

◆◆◆
Direzione Azioni Integrate
con gli Enti Locali



Comune di Rivarolo C.se

**PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI -
STRALCIO TORRENTE ORCO NEL TRATTO TRA CUORGNE'
E CHIVASSO - PRIMO PROGRAMMA OPERATIVO -
2° LOTTO - 1° STRALCIO
COMUNE DI RIVAROLO**

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTO REDATTO dalla
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

**Direzione Azioni Integrate con gli EE.LL.
Unità Specializzata Tutela del Territorio**

REV.	DESCRIZIONE-CONTENUTO	DATA	REDATTO	VERIFICATO
0	1° emissione	aprile 2022	GD	GaP

IL COORDINATORE DEL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

☒ Ing. Giovanni PONCHIA
Città Metropolitana di Torino

CONSULENZA SPECIALISTICA

☒ POLITECNICO DI TORINO
DIATI - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente,
del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24
10129 Torino



**POLITECNICO
DI TORINO**

visto: IL DIRIGENTE DELLA DIREZIONE

☒ Ing. Massimo VETTORETTI
Città Metropolitana di Torino

CODICE ID. COMMESSA:

1819A

CODICE ELABORATO:

1819A_E_A_04_2_1_1

REDATTO DA:

☒ Dott. Geol. Gabriella DE RENZO
Città Metropolitana di Torino

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

☒ Dott. Geol. Gabriele PAPA
Città Metropolitana di Torino

SCALA:

--

OGGETTO:

**VERIFICHE DI STABILITA' DELLE DIFESE
SPONDALI AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018**

TAVOLA N°:

A.04.1

**VERIFICHE DI STABILITA' DELLA DIFESA
SPONDALE AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018:
VERIFICHE ALLA STABILITA' GLOBALE DEL
COMPLESSO OPERA DI SOSTEGNO –
TERRENO, AL COLLASSO PER CARICO
LIMITE DEL COMPLESSO FONDAZIONE –
TERRENO, AL COLLASSO PER
SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA, AL
RIBALTAMENTO**

**COMUNE DI RIVAROLO: LOTTO 2 STRALCIO
1**

INDICE

RIFERIMENTI NORMATIVI	pg.	3
VERIFICHE DI SICUREZZA (SLU)		3
MODELLO GEOTECNICO		5
MATERIALI UTILIZZATI NELLA STRUTTURA		5
AZIONE SISMICA PER LE OPERE DI SOSTEGNO		6
SPINTE DELLE TERRE		7
VERIFICHE DI STABILITA': CENNI TEORICI		10
CALCOLI: VERIFICHE IN CONDIZIONI STATICHE		18
CALCOLI: VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE		27

RIFERIMENTI NORMATIVI

Le fasi di analisi e verifica delle strutture sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziate nel prosieguo della presente relazione:

NTC 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» - **D.M. 17 gennaio 2018.**

D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.) "Norme tecniche per le Costruzioni".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.) "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica” - ENV 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

In particolare si tratta della verifica di una opera di difesa spondale (scogliera in massi ciclopici) ubicata in sponda destra del T. Orco (Comune di Chivasso), che si può approssimare ad un muro di sostegno a gravità.

VERIFICHE DI SICUREZZA (SLU)

La condizione di verifica è espressa attraverso la seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore di resistenza del sistema geotecnico.

SLU di tipo geotecnico (GEO)

Nel caso dei muri di sostegno le verifiche previste dalle NTC 2018 sono:

- Collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno
- Collasso per scorrimento sul piano di posa
- Ribaltamento
- Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno

Le dimensioni della scogliera sono riportate nella figura seguente, tratta dalla tavola B.11 (SEZIONI TIPO) del progetto esecutivo.

Nel caso della verifica del tratto di scogliera in sponda destra del T. Orco, che verrà ripristinato per un tratto di circa 36 m in quanto collassata, nel Comune di Rivarolo C.se, non sono state eseguite prove geotecniche specifiche. Pertanto, per l'attribuzione dei parametri geotecnici, si è tenuto conto:

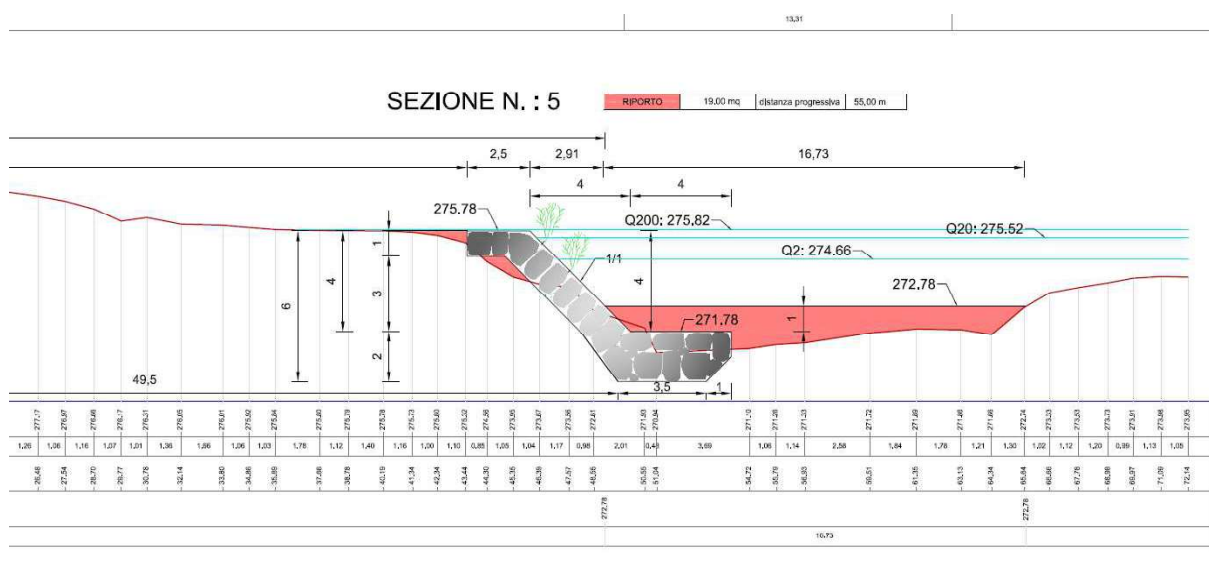
- dei parametri geotecnici utilizzati in sponda sinistra, praticamente di fronte, dove invece si aveva a disposizione l'esito di una indagine geofisica;
- dei parametri geotecnici utilizzati in letteratura per terreni simili a quelli interessati dal rifacimento del breve tratto di scogliera collassata;
- dei parametri geotecnici suggeriti nello studio geologico a supporto del PRGC vigente del Comune di Rivarolo: Vigna, Canepa – carta della caratterizzazione litotecnica dei terreni – elab. G.15.

E' stato inoltre eseguito un rilievo tecnico da parte della Scrivente, che ha evidenziato la presenza di una alta scarpata di terrazzo costituita, nella porzione di interesse, da ciottoli immersi in matrice sabbioso – limosa, terreni incoerenti o con basso grado di coesione.

A questi terreni si possono attribuire i seguenti parametri geotecnici:

- angolo di resistenza al taglio di picco = 38° ;
- coesione = 0;
- peso dell'unità di volume secco = 19 KN/m^3 ;
- peso dell'unità di volume saturo = 21 KN/m^3 .

La sezione oggetto di verifica é la sezione n. 5 rappresentata nella Tav. B07 del progetto esecutivo, che alla sommità della terminazione di testa della scogliera si raccorda con la parte più acclive della scarpata di terrazzo per mezzo di un falsopiano largo almeno 10 – 12 m. Si veda la figura successiva.



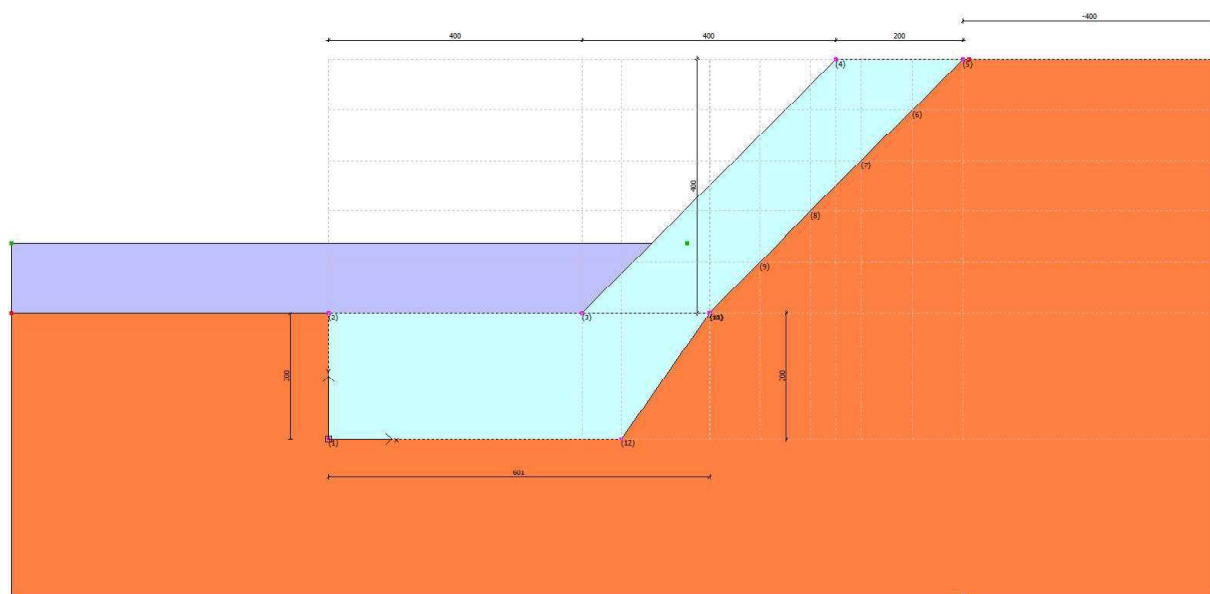
Per le verifiche di seguito si riportano input (geometrie, carichi agenti) ed output (sintesi delle verifiche condotte).

MODELLO GEOTECNICO

Il modello, per la spiegazione e lettura del quale si rimanda alla relazione geologica e geotecnica (tav. A04 del progetto esecutivo), é il seguente:

Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	850	0	21,00	38	0,00	25	Si		ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa



MATERIALI UTILIZZATI NELLA STRUTTURA

Come detto sopra, si tratta di una scogliera in massi ciclopici caratterizzati dai seguenti dati di resistenza, dedotti dalla letteratura geotecnica.

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Peso specifico muro	23 KN/m³
Resistenza a compressione di calcolo	30 N/mm²
Resistenza a trazione di calcolo	0 N/mm²

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

AZIONE SISMICA PER LE OPERE DI SOSTEGNO

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{\max}) attesa in superficie il cui valore può essere ricavato dalla relazione:

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

dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido.

L'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche è eseguita mediante i metodi pseudostatici. L'analisi pseudostatica è condotta mediante i metodi dell'equilibrio limite. L'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità ed opportuni coefficienti sismici. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

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

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

a_{\max}	accelerazione massima al sito
g	accelerazione di gravità
β_m	coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Tab. 7.11-II delle NTC)

Dati generali

Comune di	RIVAROLO C.SE
Data	21/04/2022 17:35:04
Condizioni ambientali	Ordinarie
Normativa GEO	NTC 2018

Dati generali muro

Altezza muro	400,0 cm
Spessore testa muro	200,0 cm
Risega muro lato valle	400,0 cm
Risega muro lato monte	-400,0 cm
Sporgenza mensola a valle	400,0 cm
Sporgenza mensola a monte	1,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	200,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	200,0 cm

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

SPINTE DELLE TERRE**CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON 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

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

Avendo indicato con:

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

Valori limite di K_a :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ angolo di attrito terra-muro;

ε inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

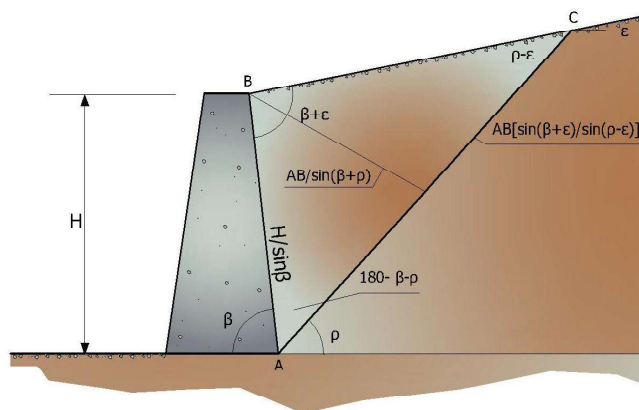
H altezza della parete.

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it



Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

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 ϵ di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità ϑ tale che:

$$\tan \vartheta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE

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

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove:

H= altezza muro;

k_v = coefficiente sismico verticale;

γ = peso per unità di volume del terreno;

K= coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);

E_{ws} = spinta idrostatica dell'acqua;

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

E_{wd} = spinta idrodinamica.

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

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

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:

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

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturato}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

CALCOLO DELLE SPINTE PER LE VERIFICHE

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in n -tratti.

CONVENZIONI SUI 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.

VERIFICHE DI STABILITA': CENNI TEORICI

COLLASSO PER CARICO LIMITE DEL COMPLESSO FONDAZIONI SUPERFICIALI - TERRENO

HANSEN- ANALISI A LUNGO TERMINE

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

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

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

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \quad \text{per fondazione nastriforme}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^3$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^3$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

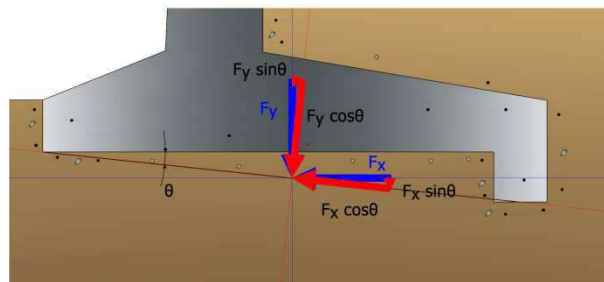
$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi) \cdot K$$

$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

COLLASSO PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

Nel caso in cui il piano di scorrimento della fondazione sia inclinato di un certo angolo θ , le risultanti delle azioni F_x ed F_y dovranno essere riferiti a tale piano.



Verifica alla traslazione orizzontale, azioni di progetto

L'azione di progetto è data da:

$$E_d = F_x \cdot \cos \theta - F_y \cdot \sin \theta$$

La forza normale al piano di scorrimento è:

$$P = F_x \cdot \sin \theta + F_y \cdot \cos \theta$$

La resistenza di progetto si determina dalla relazione:

$$R_d = \frac{c_a \cdot B + P \cdot \tan \delta - S_p}{\gamma_r}$$

Dove:

c_a = adesione;

B= larghezza della fondazione;

$\tan\delta$ = coefficiente d'attrito;

γ_r = coefficiente parziale sulle resistenze;

S_p = contributo della spinta passiva.

Se $\theta = 0$ si ha che $P = F_y$ e $E_d = F_x$

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

L'azione di progetto E_d è definita dal momento che tende a far ribaltare il muro, ovvero da tutte le forze responsabili di tale meccanismo, la resistenza R_d coincide con il momento stabilizzante, ovvero dalle forze che tendono a stabilizzare il muro.

Le azioni totali che intervengono nel calcolo sono riportate in tabella, dove $\Sigma M = E_d - R_d$

Azioni	F_x	F_y	Braccio		M
Spinta terreno*	S_{Tx}	S_{Ty}	d_{1x}	d_{1y}	ΔM
Peso muro	W_s	W_s	d_{2x}	d_{2y}	ΔM
Peso fondazione	W_f	W_f	d_{3x}	d_{3y}	ΔM
Sovraccarico	W_{bf}	W_{bf}	d_{4x}	d_{4y}	ΔM
Terreno fondazione	S_{px}	S_{py}	d_{5x}	d_{5y}	ΔM
Spinte fondazione***	S_{px}	S_{py}	d_{6x}	d_{6y}	ΔM
Totale	ΣF_x	ΣF_y			ΣM

* si tiene conto del contributo del sisma, del sovraccarico, dell'eventuale presenza della falda...

** oltre alla spinta passiva si considera il contributo della sottospinta per l'eventuale presenza di falda.

La condizione di verifica viene espressa dalla relazione:

$$\frac{E_d}{R_d} = \frac{\text{Momento ribaltante}}{\text{Momento stabilizzante}} \leq 1$$

STABILITÀ GLOBALE DEL COMPLESSO OPERA DI SOSTEGNO-TERRENO

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (j), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

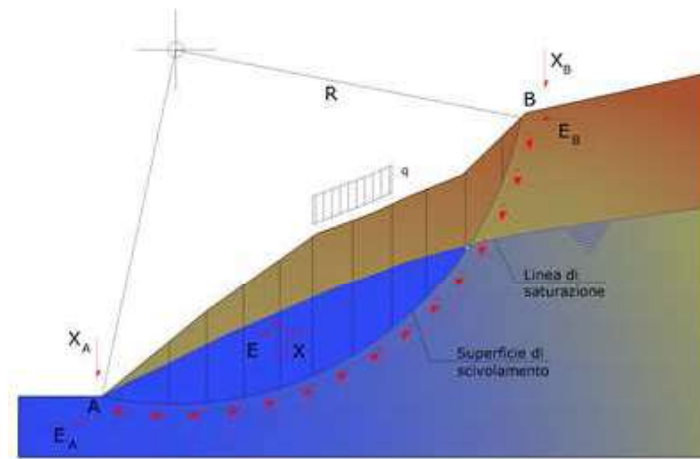
Metodo equilibrio limite (LEM)

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:

$$F = t_f / t$$

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 concio

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concio. Se il numero dei concio 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 concio;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concio;
- 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.

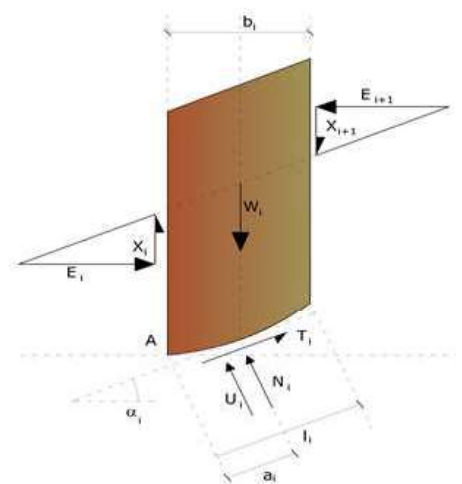
Sono stati utilizzati tre metodi noti in letteratura geotecnica: Bishop, Janbu, Sarma.

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:

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

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



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 %.

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.

Nel caso in esame sono stati utilizzati due distinti software della GEOSTRU:

1. MDC per le verifiche alla traslazione sul piano di posa della fondazione, al ribaltamento e al collasso per carico limite del complesso fondazione – terreno;
2. SLOPE per la verifica della stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno.

Inoltre sono stati considerati:

- una falda freatica prossima al piano campagna (condizione estremamente cautelativa, nel caso in esame);
- un'opera di sostegno assimilata ad un muro a gravità con le proprie caratteristiche (peso specifico, resistenza a

compressione);

- la combinazione A1 + M1 + R3 per gli stati limite ultimi di tipo GEO (geotecnica) nel caso delle verifiche alla traslazione sul piano di posa della fondazione, al ribaltamento e al collasso per carico limite del complesso fondazione – terreno, la combinazione A2 + M2 + R2 per la verifica della stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno, in linea con gli articoli 6.5.3.1.1 e 7.11.6 del D.M. 17/1/2018 – condizioni statiche e condizioni sismiche.

Non é stata considerata la possibilità di liquefazione dei sedimenti a seguito di un sisma in quanto le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero sono inferiori a 0,1 .

CALCOLI: VERIFICHE IN CONDIZIONI STATICHE

Dati generali

Comune di	RIVAROLO C.SE
Data	21/04/2022 17:35:04
Condizioni ambientali	Ordinarie
Normativa GEO	NTC 2018
Spinta	Mononobe & Okabe [M.O.
1929]	

Dati generali muro

Altezza muro	400,0 cm
Spessore testa muro	200,0 cm
Risega muro lato valle	400,0 cm
Risega muro lato monte	-400,0 cm
Sporgenza mensola a valle	400,0 cm
Sporgenza mensola a monte	1,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	200,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	200,0 cm

FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Peso terreno mensola	1,30
4	Spinta falda	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
	Ribaltamento	1,15

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

A1+M1+R3 [GEO]

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (kN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
600,0	520,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
520,0	440,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
440,0	360,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
360,0	280,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
280,0	200,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda

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.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	600,0	520,0	2,36	-2,27	546,67	546,67
2	520,0	440,0	7,08	-6,81	475,56	475,56

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

3	440,0	360,0	11,81	-11,35	397,33	397,33
4	360,0	280,0	16,53	-15,9	318,1	318,1
5	280,0	200,0	21,25	-20,44	238,52	238,52

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
520,0	0,0	36,79	860,0	560,0
440,0	0,0	73,59	820,0	520,0
360,0	0,0	110,38	780,0	480,0
280,0	0,0	147,18	740,0	440,0
200,0	0,0	183,97	700,0	400,0

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	2,36	34,52	-11,21	200,0
440,0	9,45	64,51	-41,72	200,0
360,0	21,25	89,95	-87,75	200,0
280,0	37,78	110,84	-145,53	200,0
200,0	59,04	127,2	-211,27	200,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (601,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (601,0/600,0)
Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato (cm);
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
600,0	520,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
520,0	440,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
440,0	360,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
360,0	280,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
280,0	200,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	315,0	Falda
200,0	0,0	21,0	0,0	32,01	25,0	0,0	0,0	Falda

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.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
340,0	0,03	0,0	0,0	0,03	-0,01	0,0	0,0
25,0	0,27	0,0	0,0	0,25	0,12	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	600,0	520,0	2,36	-2,27	546,67	546,67
2	520,0	440,0	7,08	-6,81	475,56	475,56
3	440,0	360,0	11,81	-11,35	397,33	397,33
4	360,0	280,0	16,53	-15,9	318,1	318,1
5	280,0	200,0	21,25	-20,44	238,52	238,52
6	200,0	0,0	108,87	0,0	91,78	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
200,0	0,0	21,0	180,0	32,01	25,0	0,0	180,0	Falda

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)
 Qf Quota finale strato (cm)
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	200,0	0,0	-19,61	0,0	66,67	66,67

Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	167,9	-56,77	637,9
Peso muro	0,0	183,97	-1287,81
Peso fondazione	0,0	244,25	-652,38
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	38,19	-211,74
Spinte fondazione	-19,61	0,0	-13,08
	148,29	409,64	-1527,11

Momento stabilizzante -2151,93 kNm
 Momento ribaltante 624,82 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	167,9 kN
Sommatoria forze verticali	409,64 kN
Coefficiente di attrito	0,63
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	409,64 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	167,9 kN
Resistenza terreno	275,65 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,49
Traslazione verificata Csd>1.1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-2151,93 kNm
Momento ribaltante	624,82 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}	2,99
Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1.15$	

Carico limite verticale HANSEN

Somma forze in direzione x (F_x)	148,29 kN
Somma forze in direzione y (F_y)	409,64 kN
Somma momenti	-1527,11 kNm
Larghezza fondazione	461,13 cm
Lunghezza	5000,0 cm
Eccentricità su B	142,23 cm
Peso unità di volume	21,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	38 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	310,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	17,0 kN/m ³
N_q	23,19
N_c	35,51
N_g	20,81
Fattori di forma	
s_q	1,02
s_c	1,02
s_g	0,99
Inclinazione carichi	
i_q	0,37
i_c	0,34
i_g	0,23
Fattori di profondità	
d_q	1,29
d_c	1,42
d_g	1,0
Carico limite verticale (Q_{lim})	1129,5 kN
Fattore sicurezza ($C_{sq} = Q_{lim}/F_y$)	1,97

Carico limite verificato $C_{sq} > 1.4$

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	372,79 cm
Larghezza della fondazione	461,13 cm
$x = 196.12$ cm	0.00 kPa
$x = 461.13$ cm	309.15 kPa

Verifica sezione attacco fondazione

Larghezza sezione	200,00 cm
-------------------	-----------

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1
Analisi	Condizione
drenata	
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6.29	m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	11.5	m
Ascissa vertice destro superiore xs	11.71	m
Ordinata vertice destro superiore ys	16.93	m
Passo di ricerca	10.0	
Numero di celle lungo x	10.0	
Numero di celle lungo y	10.0	

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	7.0
2	5.0	7.0
3	9.0	7.0
4	15.0	11.0
5	15.0	11.0
6	19.0	11.0
7	19.0	11.0
8	25.0	11.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	7.0
2	5.0	7.0
3	9.0	7.0
4	15.0	11.0
5	15.0	11.0
6	19.0	11.0
7	19.0	11.0
8	19.0	11.0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 0.0

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Favorevoli: Permanenti, variabili

1.0 0.0

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm2)	Coesione non drenata (kg/cm2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m3)	Peso saturo (Kg/m3)	Litologia	
1	0		38	1900.000	2100.000	ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.2	
Ascissa centro superficie	7.64	m
Ordinata centro superficie	16.66	m
Raggio superficie	11.99	m

xc = 7.643 yc = 16.657 Rc = 11.989 Fs=1.20

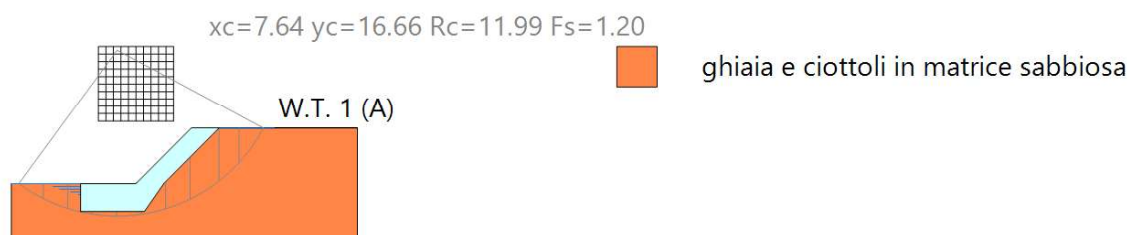
Nr. N'i (Kg)	B Ti m (Kg)	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm2)	Fi (°)	Ui (Kg)
1	1.77	-31.4	2.1	2196.18	0.0	0.0	0.0	32.0 1045.8 1895.3	897.7
2	1.77	-21.9	1.9	5472.04	0.0	0.0	0.0	32.0 2605.7 3814.2	1806.5
3	1.77	-13.0	1.8	7525.19	0.0	0.0	0.0	32.0 3583.4 4541.1	2150.8
4	1.77	-4.4	1.8	8525.69	0.0	0.0	0.0	32.0 4059.9 4648.7	2201.7
5	1.77	4.1	1.8	8544.76	0.0	0.0	0.0	32.0 4068.9 4340.8	2055.9
6	1.77	12.6	1.8	10698.5	0.0	0.0	0.0	32.0 5086.3 5199.3	2462.5
7	1.77	21.5	1.9	13063.79	0.0	0.0	0.0	32.0 6215.5 6203.1	2937.9
8	2.09	32.0	2.5	16843.53	0.0	0.0	0.0	32.0 8017.9 8029.7	3803.1
9	1.45	42.5	2.0	9717.48	0.0	0.0	0.0	32.0 4627.4 4815.7	2280.8
10	1.77	54.5	3.0	5223.79	0.0	0.0	0.0	32.0 2487.5 2833.0	1341.8

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it



Viene indicata la sola superficie con fattore di sicurezza minimo

CALCOLI: VERIFICHE IN CONDIZIONI SISMICHE

Dati generali

Comune di	CHIVASSO
Data	21/04/2022 17:35:04
Condizioni ambientali	Ordinarie
Normativa GEO	NTC 2018
Spinta	Mononobe & Okabe [M.O.
1929]	

Dati generali muro

Altezza muro	400,0	cm
Spessore testa muro	200,0	cm
Risega muro lato valle	400,0	cm
Risega muro lato monte	-400,0	cm
Sporgenza mensola a valle	400,0	cm
Sporgenza mensola a monte	1,0	cm
Svaso mensola a valle	0,0	cm
Altezza estremità mensola a valle	200,0	cm
Altezza estremità mensola a monte	200,0	cm

A1+M1+R3 [GEO]

FATTORI DI COMBINAZIONE

SISMA

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

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1.2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1.2
	Ribaltamento	1

SISMA (GEO)

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0246
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0123

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
600,0	520,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
520,0	440,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
440,0	360,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
360,0	280,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
280,0	200,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda

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.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
----	----	-----	-----	--------	--------

1	600,0	520,0	2,28	-2,24	546,67	546,67
2	520,0	440,0	6,83	-6,72	475,56	475,56
3	440,0	360,0	11,38	-11,2	397,33	397,33
4	360,0	280,0	15,94	-15,68	318,1	318,1
5	280,0	200,0	20,49	-20,16	238,52	238,52

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
520,0	0,91	36,79	860,0	560,0
440,0	1,81	73,59	820,0	520,0
360,0	2,72	110,38	780,0	480,0
280,0	3,62	147,18	740,0	440,0
200,0	4,53	183,97	700,0	400,0

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
520,0	3,18	34,55	-10,91	200,0
440,0	10,92	64,63	-40,62	200,0
360,0	23,2	90,22	-85,48	200,0
280,0	40,04	111,34	-141,86	200,0
200,0	61,44	127,97	-206,11	200,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (601,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (601,0/600,0)
Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato (cm);
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
600,0	520,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
520,0	440,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
440,0	360,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
360,0	280,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
280,0	200,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	315,0	Falda
200,0	0,0	21,0	0,0	38,0	25,0	0,0	0,0	Falda

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.
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
340,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0
25,0	0,22	0,24	0,03	0,2	0,09	0,03	0,01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)
Qf Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	600,0	520,0	2,28	-2,24	546,67	546,67
2	520,0	440,0	6,83	-6,72	475,56	475,56
3	440,0	360,0	11,38	-11,2	397,33	397,33
4	360,0	280,0	15,94	-15,68	318,1	318,1
5	280,0	200,0	20,49	-20,16	238,52	238,52
6	200,0	0,0	104,48	0,0	92,16	0,0

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato (cm);
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
200,0	0,0	21,0	180,0	38,0	25,0	0,0	180,0	Falda

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	200,0	0,0	-19,61	0,0	66,67	66,67

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	161,39	-56,0	622,54
Peso muro	4,53	183,97	-1269,71
Peso fondazione	6,01	244,25	-646,11
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,72	29,38	-162,4
Spinte fondazione	-19,61	0,0	-13,08
	153,04	401,6	-1468,75

Momento stabilizzante	-2103,07 kNm
Momento ribaltante	634,32 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	172,65 kN
Sommatoria forze verticali	401,6 kN
Coefficiente di attrito	0,78
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	401,6 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	172,65 kN
Resistenza terreno	333,38 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,93

Traslazione verificata $C_{sd} > 1$ **Verifica al ribaltamento**

Momento stabilizzante	-2103,07 kNm
Momento ribaltante	634,32 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}	3,32
Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1$	

Carico limite verticale HANSEN

Somma forze in direzione x (F_x)	153,04 kN
Somma forze in direzione y (F_y)	401,6 kN
Somma momenti	-1468,75 kNm
Larghezza fondazione	461,13 cm
Lunghezza	5000,0 cm
Eccentricità su B	135,16 cm
Peso unità di volume	21,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	310,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	17,0 kN/m ³
N_q	48,93
N_c	61,35
N_g	56,17
Fattori di forma	
s_q	1,02
s_c	1,03
s_g	0,98
Inclinazione carichi	
i_q	0,35
i_c	0,33
i_g	0,21
Fattori di profondità	
d_q	1,24
d_c	1,41
d_g	1,0
Carico limite verticale (Q_{lim})	2400,92 kN
Fattore sicurezza ($C_{sq} = Q_{lim}/F_y$)	4,98

Carico limite verificato $C_{sq} > 1.2$ **Tensioni sul terreno**

Ascissa centro sollecitazione	365,72 cm	
Larghezza della fondazione	461,13 cm	
$x = 174.91$ cm	0.00	kPa
$x = 461.13$ cm	280.62 kPa	

Verifica sezione attacco fondazione

Larghezza sezione	200,00 cm
-------------------	-----------

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Lat./Long.	#####0.0#
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.2
Analisi drenata	Condizione
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6.29	m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	11.5	m
Ascissa vertice destro superiore xs	11.71	m
Ordinata vertice destro superiore ys	16.93	m
Passo di ricerca	10.0	
Numero di celle lungo x	10.0	
Numero di celle lungo y	10.0	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	100.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60.0	0.255	2.618	0.195
S.L.D.	101.0	0.304	2.657	0.217
S.L.V.	949.0	0.53	2.749	0.296
S.L.C.	1950.0	0.618	2.828	0.304

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe IV
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
----------------------	-----------------------------	-------------	-----------	-------------

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

S.L.O.	0.306	1.0	0.0312	0.0156
S.L.D.	0.3648	0.47	0.0175	0.0087
S.L.V.	0.636	0.38	0.0246	0.0123
S.L.C.	0.7416	1.0	0.0756	0.0378

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0246
Coefficiente azione sismica verticale 0.0123

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	7.0
2	5.0	7.0
3	9.0	7.0
4	15.0	11.0
5	15.0	11.0
6	19.0	11.0
7	19.0	11.0
8	25.0	11.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	7.0
2	5.0	7.0
3	9.0	7.0
4	15.0	11.0
5	15.0	11.0
6	19.0	11.0
7	19.0	11.0
8	19.0	11.0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 0.0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 0.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.0
Coesione efficace 1.0
Coesione non drenata 1.0
Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm2)	Coesione non drenata (kg/cm2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m3)	Peso saturo (Kg/m3)	Litologia	
--------	----------------------	-------------------------------------	--	------------------------------------	------------------------	-----------	--

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it

1	0		38	1900.000	2100.000	ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	
---	---	--	----	----------	----------	--	--

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2 (Sisma)]

Fs minimo individuato	1.26	
Ascissa centro superficie	7.64	m
Ordinata centro superficie	16.66	m
Raggio superficie	11.99	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.

$$x_c = 7.643 \quad y_c = 16.657 \quad R_c = 11.989 \quad F_s = 1.262$$

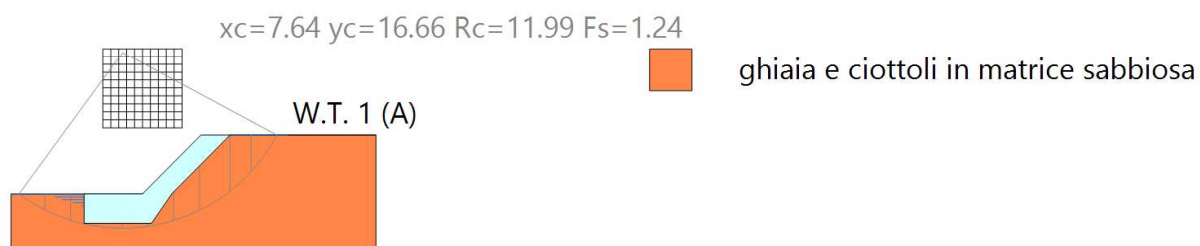
Nr. N'i (Kg)	B Ti m (Kg)	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm2)	Fi (°)	Ui (Kg)
1	1.77	-31.4	2.1 2239.48	55.09	27.55	0.0	38.0 1045.8	2040.5	1052.4
2	1.77	-21.9	1.9 5579.93	137.27	68.63	0.0	38.0 2605.7	4042.3	2085.0
3	1.77	-13.0	1.8 7673.56	188.77	94.38	0.0	38.0 3583.4	4764.1	2457.2
4	1.77	-4.4	1.8 8693.78	213.87	106.93	0.0	38.0 4059.9	4840.0	2496.4
5	1.77	4.1	1.8 8713.23	214.35	107.17	0.0	38.0 4068.9	4491.1	2316.5
6	1.77	12.6	1.8 10911.3	268.42	134.21	0.0	38.0 5086.3	5350.7	2759.8
7	1.77	21.5	1.9 13322.57	327.74	163.87	0.0	38.0 6215.5	6348.5	3274.5
8	2.09	32.0	2.5 17176.26	422.54	211.27	0.0	38.0 8017.9	8166.6	4212.2
9	1.45	42.5	2.0 9909.07	243.76	121.88	0.0	38.0 4627.4	4865.8	2509.7
10	1.77	54.5	3.0 5326.78	131.04	65.52	0.0	38.0 2487.5	2838.7	1464.1

DIREZIONE AZIONI INTEGRATE EE.LL. - UNITA' SPECIALIZZATA TUTELA DEL TERRITORIO

Corso Inghilterra, 7 – 10138 Torino Tel. 011 861 6960 - Fax 011 861 4271 mail:

azioni.integrate@cittametropolitana.torino.it

www.cittametropolitana.torino.it



Viene indicata la sola superficie con fattore di sicurezza minimo