADRAIN 5006H** e da un tubo collettore microfessurato tipo **GREENDRAIN GR 110** (diametro da 110 mm); il diametro del tubo potrà eventualmente variare in funzione delle quantità d'acqua da convogliare.

8.2) Elemento antierosivo sul fronte e sulla scarpata sovrastante

Per favorire un buon rinverdimento delle scarpate e contrastare i fenomeni erosivi, sul fronte sarà opportuna la posa di una geostuoia tridimensionale antierosione da 10 mm di spessore. In considerazione della durata dell'opera e delle condizioni meteo-climatiche, la geostuoia dovrà essere costituita da poliammide, polimero contraddistinto da un buon comportamento a medio lungo termine al variare della temperatura e da proprietà autoestinguente a contatto con la fiamma. Si propone in particolare l'utilizzo della geostuoia **Enkamat 7010**. In base poi alla natura organolettica dei terreni utilizzati si dovrà valutare sul fronte della terra rinforzata un eventuale strato di 10 cm di terreno vegetale. Al termine della costruzione ed in stagione favorevole si procederà all'esecuzione di un'idrosemina a spessore del fronte.

Al fine di evitare fenomeni erosivi, si propone la posa della geostuoia antierosione **Enkamat 7010** sulla scarpata inclinata ca. 20 ° sull'orizzontale, compresa tra la berma di base e la strada prevista in sommità.

8.3) Fondazione

Al fine di realizzare uno strato di fondazione in ghiaia o altro materiale drenante, si prevede la posa del non tessuto filtrante e di separazione **Typar SF**, insieme alla geogriglia di rinforzo **Enkagrid PRO**, nel modello utilizzato per il primo strato della terra rinforzata. In tal modo si eviterà la commistione del materiale grossolano con il terreno di sottofondazione, ottenendo al contempo una funzione di filtrazione e rinforzo in corrispondenza del piano di posa.

Sarà opportuno risvoltare il non tessuto e la geogriglia in verticale, al fine di contrastare il meccanismo di sfilamento del rinforzo stesso e garantire il contenimento laterale del materiale grossolano costituente il piano di posa della terra rinforzata.