COMUNE di MILLESIMO

PROVINCIA DI SAVONA



INTERVENTO DI SISTEMAZIONE FINALE E RECUPERO AMBIENTALE DELLA CAVA "BINE""

COMMITTENTE

BAGNASCO EDOARDO S.r.l.
Via Cosseria 15
17056 - CENGIO (SV)

PROGETTISTI INCARICATI:

Geom. Tomaso Cerruti - Cerruti 1981 S.r.l.
Via Castellani 20 - 17043 Carcare (SV)

Dott. Geol. Marcello Brancucci
Via XX Settembre 5 - 17100 Savona

Ing. Roberto Desalvo - StAigeS Ingegneria S.r.l.
Corso Italia 22/6 - 17100 Savona

Dott. Fabio Palazzo
Dottore Agronomo, Guida Alpina-maestro di alpinismo
Landscape & Mountain design & planning
Via XX Settembre 28 10A - 16121 Genova

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	OTTOBRE 2019	PRIMA EMISSIONE

RELAZIONE GEOTECNICA

1 PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Desalvo Roberto, amministratore unico e direttore tecnico della StAigeS Ingegneria s.r.l. con sede in Savona Corso Italia n. 22/6, su incarico della Committenza Impresa Bagnasco Edoardo S.r.l. redige la presente relazione geotecnica relativa al progetto di sistemazione finale e recupero ambientale della cava denominata Binè, in comune di Millesimo (SV), conseguente alla cessazione dell'attività estrattiva.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971 "*Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";*
- Legge nr. 64 del 02/02/1974 "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";*
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988 "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
- D.M. LL.PP. Del 14/02/1992 "*Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";*
- D.M. 9 Gennaio 1996 "*Norme Tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";*
- D.M. 16 Gennaio 1996 "*Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";*
- D.M. 16 Gennaio 1996 "*Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche";*
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. "*Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996"*;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG. "*Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996*;
- D.M. 14 Gennaio 2008 "*Norme Tecniche per le Costruzioni 2008*";
- Circolare 7 del 21/01/2019 "*Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018*;
- D.M. 17 Gennaio 2018 "*Norme Tecniche per le Costruzioni 2018"*.

3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Ai fini del calcoli geotecnici oggetto della presente relazione, il principale documento di riferimento, oltre agli elaborati grafici di progetto a firma dello scrivente, è rappresentato dalla

relazione geologica a firma del Dott. Geol. Marcello Brancucci facente parte della documentazione di progetto.

4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Ai sensi della zonizzazione sismica indicata nel D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 *"OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*, l'area interessata dagli interventi a progetto ricade in **zona 4**.

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018), la **vita nominale V_N** delle opere strutturali, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, risulta essere pari a **50 anni**.

Sempre con riferimento al D.M. 17/01/2018, la **classe d'uso** corrispondente all'opera in esame risulta essere la classe **II** (coefficiente d'uso C_U = 1.0).

In virtù delle scelte precedentemente esposte, il **periodo di riferimento V_R** risulta essere pari a 1.0 x 50 = **50 anni**.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO ED EFFETTI DI SITO

Come descritto all'interno della relazione geologica a firma del dott. Brancucci, il profilo stratigrafico dei terreni presenti **categoria A** (*ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m*), secondo la Tabella 3.2.II delle NTC 2018, a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica Ss=1,00.

Per quanto riguarda la categoria topografica, si può adottare la **categoria T4** (*rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i>30°*)a cui corrisponde il coefficiente di amplificazione topografica St pari a 1,4.

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE

Come meglio descritto nella relazione illustrativa e facendo riferimento alle tavole grafiche di progetto, l'intervento di sistemazione finale prevede la ricostruzione del versante oggetto della passata attività estrattiva mediante riempimento del vuoto attualmente presente con materiali sciolti di idonee caratteristiche geotecniche che garantiscano la stabilità dell'opera.

Al fine di facilitare le operazioni di riempimento e di delimitare nettamente l'area di intervento rispetto alla pista di accesso prevista al piede del versante, si prevede la realizzazione di due ordini

di terre armate.

In concomitanza con quanto sopra descritto, si prevede inoltre la realizzazione di opere di sistemazione idraulica a carico del rio Sardo, nel tratto che costeggia l'area di cava Binè, consistenti nella realizzazione di un nuovo alveo delimitato da gabbionate.

7 SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

I dimensionamenti e le verifiche di stabilità di cui alla presente relazione sono stati effettuati mediante l'utilizzo del software SLOPE di GeoStru, che consente l'analisi di stabilità dei pendii tramite l'utilizzo di metodi di equilibrio limite unitamente a modelli numerici avanzati (*Element Discrete Method*). Il software consente analisi di vario tipo: stabilità di versanti in terreni sciolti o rocciosi, in condizioni statiche e sismiche, con eventuale inserimento di sistemi di consolidamento (muri in c.a., paratie di pali e micropali, tiranti attivi e passivi, chiodature, terre armate e rinforzate), stabilità di argini e invasi, rinforzo dei terreni.

8 RELAZIONE DI CALCOLO

Oggetto della presente relazione è la **verifica a stabilità del nuovo riempimento in terra** ed il **dimensionamento delle opere geotecniche di rinforzo (terre armate)** previste come contenimento del materiale e rafforzamento del piede di appoggio del versante.

- DIMENSIONAMENTO DELLE TERRE ARMATE

Nel presente paragrafo sarà descritto il dimensionamento delle terre armate, finalizzato alla definizione della tipologia e della lunghezza degli ancoraggi di rinforzo in base alle sollecitazioni agenti, mediante il software SLOPE della Geostru. Di seguito si riporta una sintesi delle metodologie di verifica utilizzate.

Come indicato nella relazione illustrativa, le terre armate previste alla base del versante dovranno essere fondate sul substrato roccioso o comunque su un terreno compatto. In alcune sezioni, tuttavia, l'attuale andamento altimetrico del profilo richiederà la preventiva realizzazione di un riempimento che costituirà di fatto il piano di appoggio delle terre armate, al fine di evitare l'eccessivo approfondimento delle stesse rispetto al terreno circostante (cfr. Sezione E-E nelle tavole grafiche di progetto). Nella modellazione di progetto, pertanto, si è ipotizzata la presenza di un terreno di fondazione avente caratteristiche geotecniche inferiori a quelle dell'ammasso roccioso presente in sito. In particolare, i risultati della modellazione riportati nell'**Allegato 1** sono relativi alla modellazione effettuata a favore di sicurezza considerando le caratteristiche minime del terreno di fondazione in grado di garantire la stabilità dell'opera (c'=0 kPa, ϕ'=21°).

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche del materiale costituente il corpo delle terre armate, si è ipotizzato l'utilizzo di terreni granulari non coerenti (c'=0 kPa) e dotati di un angolo di attrito ϕ' caratteristico pari a 35°, valori propri di materiali normalmente utilizzati per l'esecuzione di opere di tale

genere.

Nella seguente **Figura 1** si riporta lo schema utilizzato per il dimensionamento della terra armata, con indicazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni utilizzati e delle pressioni di contatto che si instaurano all'interfaccia tra la base della terra armata e lo strato di fondazione.

Poiché le terre armate previste saranno disposte su due ordini sovrapposti, si è introdotto un carico distribuito permanente pari a 100 kN/mq al fine di simulare la presenza della terra armata superiore.

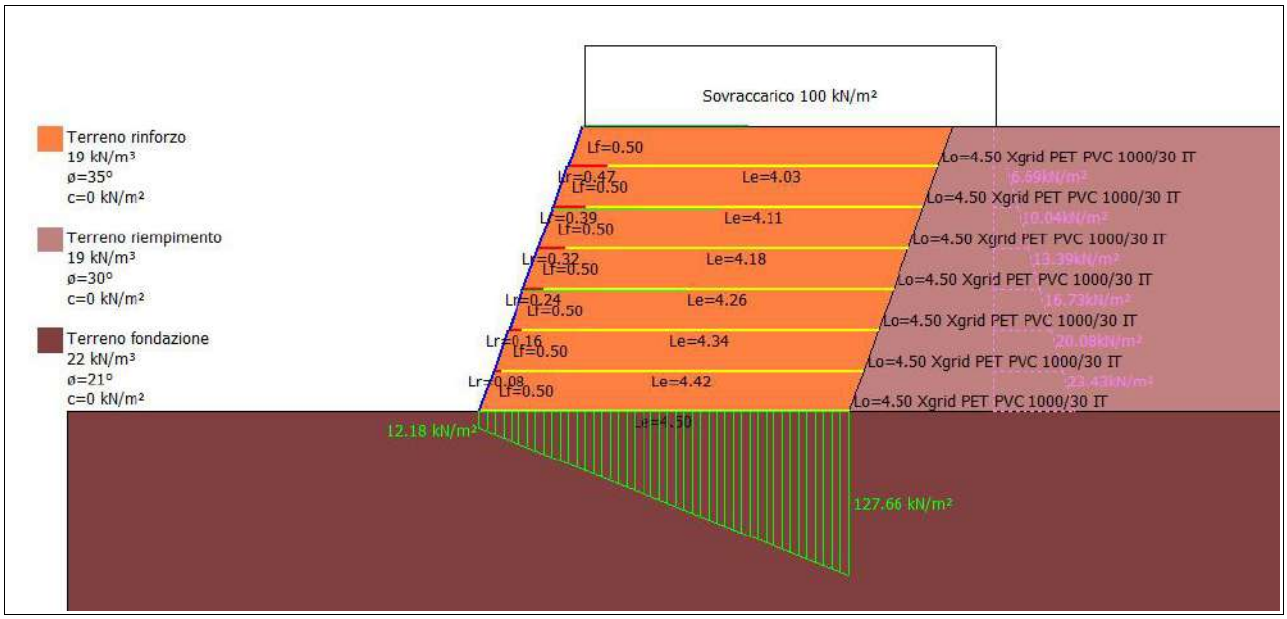


Figura 1

- VALUTAZIONI SULLA STABILITA' DEL RIEMPIMENTO

Una volta stabilite le caratteristiche delle terre armate, è possibile eseguire l'analisi, condotta ancora con il software SLOPE, dell'intero versante, al fine di valutare il coefficiente di sicurezza e stabilire i parametri geotecnici minimi del terreno necessari a garantire la stabilità del riempimento.

La geometria del riempimento è vincolata alla necessità di ripristinare la morfologia originaria del versante. L'andamento altimetrico delle sezioni trasversali di progetto, pertanto, deriva dall'ipotesi di ripristino descritta nelle tavole grafiche progettuali.

L'analisi di stabilità del versante oggetto di ricostituzione è stata eseguita in corrispondenza della sezione C-C, caratterizzata dalle pendenze maggiori. La verifica, condotta mediante il software SLOPE, considera anche la presenza delle terre armate precedentemente dimensionate, inserite al piede del pendio.

Per quanto riguarda le analisi effettuate sul riempimento, si eseguirà una **verifica di stabilità globale del pendio** ed una **analisi locale** in corrispondenza della terra armata, al fine di valutare i coefficienti di sicurezza propri del profilo e quindi valutarne la stabilità. I risultati delle due

verifiche sono riportati nell'**Allegato 2**.

Data la presenza della pista di arroccamento, necessaria al passaggio dei veicoli di trasporto del materiale di riempimento, viene ipotizzato un carico variabile uniformemente distribuito sul profilo in corrispondenza della pista stessa, pari a 20 kN/mq.

I parametri geotecnici dei terreni utilizzati per l'esecuzione del riempimento e del substrato roccioso utilizzati per le verifiche sono riportati nella tabella seguente.

Materiale	Peso unità di volume [kN/mc]	Peso unità di volume materiale saturo [kN/mc]	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione [kPa]
Riempimento in materiale sciolto	19	21	30	0
Basamento dolomie	26	26	25.2	203.06.00

Si sottolineano i seguenti aspetti:

– poiché non è possibile stabilire a priori le caratteristiche dei terreni che saranno utilizzati per la realizzazione del riempimento (dal momento che gli stessi potranno essere terre e rocce da scavo derivanti da diversi siti, materie prime/prime seconde prodotte da centri di riciclo), le verifiche si stabilità di cui alla presente relazione sono state cautelativamente eseguite considerando parametri inferiori a quelli medi indicati dal dott. Geol. Marcello Brancucci nella relazione geologica;

– le analisi, inoltre, sono state condotte ipotizzando la presenza di un substrato uniforme costituito esclusivamente dalle dolomie di Monte Rossotta e trascurando quindi l'esistenza delle quarziti (aventi caratteristiche geotecniche superiori alle dolomie e localmente affioranti, come indicato nella relazione geologica e nelle sezioni geologiche allegate), ipotesi anch'essa a favore di sicurezza.

1) Analisi globale:

In **Figura 2** sono riportate le superfici di scivolamento individuate dal programma di calcolo.

I risultati delle modellazioni relative all'intero pendio evidenziano che la geometria proposta, realizzata mediante l'utilizzo di terreni aventi le caratteristiche geotecniche indicate, risulta stabile.

Il minimo coefficiente di sicurezza (pari a **1,01**) è associato alla superficie di scivolamento indicata in **Figura 3**, che comunque interessa gli strati più superficiali del riempimento, mentre nella **Figura 4** si evidenziano le superfici a cui risulta associato un fattore di sicurezza compreso tra 1,01 e 1,03.

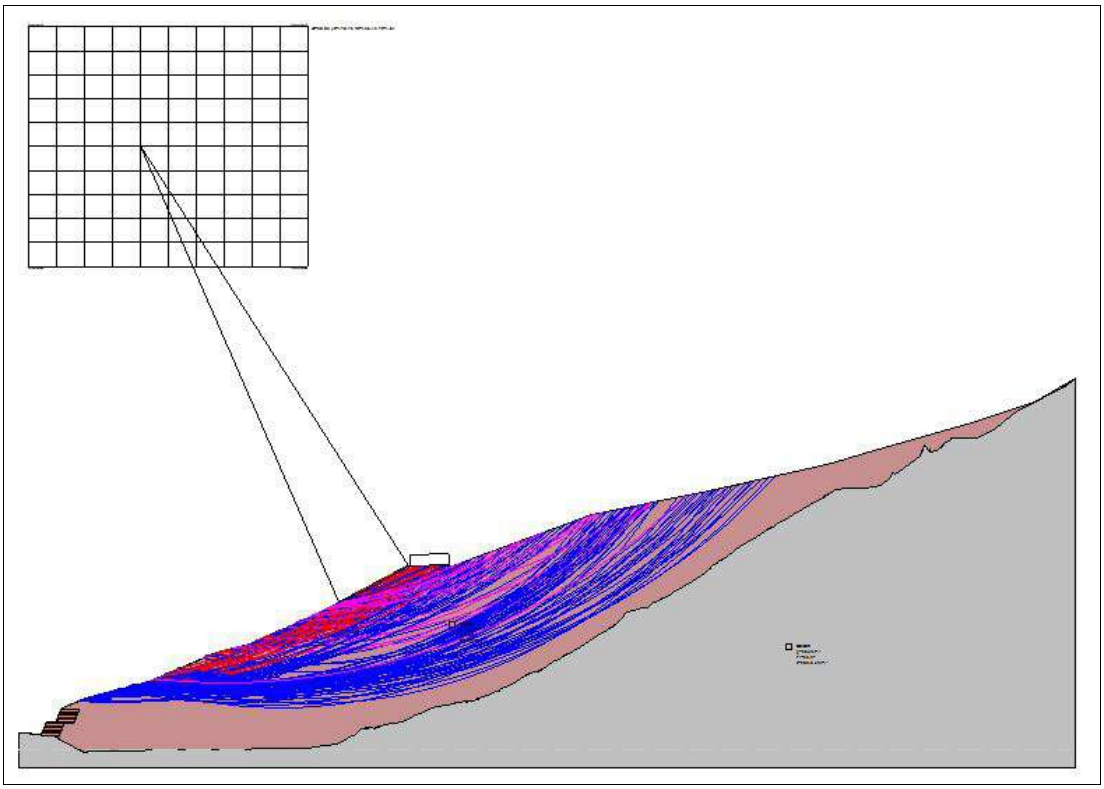


Figura 2

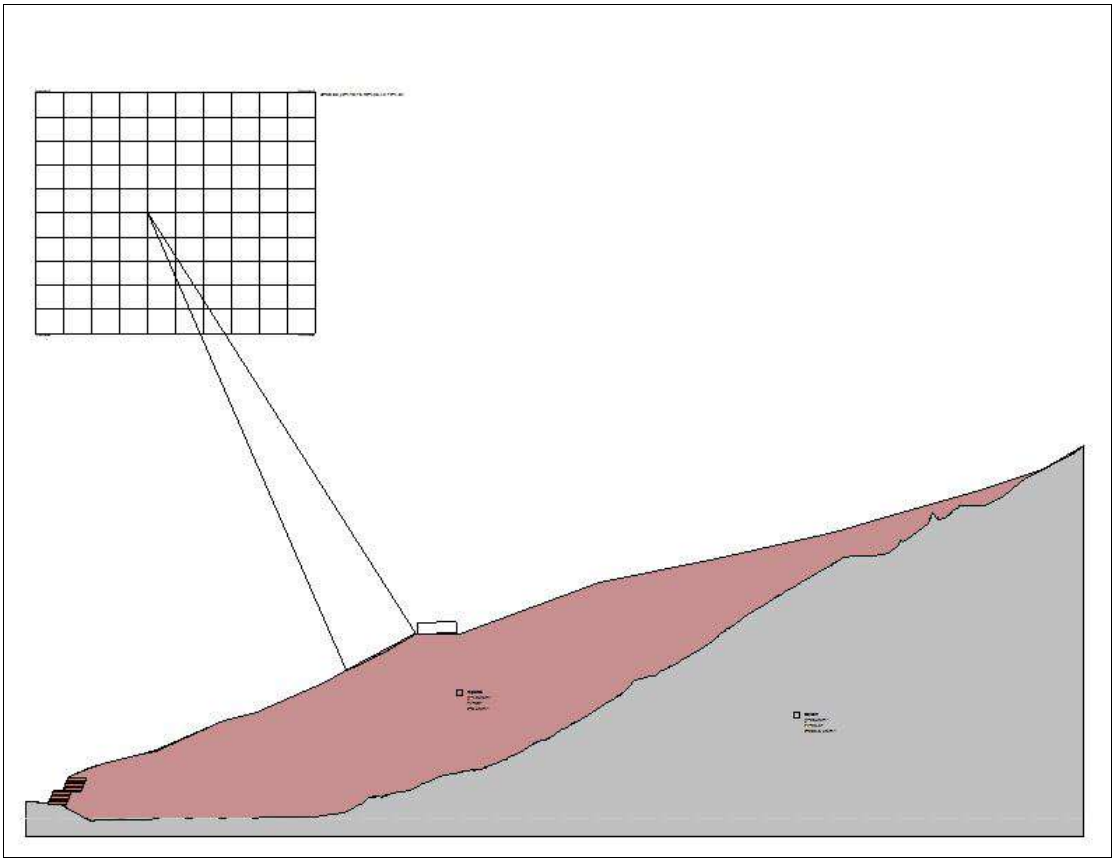


Figura 3

2) Analisi locale:

Le verifiche relative all'analisi locale eseguita in corrispondenza delle terre armate evidenziano fattori di sicurezza sempre superiori all'unità, con valore minimo pari a **1,18**.

9 CONCLUSIONI

Le analisi di stabilità descritte nella presente relazione dimostrano che la soluzione progettuale proposta consente il raggiungimento di valori del fattore di sicurezza sempre superiori all'unità.

Il versante di progetto, rinforzato alla base mediante la realizzazione di due ordini di terre armate, nella configurazione di analisi globale presenta una fattore di sicurezza minimo pari a 1,01 associato ad una superficie di scorrimento molto poco approfondita. Le verifiche locali, effettuate in prossimità delle terre armate, invece, presentano un fattore di sicurezza minimo pari a 1,18.

Tutte le analisi sono state condotte in condizioni fortemente conservative, ipotizzando l'uso di terreni con caratteristiche geotecniche piuttosto scadenti per il riempimento di progetto e supponendo la presenza di un substrato costituito esclusivamente da dolomie (caratterizzate da valori geotecnici inferiori rispetto alle quarziti, anch'esse rilevabili in sito).

Anche il dimensionamento delle terre armate si è basato sull'ipotesi a favore di sicurezza che l'opera sia fondata su uno strato di terreno di caratteristiche decisamente inferiori rispetto a quanto sarà effettivamente realizzato, al fine di tenere conto di eventuali modalità di esecuzione non perfettamente

allineate con le indicazioni operative fornite.

Savona, Ottobre 2019

Il Tecnico

Ing. Desalvo Roberto

ALLEGATO 1

TERRE ARMATE – DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Il progetto di una terra rinforzata si articola secondo le seguenti fasi:

1) Spaziatura delle strisce:

Si valuta la spaziatura delle strisce di rinforzo in verticale e in orizzontale, come in Figura 1. Ciò non vale se il rinforzo è realizzato con reti metalliche o con fogli di geotessile, la cui spaziatura orizzontale è fissa. La spaziatura verticale può variare orientativamente da 0.2 a 1 m e quella orizzontale è compresa approssimativamente tra 0.8 e 1 m. Nell'analisi si fa riferimento a un tratto di larghezza unitaria, a cui si associa il diagramma delle pressioni orizzontali.

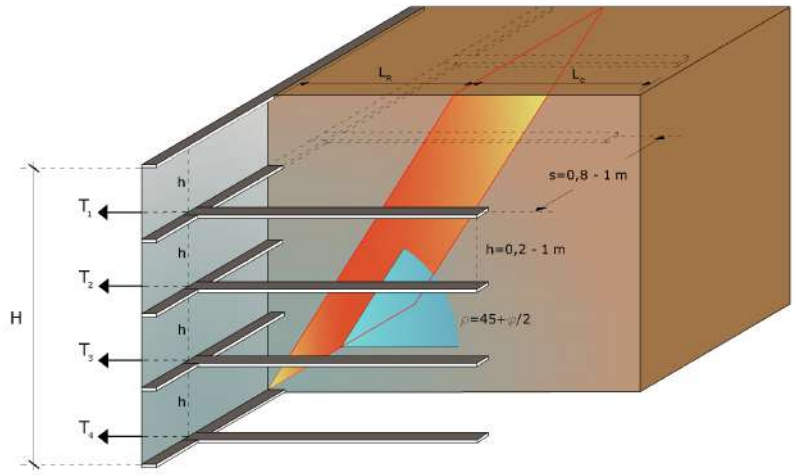


Figura 1

2) Forze di trazione nei rinforzi:

Si determinano le forze di trazione nei vari rinforzi, date dall'area del diagramma delle pressioni relative a ogni striscia. Per il diagramma triangolare relativo al terrapieno, la forza nella striscia è data dall'area dell'elemento trapezio ab'd'e viene trasformata nella pressione media q_i alla profondità della striscia Z_i mediante la relazione:

$$q_i = \gamma \cdot z_i \cdot K_a$$

La pressione q_i agisce su una area definita dalla spaziatura delle armature h´s e corrisponde a una forza di trazione nel rinforzo pari a:

$$T_i = q_i \cdot A = \gamma \cdot z_i \cdot K_a \cdot (h \cdot s)$$

Per l'equilibrio la somma delle forze di trazione deve essere pari alla componete orizzontale delle forze agenti:

$$\sum T_i = P_{ah}$$

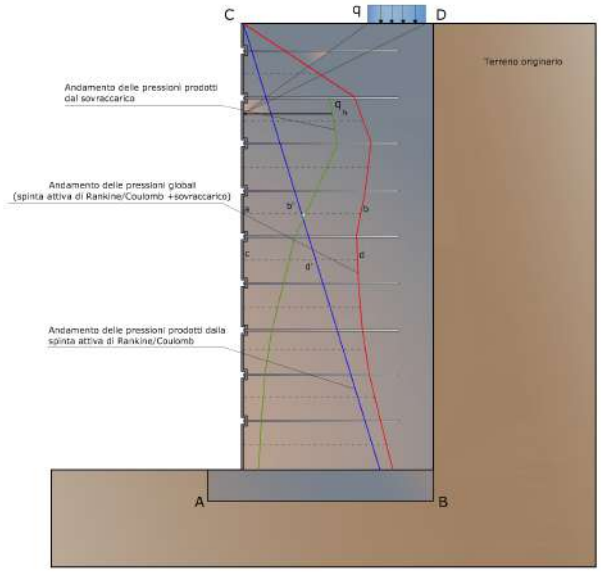


Figura 2

3) Calcolo delle lunghezze efficaci Le:

Si calcolano le lunghezze delle strisce *Le* che compaiono in Figura 3, necessarie affinché si sviluppi una forza d'attrito $F_r = T_i$. Sulla base di tali lunghezze e delle dimensioni del cuneo di Rankine, si può determinare la lunghezza globale *Lo* delle strisce da utilizzare. In generale, per tutta l'altezza del muro si usano strisce della stessa lunghezza. La lunghezza di ancoraggio dipende dal coefficiente d'attrito *f*=tand tra suolo e rinforzo, essendo d un'opportuna frazione dell'angolo d'attrito interno del terreno f. Se la striscia è sufficientemente scabra d = f, mentre per metalli lisci d è compreso orientativamente tra 20° e 25°.

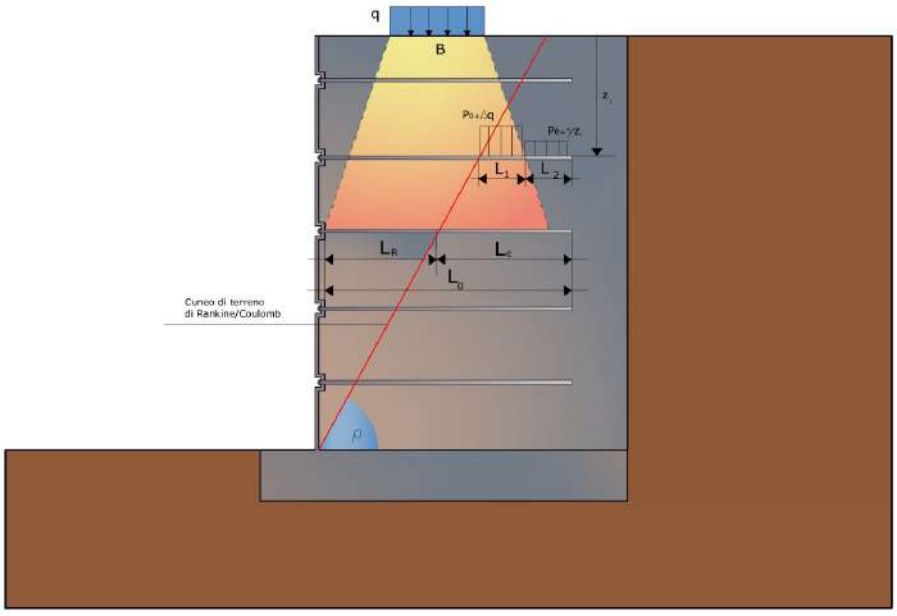


Figura 3

Per strisce di dimensioni *b* x *Le* o per fogli di geotessile di larghezza unitaria e lunghezza *Le,* entrambe le facce sviluppano attrito; per barre circolari, l'attrito resistente è sviluppato lungo il perimetro. In ogni caso, l'attrito è dato dal prodotto di ***f*** per la pressione normale al rinforzo calcolata come $p_O = gz_i$ dove z_i è la distanza *media* dalla superficie del terreno al rinforzo. Si ha quindi:

Per strisce:

$$F_i = 2 \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan\delta \cdot (b \cdot L_e) \geq T_i$$

Per barre:

$$F_i = \pi \cdot D \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan\delta \cdot (L_e) \geq T_i$$

Per fogli:

$$F_i = 2 \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan\delta \cdot (1 \cdot L_e) \geq T_i$$

Se nelle precedenti formule il segno ³ è sostituito col segno di uguale, il coefficiente di sicurezza FS è pari a 1. Se si assume FS > 1, il valore di *Le* risulta necessariamente maggiore di quello dato da queste formule.
Si determina quindi la sezione delle armature *b* x *t.* Per barre o strisce in metallo avente sforzo ammissibile pari a
fa = fy/FS si ha:

$b \cdot t \cdot f_a > T_i$ oppure $\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot f_a > T_i$

Nel caso di geotessili si ha il problema che la resistenza del tessuto varia a seconda del produttore; tra quelli possibili si sceglie un tessuto che:
Larghezza striscia b ´ resistenza per unità di larghezza ³ T_i.

- Calcolo della spinta attiva con il metodo di Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.
Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad 1/3 H di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\operatorname{sen}^2(\beta - \phi)}{\operatorname{sen}^2\beta \cdot \operatorname{sen}(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \cdot \sin(\phi - \varepsilon)}{\operatorname{sen}(\beta + \delta) \cdot \operatorname{sen}(\beta - \varepsilon)}}\right]^2}$$

Valori limite di K_A , d < (b-f-e) secondo Muller-Breslau:

g_t Peso unità di volume del terreno;

b Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

f Angolo di resistenza al taglio del terreno;

d Angolo di attrito terra-muro;

e Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se e = d = 0 e b = 90° (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta *St* si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1-\sin\phi)}{(1+\sin\phi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di Ka di Rankine si presenta come segue:

$$Ka = \cos\varepsilon \frac{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\phi}}{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\phi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo e, di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo b, di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità q tale che:

$$\text{tg}\ \theta = k_h/(1 \pm k_v)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Calcolo coefficienti sismici (NTC 2018)

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$k_h = \beta_m \cdot (a_{max} / g)$ $\cdot k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$

dove

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$

dove

S coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_S e di amplificazione topografica S_T.

a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

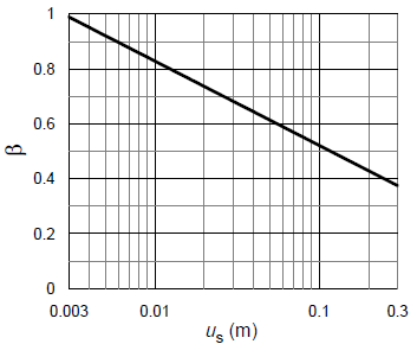
Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

β_m = 0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

β_m = 0.47 nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il seguente diagramma (Figura 7.11.3 § 7.11.6.3.2 - NTC 2018)



Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che *l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica.*

Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che *tale incremento sia applicato a metà*

altezza del muro.

Lo *stato limite di ribaltamento* deve essere trattato impiegando *coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici* e utilizzando *valori di* β_m *incrementati del 50%* rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_c come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_A}} - \frac{Q \cdot \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

Dove:

Q Carico agente sul terrapieno;

Se $Z_c < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_C \cdot H$$

con punto di applicazione pari a H/2.

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico *Q*, uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q:

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad H/2, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau.*

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

Dove:

H altezza muro

k_v coefficiente sismico verticale

g peso per unità di volume del terreno

K coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico)

E_{ws} spinta idrostatica dell'acqua

E_{wd} spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica E_{wd} = 0, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo q della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z, sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo g_t con g'_t ($g'_t = g_{saturo} - g_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\phi+\beta)}{\text{sen}^2\beta \cdot \text{sen}(\beta-\delta)\cdot\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\delta+\phi)\cdot\sin(\phi+\varepsilon)}{\text{sen}(\beta-\delta)\cdot\text{sen}(\beta-\varepsilon)}}\right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di d pari a:

d< b-f-e

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$Kp = \frac{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\phi}}{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\phi}}$$

Carico limite

Una delle prime famiglie di formule per il calcolo della capacità portate fu proposta da Terzaghi nel 1943.

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove

$$Nq = \frac{a^2}{2\cdot\cos^2(45+\varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi-\varphi/2)\tan\varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\varphi}{2}\cdot\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\varphi}-1\right)$$

dove s_c=1 e s_g=1. per fondazioni nastriformi.

Brinch Hansen – Vesic – (1970)

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$V_d \leq R_d$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo

conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R / A' = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

A' = B' L' area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c fattore di forma

$s_c = 0{,}2 \cdot (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H. $i_c = 0{,}5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - H/A' \cdot c_u}\right)$

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R / A' = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \cdot \tan^2(45 + \phi'/2)$$
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$
$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

$s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin \phi'$ per forma rettangolare

$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot (B'/L')$ per forma rettangolare

$s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$ per forma rettangolare, quadrata o circolare.

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left[1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')\right]^m$$
$$i_\gamma = \left[1 - H/(V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')\right]^{m+1}$$
$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$$

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'}\right)\right]} \quad \text{con} \quad H//B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'}\right)\right]} \quad \text{con} \quad H//L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L', l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2\theta + m_B \sin^2\theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

Convenzione segni

Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;

Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;

Coppie positive se antiorarie;

Angoli positivi se antiorari.

Descrizione

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0184
Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0092

Geometria

Nr.	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	1.27	3.5
3	5.77	3.5
4	4.5	0.0

Peso unità di volume	19.0 kN/m³
Peso unità di volume saturo	21.0 kN/m³
Angolo di resistenza a taglio	35.0 °
Coesione	0.0 kN/m²
Angolo attrito terreno rinforzo	23.33 °

Terreno riempimento

Peso unità di volume	19.0 kN/m³
Peso unità di volume saturo	21.0 kN/m³
Angolo di resistenza a taglio	30.0 °
Coesione	0.0 kN/m²

Angolo di attrito terra muro 20.0 °

Terreno fondazione

Peso unità di volume 22.0 kN/m³
Peso unità di volume saturo 25.0 kN/m³
Angolo di resistenza a taglio 21.0 °
Coesione 0.0 kN/m²

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza sfilamento	Fattore sicurezza rottura
1	0.0	0.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0	4.5	4.5	1	22.18	50.27
2	0.18	0.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.08	4.42	4.5	1	21.79	58.65
3	0.36	1.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.16	4.34	4.5	1	21.4	70.38
4	0.54	1.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.24	4.26	4.5	1	21.01	87.97
5	0.73	2.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.32	4.18	4.5	1	20.63	117.29
6	0.91	2.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.39	4.11	4.5	1	20.24	175.94
7	1.09	3.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.47	4.03	4.5	1	19.85	351.88

Elenco rinforzi

Tipo	Descrizione	Struttura	Resistenza

		(mm)	
1	STRIP 15x5	Strisce Larghezza, Spessore=15/5	370 N/mm²
2	BAR Ø20	Barre Diametro=20	370 N/mm²
3	SHEET 330	Geosintetici	330 kN/m
4	SHEET 401	Geosintetici	401 kN/m
5	Xgrid PET PVC 40/30 IT	Geosintetici	23.55 kN/m
6	XGrid PET PVC 60/30 IT	Geosintetici	35.33 kN/m
7	XGrid PET PVC 80/30 IT	Geosintetici	47.11 kN/m
8	XGrid PET PVC 110/30 IT	Geosintetici	64.77 kN/m
9	XGrid PET PVC 150/30 IT	Geosintetici	88.32 kN/m
10	Xgrid PET PVC 500/30 IT	Geosintetici	294.41 kN/m
11	Xgrid PET PVC 600/30 IT	Geosintetici	353.29 kN/m
12	Xgrid PET PVC 700/30 IT	Geosintetici	412.17 kN/m
13	Xgrid PET PVC 900/30 IT	Geosintetici	529.94 kN/m
14	Xgrid PET PVC 900/30 IT	Geosintetici	529.94 kN/m
15	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	Geosintetici	588.82 kN/m
16	Xgrid PET PVC 1100/30 IT	Geosintetici	588.82 kN/m
17	Xgrid PET PVC 1200/30 IT	Geosintetici	706.58 kN/m
18	Xgrid PET PVC 1300/30 IT	Geosintetici	765.46 kN/m

Descrizione

Nr.	Confermare con il pulsante destro del mouse	X (m)	Y (m)	Lx (m)	Ly (m)	Q (kN/m²)
1	Sovraccarico	1.3	3.5	5	10	100

Combinazione 1 (A1+M1+R3)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.30
3	Spinta falda	1.30
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Sovraccarico	0.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Combinazione 2 (A_Unitari+M1+R)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Sovraccarico	0.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Combinazione 1 (A1+M1+R3)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza sfilamento	Fattore sicurezza rottura
1	0.0	0.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0	4.5	4.5	1	22.18	50.27
2	0.18	0.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.08	4.42	4.5	1	21.79	58.65
3	0.36	1.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.16	4.34	4.5	1	21.4	70.38
4	0.54	1.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.24	4.26	4.5	1	21.01	87.97
5	0.73	2.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.32	4.18	4.5	1	20.63	117.29
6	0.91	2.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.39	4.11	4.5	1	20.24	175.94
7	1.09	3.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.47	4.03	4.5	1	19.85	351.88

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (5.8/0.0) m
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (5.8/3.5) m
Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;
Qf Quota finale strato

P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m²);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	ß
3.5	0.0	19.0	0.0	30.0	20.0	0.0	0.0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

µ	Ka	Kd	Dk
70.0	0.3	0.31	0.01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	42.27	15.38	5.77	1.17
Spinta attiva Coesione	0.0	0.0	5.77	1.75
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	5.77	1.17
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	5.77	1.75
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	0.0	5.77	1.75
Peso muro	0.0	299.25	2.89	1.75

Momento stabilizzante	952.1	kNm
Momento ribaltante	49.31	kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	42.27	kN
Sommatoria forze verticali	314.63	kN
Coefficiente di attrito	0.38	
Adesione	0.0	kN/m²
Forze normali al piano di scorrimento	314.63	kN
Forze parall. al piano di scorrimento	42.27	kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**2.6**	

Traslazione verificata Csd>0

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	952.1 kNm
Momento ribaltante	49.31 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**22.2**

Muro verificato a ribaltamento Csv>0

Carico limite: BRINCH HANSEN - VESIC

Somma forze in direzione x	42.27	kN
Somma forze in direzione y (Fy)	314.63	kN
Somma momenti	-902.79	kNm
Larghezza fondazione	4.5	m
Eccentricità su B	0.62	m
Peso unità di volume	22.0	kN/m³
Angolo di resistenza al taglio	21.0	°

Coesione	0.0	kN/m²
Terreno sulla fondazione	0.0	m
Peso terreno sul piano di posa	22.0	kN/m³
Nq	7.07	
Nc	15.81	
Ng	6.2	
sq	1.0	
sc	1.0	
sg	1.0	
Zg (Effetto inerziale in fondazione)	1.0	
iq	0.75	
ic	0.71	
ig	0.65	
Carico limite verticale (Qlim)	335.91	kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**1.07**	
Carico limite verificato Csq>0		

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.87	m
Larghezza della fondazione	4.5	m

x = 0.0	Tensione...	12.18 kN/m²
x = 4.5	Tensione...	127.66 kN/m²

Combinazione 2 (A_Unitari+M1+R)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza sfilamento	Fattore sicurezza rottura
1	0.0	0.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0	4.5	4.5	1	28.84	65.35
2	0.18	0.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.08	4.42	4.5	1	28.33	76.24
3	0.36	1.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.16	4.34	4.5	1	27.83	91.49
4	0.54	1.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.24	4.26	4.5	1	27.32	114.36
5	0.73	2.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.32	4.18	4.5	1	26.82	152.48

6	0.91	2.5	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.39	4.11	4.5	1	26.31	228.72
7	1.09	3.0	(15) Xgrid PET PVC 1000/30 IT	2	0.5	0.47	4.03	4.5	1	25.81	457.44

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (5.8/0.0) m
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (5.8/3.5) m
Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato;
Qf	Quota finale strato
P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m²);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	ß
3.5	0.0	19.0	0.0	30.0	20.0	0.0	0.0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

µ	Ka	Kd	Dk
70.0	0.3	0.31	0.01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	32.51	11.83	5.77	1.17
Spinta attiva Coesione	0.0	0.0	5.77	1.75
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	5.77	1.17
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	5.77	1.75
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	0.0	5.77	1.75
Peso muro	0.0	299.25	2.89	1.75

Momento stabilizzante 931.62 kNm
Momento ribaltante 37.93 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	32.51	kN
Sommatoria forze verticali	311.08	kN
Coefficiente di attrito	0.38	
Adesione	0.0	kN/m²
Forze normali al piano di scorrimento	311.08	kN
Forze parall. al piano di scorrimento	32.51	kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**3.67**	

Traslazione verificata Csd>0

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	931.62	kNm
Momento ribaltante	37.93	kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**24.56**	

Muro verificato a ribaltamento Csv>0

Carico limite: BRINCH HANSEN - VESIC

Somma forze in direzione x	32.51	kN
Somma forze in direzione y (Fy)	311.08	kN
Somma momenti	-893.69	kNm
Larghezza fondazione	4.5	m
Eccentricità su B	0.62	m
Peso unità di volume	22.0	kN/m³
Angolo di resistenza al taglio	21.0	°
Coesione	0.0	kN/m²
Terreno sulla fondazione	0.0	m
Peso terreno sul piano di posa	22.0	kN/m³
Nq	7.07	
Nc	15.81	
Ng	6.2	
sq	1.0	
sc	1.0	
sg	1.0	
Zg (Effetto inerziale in fondazione)	1.0	
iq	0.8	
ic	0.77	
ig	0.72	
Carico limite verticale (Qlim)	431.96	kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**1.39**	

Carico limite verificato Csq>0

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.87	m
Larghezza della fondazione	4.5	m

x = 0.0	Tensione...	11.72 kN/m²
x = 4.5	Tensione...	126.54 kN/m²

ALLEGATO 2

STABILITÀ DEL PENDIO – METODOLOGIA DI CALCOLO

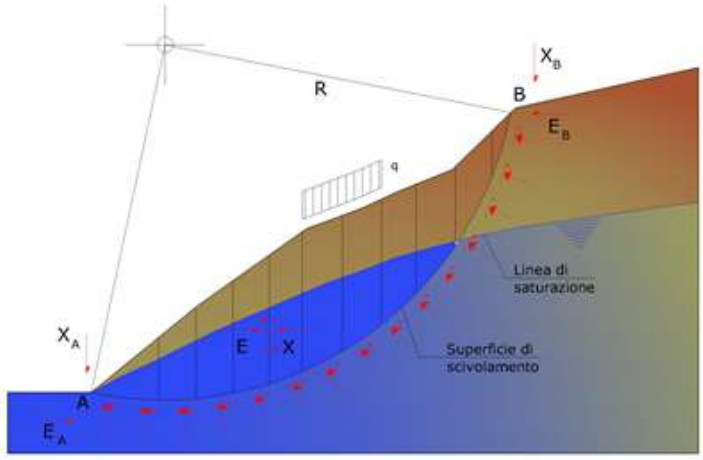
- Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (t) e confrontate con la resistenza disponibile (t_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

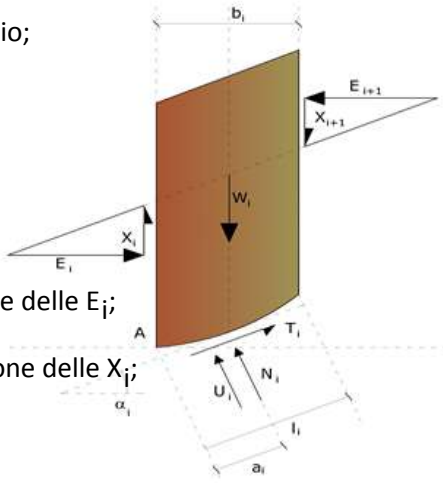
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



- Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a *n*, il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i;
- (n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.



Complessivamente le incognite sono (6n-2).

Mentre le equazioni a disposizione sono:

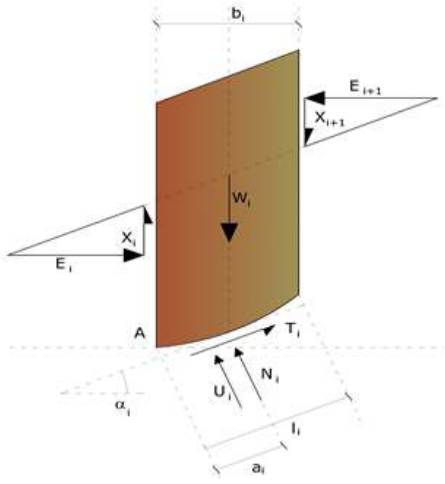
- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.
Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

- Metodo di Bishop (1955)



Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \qquad \textbf{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \frac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre DX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario,** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

- Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **F_H** e **F_V** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K_x** coefficiente sismico orizzontale;
- **K_y** coefficiente sismico verticale.

- **Ricerca della superficie di scorrimento critica**

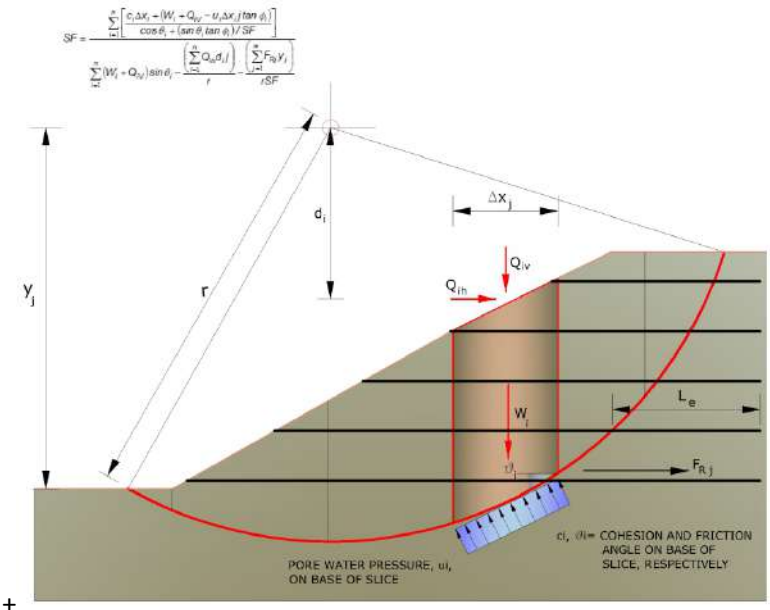
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

- **Elemento Rinforzo**

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento .

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.



+

Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo, T_{Allow}, si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.

L'altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot Le \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot \tan(\delta)$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

$$f_b = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\varphi)}$$

dove:

d Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;

$T_{Pullout}$ Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza L_e all'interno della parte stabile del terreno;

L_e Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;

f_b Coefficiente di *Pullout*;

σ'_v Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra T_{Allow} e $T_{Pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T'.

VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE PENDIO

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.344861/8.204894
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R1]
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2.59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	118.37 m
Ascissa vertice destro superiore xs	73.25 m
Ordinata vertice destro superiore ys	179.15 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0214
Coefficiente azione sismica verticale	0.0107

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	1.6	-0.14
3	5.08	-0.38
4	5.24	-0.34
5	6.1	-0.1
6	6.22	0.26
7	7.1	2.94
8	7.3	2.92
9	8.76	2.92
10	9.68	2.92
11	9.72	3.04
12	10.72	5.96
13	10.84	6.0
14	11.46	6.24
15	12.66	6.96
16	14.56	7.71
17	16.18	8.5
18	19.66	9.36
19	29.46	12.0
20	33.04	12.84
21	48.38	19.7
22	49.24	20.12

23	50.24	20.34
24	58.29	22.41
25	75.99	30.48
26	80.39	32.71
27	84.26	34.76
28	89.58	37.72
29	94.83	40.5
30	98.16	42.28
31	104.2	42.3
32	106.64	42.3
33	109.7	42.34
34	144.72	55.36
35	172.58	61.02
36	199.56	66.86
37	205.66	68.48
38	206.78	68.78
39	209.24	69.5
40	213.72	70.94
41	240.82	78.64
42	256.58	83.86
43	256.9	84.04
44	266.96	89.86

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	5.08	-0.38
4	6.78	-0.02
5	6.86	0.0
6	7.22	-0.08
7	7.8	-0.36
8	8.04	-0.48
9	8.98	-0.86
10	9.48	-1.04
11	10.18	-1.36
12	10.48	-1.7
13	10.7	-1.86
14	12.44	-2.88
15	13.02	-3.12
16	13.94	-3.6
17	14.86	-4.18
18	16.26	-4.82
19	16.38	-4.86
20	16.48	-4.86
21	18.66	-4.68
22	20.26	-4.64
23	21.2	-4.64
24	22.24	-4.6
25	24.04	-4.66
26	24.92	-4.62
27	26.66	-4.54
28	26.88	-4.54
29	27.5	-4.52
30	27.84	-4.52
31	29.0	-4.5
32	29.24	-4.48
33	29.52	-4.48
34	29.76	-4.48
35	34.28	-4.44
36	36.2	-4.36

37	37.04	-4.36
38	37.18	-4.36
39	37.36	-4.36
40	38.22	-4.36
41	38.28	-4.36
42	40.42	-4.34
43	41.66	-4.3
44	42.56	-4.32
45	44.46	-4.3
46	45.46	-4.32
47	45.66	-4.34
48	45.8	-4.34
49	45.94	-4.32
50	46.12	-4.32
51	46.28	-4.32
52	48.02	-4.32
53	49.44	-4.3
54	51.1	-4.28
55	52.22	-4.32
56	53.44	-4.32
57	54.24	-4.32
58	54.72	-4.34
59	63.36	-3.94
60	66.2	-3.86
61	66.66	-3.86
62	69.3	-3.86
63	69.7	-3.86
64	71.64	-3.86
65	72.24	-3.86
66	72.68	-3.84
67	73.08	-3.8
68	75.36	-3.58
69	77.28	-3.36
70	77.66	-3.32
71	77.92	-3.28
72	80.52	-2.86
73	81.4	-2.5
74	82.6	-1.86
75	83.14	-1.54
76	84.34	-0.86
77	84.42	-0.8
78	84.48	-0.78
79	84.68	-0.64
80	85.96	0.24
81	86.4	0.64
82	87.0	0.92
83	88.0	1.18
84	89.24	1.3
85	89.96	1.14
86	90.34	1.26
87	91.26	1.54
88	91.92	1.82
89	92.68	1.96
90	93.42	2.14
91	94.06	2.26
92	95.52	2.36
93	97.94	3.24
94	99.72	4.2
95	100.4	4.5
96	100.76	4.6
97	101.2	4.8
98	101.54	4.92

99	101.72	4.92
100	101.86	4.94
101	102.94	5.64
102	104.66	6.16
103	105.92	6.64
104	107.74	7.08
105	107.96	7.1
106	108.04	7.14
107	109.94	7.52
108	110.38	7.54
109	111.0	7.64
110	111.56	7.68
111	111.7	7.7
112	111.9	7.78
113	112.62	7.92
114	113.14	7.9
115	114.32	8.1
116	114.36	8.12
117	114.62	8.14
118	115.2	8.18
119	115.82	8.46
120	116.08	8.6
121	116.14	8.64
122	116.26	8.68
123	117.42	9.14
124	118.46	9.56
125	118.68	9.64
126	119.78	10.14
127	121.16	10.64
128	121.38	10.72
129	121.96	11.14
130	123.24	11.58
131	123.36	11.64
132	123.42	11.68
133	125.76	13.14
134	127.88	14.34
135	128.78	14.92
136	129.18	15.16
137	130.24	15.44
138	130.54	15.64
139	130.6	15.64
140	131.04	15.64
141	131.96	16.0
142	132.76	16.42
143	133.26	16.58
144	135.24	18.14
145	135.88	18.14
146	136.48	18.52
147	136.78	18.74
148	137.96	19.7
149	139.34	20.16
150	140.28	20.64
151	140.92	21.06
152	144.08	23.14
153	144.3	23.14
154	145.34	23.84
155	148.12	25.64
156	148.34	25.84
157	148.56	25.96
158	150.0	26.96
159	151.24	27.88
160	151.5	28.14

161	152.16	28.88
162	153.8	30.64
163	153.94	30.64
164	155.6	31.1
165	156.64	31.36
166	156.82	31.42
167	157.46	31.6
168	157.8	31.62
169	158.8	31.68
170	160.12	32.74
171	160.8	33.14
172	160.94	33.2
173	162.48	34.0
174	162.6	34.04
175	162.7	34.08
176	163.06	34.24
177	164.02	34.64
178	164.58	34.94
179	164.82	35.14
180	165.24	35.48
181	165.44	35.64
182	166.7	36.42
183	167.74	37.02
184	168.5	37.4
185	170.04	38.14
186	170.2	38.26
187	170.32	38.34
188	171.46	39.26
189	173.42	40.6
190	173.46	40.64
191	173.5	40.66
192	174.06	41.14
193	174.46	41.54
194	174.54	41.64
195	174.74	41.78
196	175.14	42.14
197	176.42	43.04
198	176.54	43.14
199	177.02	43.6
200	177.5	43.86
201	177.98	44.08
202	179.16	44.9
203	179.88	45.44
204	180.18	45.62
205	180.38	45.74
206	181.22	46.44
207	182.12	47.14
208	186.4	49.76
209	188.74	51.14
210	190.06	52.02
211	190.72	52.36
212	191.68	53.14
213	194.18	54.44
214	195.84	55.26
215	198.04	56.66
216	199.82	57.78
217	201.14	58.64
218	202.66	59.42
219	203.92	60.14
220	204.84	60.6
221	204.94	60.64
222	205.0	60.68

223	205.54	61.14
224	205.88	61.28
225	206.68	61.64
226	207.26	61.64
227	208.7	61.92
228	209.34	61.98
229	210.3	62.14
230	210.56	62.14
231	210.9	62.18
232	214.04	62.22
233	214.32	62.24
234	215.5	62.28
235	216.48	62.46
236	217.46	62.64
237	218.02	62.9
238	220.44	64.94
239	220.84	65.82
240	221.42	65.6
241	222.64	66.26
242	227.88	70.14
243	228.22	71.08
244	228.74	72.9
245	228.78	72.94
246	230.22	71.14
247	230.26	72.04
248	230.66	71.2
249	231.88	71.64
250	233.86	73.2
251	233.94	73.24
252	235.5	74.56
253	235.62	74.66
254	238.28	74.74
255	240.28	74.78
256	242.08	74.82
257	244.24	75.84
258	245.34	76.4
259	246.56	76.86
260	250.7	80.58
261	252.02	81.56
262	258.98	85.08
263	262.36	86.86
264	264.68	88.36
265	266.65	89.68
266	266.96	89.86

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata	Angolo resistenza al	Peso unità di volume	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	

		(kN/m²)	taglio (°)	(kN/m³)			
1	0	0	30	19	21	Riporto	
2	203.6	0	25.2	26	26	Calcari	

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	57.73911
2	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	49.49067
3	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	41.24222
4	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	32.99378
5	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	24.74533
6	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	16.49689
7	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	8.248446

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	57.73911
2	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	49.49067
3	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	41.24222
4	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	32.99378
5	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	24.74533
6	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	16.49689
7	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	8.248446

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	98.97	42.48	108.97	42.51311	20

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato	1.01
Ascissa centro superficie	30.85 m
Ordinata centro superficie	148.76 m
Raggio superficie	126.12 m

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 30.854 yc = 148.759 Rc = 126.125 Fs=1.011

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.75	23.9	1.91	2.7	0.06	0.03	0.0	30.0	0.0	2.4	1.3
2	1.52	24.7	1.67	6.12	0.13	0.07	0.0	30.0	0.0	5.3	3.0
3	1.97	25.6	2.19	12.91	0.28	0.14	0.0	30.0	0.0	11.2	6.4
4	1.75	26.5	1.95	15.53	0.33	0.17	0.0	30.0	0.0	13.5	7.7
5	1.6	27.3	1.8	16.65	0.36	0.18	0.0	30.0	0.0	14.5	8.3
6	1.89	28.2	2.15	20.53	0.44	0.22	0.0	30.0	0.0	17.8	10.2
7	1.75	29.2	2.0	17.86	0.38	0.19	0.0	30.0	0.0	15.5	8.9
8	1.62	30.1	1.87	14.51	0.31	0.16	0.0	30.0	0.0	12.6	7.2
9	1.88	31.0	2.19	13.35	0.29	0.14	0.0	30.0	0.0	11.6	6.6
10	1.75	31.9	2.06	7.89	0.17	0.08	0.0	30.0	0.0	6.9	3.9

Tiro geogriglie

Nr. conci	Tiro (kN)
1	--
2	--
3	--
4	--
5	--
6	--
7	--
8	--
9	--
10	--

Nr	x;y	xc,yc,rc	Fattore di sicurezza	Risultati verifiche interne	ID Sup
1	0/0	0/0/0	0	Compound	
2	0/0	0/0/0	0	Compound	
3	0/0	0/0/0	0	Compound	
4	0/0	0/0/0	0	Compound	
5	0/0	0/0/0	0	Compound	
6	0/0	0/0/0	0	Compound	
7	0/0	0/0/0	0	Compound	
8	0/0	0/0/0	0	Compound	
9	0/0	0/0/0	0	Compound	
10	0/0	0/0/0	0	Compound	
11	5.88/-0.67	0/0/0	0	Tieback	
12	6.06/-0.17	0/0/0	0	Tieback	
13	6.24/0.33	0/0/0	0	Tieback	
14	6.43/0.83	0/0/0	0	Tieback	
15	6.61/1.33	0/0/0	0	Tieback	
16	6.79/1.83	0/0/0	0	Tieback	
17	9.56/2.41	0/0/0	0	Tieback	
18	9.74/2.91	0/0/0	0	Tieback	
19	9.92/3.41	0/0/0	0	Tieback	
20	10.1/3.91	0/0/0	0	Tieback	
21	10.28/4.41	0/0/0	0	Tieback	
22	10.46/4.91	0/0/0	0	Tieback	

VERIFICA DI STABILITÀ LOCALE

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

==========

Lat./Long.	44.344861/8.204894
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R1]
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata

Superficie di forma circolare

==========
===

Maglia dei Centri

==========
===

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.23 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5.8 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9.53 m
Ordinata vertice destro superiore ys	13.66 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

==========
===

Sisma

==========
===

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0214
Coefficiente azione sismica verticale	0.0107

==========
===

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	1.6	-0.14
3	5.08	-0.38
4	5.24	-0.34
5	6.1	-0.1
6	6.22	0.26
7	7.1	2.94
8	7.3	2.92
9	8.76	2.92
10	9.68	2.92
11	9.72	3.04
12	10.72	5.96
13	10.84	6.0
14	11.46	6.24
15	12.66	6.96
16	14.56	7.71
17	16.18	8.5
18	19.66	9.36
19	29.46	12.0
20	33.04	12.84
21	48.38	19.7
22	49.24	20.12
23	50.24	20.34
24	58.29	22.41
25	75.99	30.48

26	80.39	32.71
27	84.26	34.76
28	89.58	37.72
29	94.83	40.5
30	98.16	42.28
31	104.2	42.3
32	106.64	42.3
33	109.7	42.34
34	144.72	55.36
35	172.58	61.02
36	199.56	66.86
37	205.66	68.48
38	206.78	68.78
39	209.24	69.5
40	213.72	70.94
41	240.82	78.64
42	256.58	83.86
43	256.9	84.04
44	266.96	89.86

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	5.08	-0.38
4	6.78	-0.02
5	6.86	0.0
6	7.22	-0.08
7	7.8	-0.36
8	8.04	-0.48
9	8.98	-0.86
10	9.48	-1.04
11	10.18	-1.36
12	10.48	-1.7
13	10.7	-1.86
14	12.44	-2.88
15	13.02	-3.12
16	13.94	-3.6
17	14.86	-4.18
18	16.26	-4.82
19	16.38	-4.86
20	16.48	-4.86
21	18.66	-4.68
22	20.26	-4.64
23	21.2	-4.64
24	22.24	-4.6
25	24.04	-4.66
26	24.92	-4.62
27	26.66	-4.54
28	26.88	-4.54
29	27.5	-4.52

30	27.84	-4.52
31	29.0	-4.5
32	29.24	-4.48
33	29.52	-4.48
34	29.76	-4.48
35	34.28	-4.44
36	36.2	-4.36
37	37.04	-4.36
38	37.18	-4.36
39	37.36	-4.36
40	38.22	-4.36
41	38.28	-4.36
42	40.42	-4.34
43	41.66	-4.3
44	42.56	-4.32
45	44.46	-4.3
46	45.46	-4.32
47	45.66	-4.34
48	45.8	-4.34
49	45.94	-4.32
50	46.12	-4.32
51	46.28	-4.32
52	48.02	-4.32
53	49.44	-4.3
54	51.1	-4.28
55	52.22	-4.32
56	53.44	-4.32
57	54.24	-4.32
58	54.72	-4.34
59	63.36	-3.94
60	66.2	-3.86
61	66.66	-3.86
62	69.3	-3.86
63	69.7	-3.86
64	71.64	-3.86
65	72.24	-3.86
66	72.68	-3.84
67	73.08	-3.8
68	75.36	-3.58
69	77.28	-3.36
70	77.66	-3.32
71	77.92	-3.28
72	80.52	-2.86
73	81.4	-2.5
74	82.6	-1.86
75	83.14	-1.54
76	84.34	-0.86
77	84.42	-0.8
78	84.48	-0.78
79	84.68	-0.64
80	85.96	0.24
81	86.4	0.64

82	87.0	0.92
83	88.0	1.18
84	89.24	1.3
85	89.96	1.14
86	90.34	1.26
87	91.26	1.54
88	91.92	1.82
89	92.68	1.96
90	93.42	2.14
91	94.06	2.26
92	95.52	2.36
93	97.94	3.24
94	99.72	4.2
95	100.4	4.5
96	100.76	4.6
97	101.2	4.8
98	101.54	4.92
99	101.72	4.92
100	101.86	4.94
101	102.94	5.64
102	104.66	6.16
103	105.92	6.64
104	107.74	7.08
105	107.96	7.1
106	108.04	7.14
107	109.94	7.52
108	110.38	7.54
109	111.0	7.64
110	111.56	7.68
111	111.7	7.7
112	111.9	7.78
113	112.62	7.92
114	113.14	7.9
115	114.32	8.1
116	114.36	8.12
117	114.62	8.14
118	115.2	8.18
119	115.82	8.46
120	116.08	8.6
121	116.14	8.64
122	116.26	8.68
123	117.42	9.14
124	118.46	9.56
125	118.68	9.64
126	119.78	10.14
127	121.16	10.64
128	121.38	10.72
129	121.96	11.14
130	123.24	11.58
131	123.36	11.64
132	123.42	11.68
133	125.76	13.14

134	127.88	14.34
135	128.78	14.92
136	129.18	15.16
137	130.24	15.44
138	130.54	15.64
139	130.6	15.64
140	131.04	15.64
141	131.96	16.0
142	132.76	16.42
143	133.26	16.58
144	135.24	18.14
145	135.88	18.14
146	136.48	18.52
147	136.78	18.74
148	137.96	19.7
149	139.34	20.16
150	140.28	20.64
151	140.92	21.06
152	144.08	23.14
153	144.3	23.14
154	145.34	23.84
155	148.12	25.64
156	148.34	25.84
157	148.56	25.96
158	150.0	26.96
159	151.24	27.88
160	151.5	28.14
161	152.16	28.88
162	153.8	30.64
163	153.94	30.64
164	155.6	31.1
165	156.64	31.36
166	156.82	31.42
167	157.46	31.6
168	157.8	31.62
169	158.8	31.68
170	160.12	32.74
171	160.8	33.14
172	160.94	33.2
173	162.48	34.0
174	162.6	34.04
175	162.7	34.08
176	163.06	34.24
177	164.02	34.64
178	164.58	34.94
179	164.82	35.14
180	165.24	35.48
181	165.44	35.64
182	166.7	36.42
183	167.74	37.02
184	168.5	37.4
185	170.04	38.14

186	170.2	38.26
187	170.32	38.34
188	171.46	39.26
189	173.42	40.6
190	173.46	40.64
191	173.5	40.66
192	174.06	41.14
193	174.46	41.54
194	174.54	41.64
195	174.74	41.78
196	175.14	42.14
197	176.42	43.04
198	176.54	43.14
199	177.02	43.6
200	177.5	43.86
201	177.98	44.08
202	179.16	44.9
203	179.88	45.44
204	180.18	45.62
205	180.38	45.74
206	181.22	46.44
207	182.12	47.14
208	186.4	49.76
209	188.74	51.14
210	190.06	52.02
211	190.72	52.36
212	191.68	53.14
213	194.18	54.44
214	195.84	55.26
215	198.04	56.66
216	199.82	57.78
217	201.14	58.64
218	202.66	59.42
219	203.92	60.14
220	204.84	60.6
221	204.94	60.64
222	205.0	60.68
223	205.54	61.14
224	205.88	61.28
225	206.68	61.64
226	207.26	61.64
227	208.7	61.92
228	209.34	61.98
229	210.3	62.14
230	210.56	62.14
231	210.9	62.18
232	214.04	62.22
233	214.32	62.24
234	215.5	62.28
235	216.48	62.46
236	217.46	62.64
237	218.02	62.9

238	220.44	64.94
239	220.84	65.82
240	221.42	65.6
241	222.64	66.26
242	227.88	70.14
243	228.22	71.08
244	228.74	72.9
245	228.78	72.94
246	230.22	71.14
247	230.26	72.04
248	230.66	71.2
249	231.88	71.64
250	233.86	73.2
251	233.94	73.24
252	235.5	74.56
253	235.62	74.66
254	238.28	74.74
255	240.28	74.78
256	242.08	74.82
257	244.24	75.84
258	245.34	76.4
259	246.56	76.86
260	250.7	80.58
261	252.02	81.56
262	258.98	85.08
263	262.36	86.86
264	264.68	88.36
265	266.65	89.68
266	266.96	89.86

Coefficienti parziali azioni

==========

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

==========

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

==========

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	

			(°)				
1	0	0	30	19	21	Riporto	
2	203.6	0	25.2	26	26	Calcari	

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	57.73911
2	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	49.49067
3	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	41.24222
4	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	32.99378
5	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	24.74533
6	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	16.49689
7	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	8.248446

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	57.73911
2	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	49.49067
3	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	41.24222
4	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	32.99378
5	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	24.74533
6	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	16.49689
7	Xgrid PET PVC 1000/30 IT	588.82	8.248446

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	98.97	42.48	108.97	42.51311	0

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato 1.17
Ascissa centro superficie 8.14 m
Ordinata centro superficie 10.91 m
Raggio superficie 10.92 m

==========
===

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 8.135 yc = 10.911 Rc = 10.92 Fs=1.173

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.91	-7.9	0.92	25.27	0.54	0.27	0.0	30.0	0.0	27.4	13.5
2	0.2	-4.9	0.2	11.02	0.24	0.12	0.0	30.0	0.0	11.5	5.7
3	2.42	2.0	2.42	134.4	2.88	1.44	0.0	30.0	0.0	132.2	65.1
4	1.0	11.0	1.02	81.86	1.75	0.88	0.0	30.0	0.0	76.1	37.4
5	0.12	14.0	0.12	12.91	0.28	0.14	0.0	30.0	0.0	11.9	5.8
6	0.62	16.0	0.65	67.2	1.44	0.72	0.0	30.0	0.0	61.3	30.1
7	1.2	21.1	1.29	134.06	2.87	1.43	0.0	30.0	0.0	120.8	59.4
8	1.9	30.2	2.19	211.51	4.53	2.26	0.0	30.0	0.0	190.3	93.6
9	1.62	41.7	2.18	165.81	3.55	1.77	0.0	30.0	0.0	154.4	76.0
10	2.74	64.2	6.28	180.06	3.85	1.93	0.0	30.0	0.0	204.9	100.8

Tiro geogriglie

Nr. conci	Tiro (kN)
1	--
2	--
3	--
4	--
5	--
6	--
7	--
8	--
9	--
10	--

Nr	x;y	xc,yc,rc	Fattore di sicurezza	Risultati verifiche interne	ID Sup
1	0/0	0/0/0	0	Compound	
2	0/0	0/0/0	0	Compound	
3	0/0	0/0/0	0	Compound	
4	0/0	0/0/0	0	Compound	
5	0/0	0/0/0	0	Compound	
6	0/0	0/0/0	0	Compound	
7	0/0	0/0/0	0	Compound	
8	0/0	0/0/0	0	Compound	
9	0/0	0/0/0	0	Compound	
10	0/0	0/0/0	0	Compound	
11	5.88/-0.67	0/0/0	0	Tieback	

12	6.06/-0.17	0/0/0	0	Tieback	
13	6.24/0.33	0/0/0	0	Tieback	
14	6.43/0.83	0/0/0	0	Tieback	
15	6.61/1.33	0/0/0	0	Tieback	
16	6.79/1.83	0/0/0	0	Tieback	
17	9.56/2.41	0/0/0	0	Tieback	
18	9.74/2.91	0/0/0	0	Tieback	
19	9.92/3.41	0/0/0	0	Tieback	
20	10.1/3.91	0/0/0	0	Tieback	
21	10.28/4.41	0/0/0	0	Tieback	
22	10.46/4.91	0/0/0	0	Tieback	