



COMUNE DI MONZA

Settore attuazione piano dei servizi;
programma opere pubbliche e strade
Servizio progetti speciali

Realizzazione passerella
ciclopedonale

Viale Stucchi - Via Salvadori

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione geotecnica

Il Resp. del Procedimento:

Arch. Daniele Lattuada

Progettista:

ing. Carlo Rigoli
viale Elvezia 18 - 20154 milano

fax.02706630325
E-mail carlo.rigoli@fiscalinet.it

Collaboratore:

ing. Matteo Pozzi
viaTreviglio 13 - Busto Arsizio (Va)
tel.3386939248
E-mail matteopozzi@gmail.com

data:
GIUGNO 2015

COMUNE DI MONZA - PROGETTO ESECUTIVO -
Realizzazione passerella ciclopedonale
Viale Stucchi - Via Salvadori

1 PREMESSA

La presente relazione contiene la descrizione delle metodiche utilizzate e le verifiche svolte per la definizione del dimensionamento delle terre rinforzate per la realizzazione delle rampe di raccordo tra il piano campagna attuale e la passerella in progetto.

2 TERRA RINFORZATA - 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). 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_{Qi}) in campo statico *	1.3	1.5	1.3		1.50
FS ai carichi esterni (γ_{Qi}) 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.					

Tabella 1

3 MODELLO GEOTECNICO ADOTTATO

I calcoli di stabilità interna delle strutture sono stati eseguiti sulla base dei parametri geomeccanici delle terre riportati di seguito. 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.

3.1 Parametri geomeccanici adottati per terre rinforzate

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

- Peso di volume γ_k 18 kN/m³
- Angolo di attrito interno φ'_k 30°
- Coesione c'_k 0 kPa

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

- Peso di volume γ_k 18 kN/m³
- Angolo di attrito interno φ'_k 30°
- Coesione c'_k 0 kPa

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

- Peso di volume γ_k 18 kN/m³
- Angolo di attrito interno φ'_k 32°
- Coesione c'_k 0 kPa

3.2 Parametri adottati per le azioni sismiche

Nelle verifiche con azione del sisma si sono considerati i seguenti parametri specifici:

- Stato Limite Considerato: SLV
- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1
- Vita nominale: 50 anni
- Coefficiente C_u : 1,0
- $K_h = 0,016$
- $K_v = \pm 0,008$
- Falda assente

4 CARATTERISTICHE 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 di una geogriglia monoassiale a bassa deformazione, 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.

Le caratteristiche che la geogriglia dovrà rispettare, nonché i parametri specifici assunti nel calcolo sono riportati nella tabella seguente:

resistenza ultima a trazione UTS	40	kN/m
resistenza a trazione al 2 % di deformazione	17	kN/m
resistenza a trazione al 5 % di deformazione	33	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 (a lungo termine)	$\geq 23,90$	kN/m

Tabella 2

5 METODOLOGIA DI CALCOLO

Per ciascuna delle singole opere in terra rinforzata sono state eseguite le seguenti verifiche di stabilità:

- Verifica di stabilità interna (Tieback)

Questo genere di verifica è utile per stabilire se la resistenza a trazione di ogni rinforzo è sufficiente ad assicurare la terra rinforzata da possibili collassi interni dovuti al peso proprio e ai sovraccarichi. Essa pertanto assicura contro eventuali scorrimenti lungo superfici che emergono sulla faccia della terra rinforzata. La capacità di resistenza a trazione del rinforzo è valutata in modo da stabilire se l'ancoraggio dello stesso nel terreno è tale da evitare il collasso per scorrimento lungo la potenziale superficie di rottura. L'analisi Tieback è effettuata con i metodi classici della stabilità dei versanti come calcolo vincolato per un punto corrispondente alla posizione di ogni rinforzo sulla faccia dell'opera. Questa analisi permette di ottenere una ripartizione omogenea delle tensioni nei rinforzi.

- Verifica di stabilità composta (Compound)

Con l'analisi Tieback ci si assicura contro eventuali rotture interne; d'altra parte la capacità dei rinforzi di sviluppare la loro resistenza dipende dalla loro resistenza allo sfilamento e, quindi, dal loro ancoraggio in una zona stabile. Tuttavia per le superfici di scorrimento più profonde e/o passanti per il piede della scarpata, tali resistenze possono essere ridotte e quindi provocare un'instabilità. Quindi si rende necessaria un'analisi di stabilità che permetta di stabilire se la lunghezza dei primi k rinforzi è tale da non causare scorrimento lungo le superfici di scorrimento di cui sopra. Si tratta sicuramente di una verifica conservativa che però garantisce la stabilità traslazionale e rotazionale dell'intero complesso.

- Verifica a rottura del rinforzo

La verifica a trazione consiste nell'assicurare che la tensione nel rinforzo non superi quella ammissibile. La verifica è soddisfatta se $P/S \geq FS$ ($=1$), dove S è lo sforzo agente e P è la resistenza di progetto.

- Verifica a sfilamento del rinforzo

La verifica a sfilamento consiste nell'assicurare una lunghezza del rinforzo tale da scongiurare lo sfilamento del rinforzo dalla terra armata. La resistenza allo sfilamento lungo un elemento di rinforzo è data dalla seguente espressione:

$$\tau_{sfil} = \sigma'_v \cdot f_{po} \cdot tg(\varphi')$$

dove f_{po} è il coefficiente di resistenza allo sfilamento.

In termini di forza si ha:

$$T_{sfil} = L_{sfil} \cdot B \cdot 2 \cdot \tau_{sfil}$$

Dove B è larghezza del rinforzo e L è la lunghezza del rinforzo.

La lunghezza del rinforzo L_{sfil} deve essere tale che $T_{sfil} \geq S$, con S spinta agente alla quota del rinforzo considerato. La verifica è soddisfatta se $T_{sfil}/S \geq FS$ ($=1,30$)

- Verifica allo scorrimento

E' condotta come verifica esterna determinano lo stato di equilibrio limite delle terre armate (viste come corpo rigido e senza presenza di rinforzi). Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che

tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. In particolare, è necessario verificare che sia:

$$F_r/F_s \geq FS (=1,3)$$

dove F_r sono le forze reagenti ed F_s sono le spinte orizzontali.

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \cdot \tan \delta + c_a \cdot B_r$$

- Verifica alla stabilità globale

Viene effettuata secondo la teoria di Bishop, individuando la superficie di rottura cilindrica più critica. Per tale condizione il fattore di sicurezza FS non deve essere inferiore a 1,3. In tale verifica il cerchio di rottura critico è considerato passante all'esterno del sistema di rinforzo.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite mediante programma di calcolo, i cui risultati vengono riportati nel seguito.

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

6 MODELLI E RELATIVI RISULTATI DI CALCOLO

Le verifiche sono state eseguite per le sezioni così definite:

- terra rinforzata di altezza $H=6,00$ m;
- terra rinforzata di altezza $H=4,80$ 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.

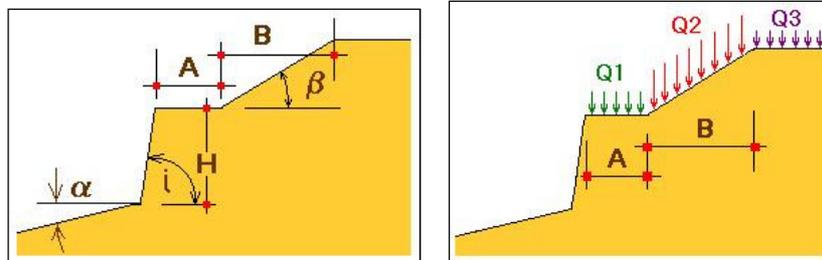


Figura 1: elementi per la definizione dei modelli geometrici e dei relativi carichi

6.1 Sezione $H=6,00$ m

Altezza H 6,00 m

Inclinazione media i del fronte 60°

Inclinazione α del terreno a valle 0°

Inclinazione β del tratto B 0°

SOVRACCARICHI

Sovraccarico Q_1 sul tratto A 0 kPa A 0 m

Sovraccarico Q_2 sul tratto B 5 kPa B 3,50 m

Sovraccarico Q_3 a tergo del tratto B 0 kPa lunghezza infinita

DISPOSIZIONE E CARATTERISTICHE DEI RINFORZI

Spaziatura degli strati D 0.60 cm

Numero di strati 10

Tipo di rinforzo (n_1 - n_{10}) geogriglia

Lunghezza d'ancoraggio variabile e pari alla larghezza del rilevato

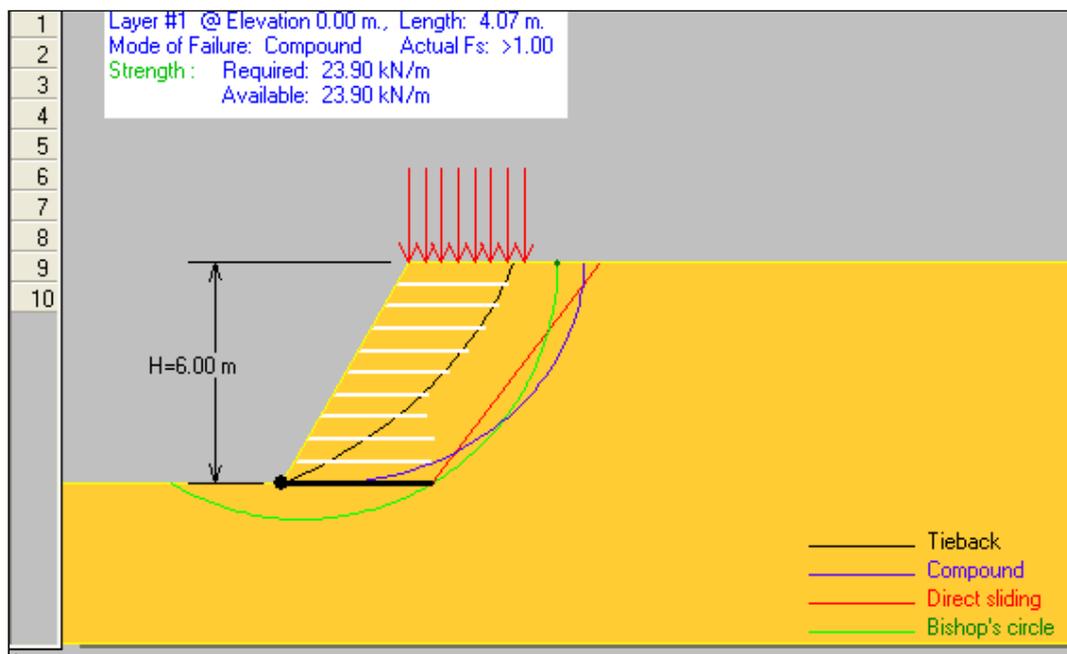


Figura 2: superfici critiche analizzate

Risultati delle verifiche di Tieback e Compuond

N. strato	Quota (m)	Lunghezza (m)	Verifica critica	Resistenza geogriglia critica – Tr (kN/m)	Resistenza di progetto – Tltds (kN/m)	Fattore di sicurezza - Fs
1	0.00	4.07	Compound	23.90	23.90	1.00
2	0.60	3.67	Compound	23.90	23.90	1.00
3	1.20	3.44	Compound	23.90	23.90	1.00
4	1.80	2.89	Compound	23.90	23.90	1.00
5	2.40	2.59	Tieback	8.26	23.90	2.89
6	3.00	2.83	Tieback	6.79	23.90	3.52
7	3.60	2.99	Tieback	5.39	23.90	4.43
8	4.20	3.08	Tieback	3.99	23.90	5.98
9	4.80	3.10	Tieback	2.59	23.90	9.22
10	5.40	3.04	Tieback	1.19	23.90	20.13

Tabella 3

Risultati delle analisi di Tieback e Compuond per la verifica allo sfilamento e scorrimento

N. strato	Quota (m)	Lunghezza totale - L=Le+La (m)	Lunghezza minima per sfilamento - Le (m)	Lunghezza minima per scorrimento superficie - La (m)	Resistenza per stabilità di Compound (kN/m)	Resistenza per stabilità di Tieback (kN/m)	Modo di rottura
1	0.00	2.36	0.64	1.72	23.90	13.90	Compound
2	0.60	3.47	0.41	3.06	23.90	12.49	Compound
3	1.20	3.44	0.46	2.98	23.90	11.07	Compound
4	1.80	2.89	0.53	2.36	23.90	9.66	Compound
5	2.40	2.59	0.21	2.38	23.90	8.26	Tieback
6	3.00	2.83	0.20	2.62	23.90	6.79	Tieback
7	3.60	2.99	0.20	2.79	23.90	5.39	Tieback
8	4.20	3.08	0.19	2.89	23.90	3.99	Tieback
9	4.80	3.10	0.17	2.92	23.90	2.59	Tieback
10	5.40	3.04	0.13	2.91	23.90	1.19	Tieback

Tabella 4

Risultati della verifica allo scorrimento ed alla stabilità globale

Applicando la metodica illustrata sopra, la lunghezza minima della base del rilevato al fine di ottenere $FS=1$ è pari a 4,07 m, che viene assunto come parametro di progetto.

Il cerchio critico nell'analisi condotta secondo il metodo di Bishop ha le seguenti caratteristiche geometriche, in un sistema di riferimento con origine nel piede del rilevato:

- $X_c = 0.54$ m
- $Y_c = 6.00$ m
- Raggio = 6.97 m

Come detto il cerchio critico è passante all'esterno della zona rinforzata, definita dallo strato più basso di geogriglia e la massima profondità al di sotto del p.c. è limitata a 12 m

6.2 Sezione 4,80 m

Altezza H 4,80 m

Inclinazione media i del fronte 60°

Inclinazione α del terreno a valle 0°

Inclinazione β del tratto B 0°

SOVRACCARICHI

Sovraccarico Q_1 sul tratto A 0 kPa A 0 m

Sovraccarico Q_2 sul tratto B 5 kPa B 3,50 m

Sovraccarico Q_3 a tergo del tratto B 0 kPa lunghezza infinita

DISPOSIZIONE E CARATTERISTICHE DEI RINFORZI

Spaziatura degli strati D 0.60 cm

Numero di strati 8

Tipo di rinforzo (n_1 - n_8) geogriglia

Lunghezza d'ancoraggio min. 3,50 m

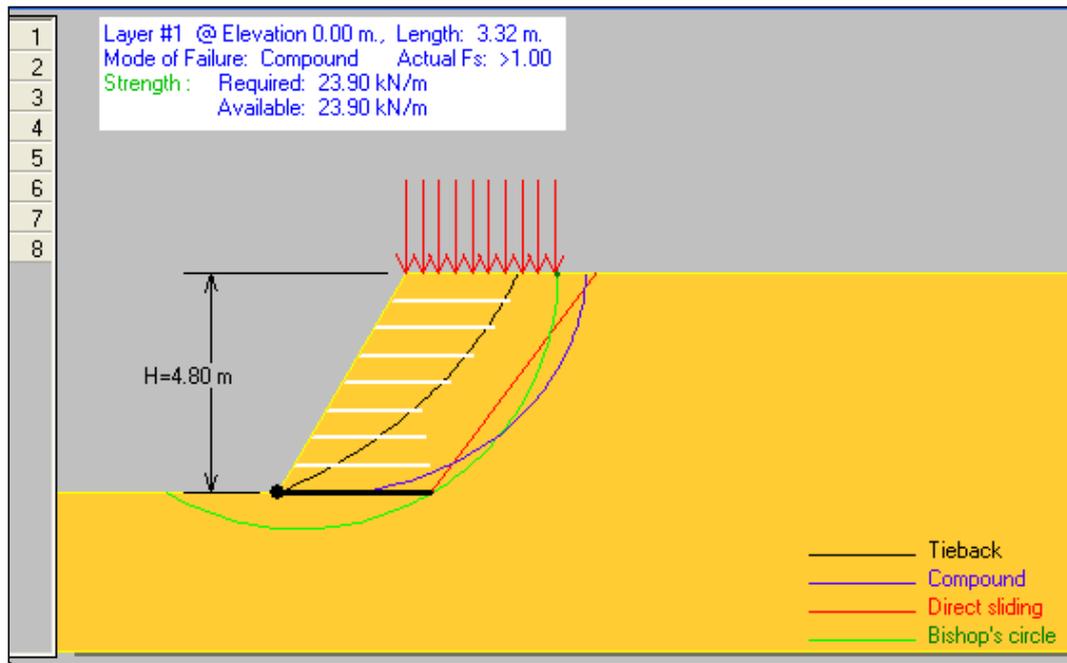


Figura 3: superfici critiche analizzate

Risultati delle verifiche di Tieback e Compound

N. strato	Quota (m)	Lunghezza (m)	Verifica critica	Resistenza geogriglia critica – Tr (kN/m)	Resistenza di progetto – Tltds (kN/m)	Fattore di sicurezza - Fs
1	0.00	3.32	Compound	23.90	23.90	1.00
2	0.60	2.90	Compound	23.90	23.90	1.00
3	1.20	2.49	Compound	23.90	23.90	1.00
4	1.80	2.07	Tieback	6.82	23.90	3.50
5	2.40	2.31	Tieback	5.41	23.90	4.42
6	3.00	2.48	Tieback	3.98	23.90	6.00
7	3.60	2.57	Tieback	2.60	23.90	9.19
8	4.20	2.57	Tieback	1.18	23.90	20.28

Tabella 5

Risultati delle analisi di Tieback e Compound per la verifica allo sfilamento e scorrimento

N. strato	Quota (m)	Lunghezza totale - L=Le+La (m)	Lunghezza minima per sfilamento - Le (m)	Lunghezza minima per scorrimento superficie - La (m)	Resistenza per stabilità di Compound (kN/m)	Resistenza per stabilità di Tieback (kN/m)	Modo di rottura
1	0.00	2.19	0.70	1.49	23.90	11.03	Compound
2	0.60	2.82	0.53	2.29	23.90	9.63	Compound
3	1.20	2.45	0.63	1.82	23.90	8.22	Compound
4	1.80	2.04	0.21	1.83	23.90	6.82	Tieback
5	2.40	2.31	0.20	2.11	23.90	5.41	Tieback
6	3.00	2.48	0.19	2.30	23.90	3.98	Tieback
7	3.60	2.57	0.17	2.40	23.90	2.60	Tieback
8	4.20	2.57	0.13	2.44	23.90	1.18	Tieback

Tabella 6

Risultati della verifica allo scorrimento ed alla stabilità globale

Applicando la metodica illustrata sopra, la lunghezza minima della base del rilevato al fine di ottenere $FS=1$ è pari a 3,32 m, che viene assunto come parametro di progetto.

Il cerchio critico nell'analisi condotta secondo il metodo di Bishop ha le seguenti caratteristiche geometriche, in un sistema di riferimento con origine nel piede del rilevato:

- $X_c = 0.46$ m
- $Y_c = 4.80$ m
- Raggio = 5.59 m

Come detto il cerchio critico è passante all'esterno della zona rinforzata, definita dallo strato più basso di geogriglia e la massima profondità al di sotto del p.c. è limitata a 12 m

7 CONCLUSIONI

Le verifiche condotte e riportate nei paragrafi precedenti, mostrano come il dimensionamento di progetto delle terre rinforzate per la realizzazione delle rampe di accesso alla passerella sia adeguato, secondo la normativa.

Le verifiche sono state condotte sia in condizione statiche che dinamiche (sisma) e si sono illustrate quelle maggiormente gravose e cautelative (dinamiche).

Si raccomanda un ulteriore approfondimento, specialmente in relazione alle caratteristiche dei materiali che verranno utilizzati, in fase di progettazione esecutiva.