

Regione Piemonte

PROVINCIA DI TORINO



COMUNE DI SAN GIORIO DI SUSÀ

**INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E RIPRISTINO  
DELLA FUNZIONALITA' DI TRATTI DI MURI DI SOTTO  
SCARPA INTERNI ALLE FRAZIONI CITTA' E MALPASSO  
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**

il progettista

ing. Roberto Truffa Giachet

il responsabile del servizio

ing. Massimo Biroglio



allegato

**B**

oggetto

RELAZIONE DI CALCOLO

rif. 171210

1	13/09/2017	PRIMA EMISSIONE	4		
2			5		
3			6		
EMISSIONE		NOTE	EMISSIONE		NOTE

data Settembre'17



Progetto: Muro Citta  
Ditta:  
Comune: Comune di San Giorio di Susa  
Progettista: ing. Roberto Truffa Giachet  
Direttore dei Lavori: ing. Roberto Truffa Giachet  
Impresa:

## Normative 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
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complessa fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.

Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari.

### Metodo di Mononobe-Okabe

Il metodo di Mononobe-Okabe adotta le stesse ipotesi della teoria di Coulomb : un cuneo di spinta a monte del muro che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Mette in conto inoltre l'inerzia sismica del cuneo in direzione orizzontale e verticale . Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno in condizioni sismiche. Viene messo in conto, come nella teoria di Coulomb, l'esistenza dell' attrito fra il terreno e il paramento del muro, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale al paramento stesso di un angolo di attrito terra-muro.

L'espressione della spinta totale (statica più sismica) esercitata da un terrapieno, di peso di volume  $\gamma$ , su una parete di altezza  $H$ , risulta espressa secondo la teoria di Mononobe-Okabe dalla seguente relazione

$$S = 1/2(1 \pm k_v)\gamma H^2 K_a$$

$K_a$  rappresenta il coefficiente di spinta attiva espresso da

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi - \theta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[ 1 + \frac{\sqrt{[\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta - \theta)]}}{\sqrt{[\sin(\alpha - \delta - \theta)\sin(\alpha + \beta)]}} \right]^2}$$

L'angolo  $\theta$  è legato al coefficiente sismico dalla seguente espressione

$$\tan(\theta) = k_h / (1 \pm k_v)$$

dove  $k_h$  e  $k_v$  rappresentano in coefficiente di intensità sismica orizzontale e verticale.

Nel caso in cui il terrapieno sia gravato di un sovraccarico uniforme  $Q$  l'espressione della pressione e della spinta diventano

$$\sigma_a = (\gamma z + Q)K_a$$

$$S = (1/2\gamma H^2 + QH)K_a$$

Al carico  $Q$  corrisponde un diagramma delle pressioni rettangolare con risultante applicata a  $1/2H$ .

Nel caso di terreno dotato di coesione  $c$  l'espressione della pressione esercitata sulla parete, alla generica profondità  $z$ , diventa

$$\sigma_a = \gamma z K_a - 2c(K_a)^{1/2}$$

Al diagramma triangolare, espresso dal termine  $\gamma z K_a$ , si sottrae il diagramma rettangolare legato al termine con la coesione. La pressione  $\sigma_a$  risulta negativa per valori di  $z$  minori di

$$h_c = \frac{2c}{\gamma(K_a)^{1/2}}$$

La grandezza  $h_c$  è detta altezza critica e rappresenta la profondità di potenziale frattura del terreno. E' chiaro che se l'altezza della parete è inferiore ad  $h_c$  non abbiamo nessuna spinta sulla parete.

## Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte del muro sia presente la falda il diagramma delle pressioni sul muro risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{sat}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

## Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$  essendo  $k_h$  il coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di  $k_h$ .

In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente  $A$  si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di  $\theta$ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente  $A$  viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove  $W$  è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

## Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_r$ .

Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare  $\eta_r \geq 1.0$ .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo.  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

## Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_s$ .

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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

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

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione,  $\delta_f$ , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di  $\delta_f$  pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

## Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $\eta_q$ . Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_q \geq 1.0$ .  
Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

- $c$  coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- $B$  larghezza della fondazione;
- $D$  profondità del piano di posa;
- $q$  pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori  $d$  e  $i$  che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

#### Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

#### Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\phi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^\phi \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

## Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i^n \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \operatorname{tg} \phi_i \right)}{\sum_i^n W_i \sin \alpha_i}$$



dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{\text{esima}}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{\text{esima}}$  e  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre  $u_i$  ed  $l_i$  rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ( $l_i = b_i / \cos \alpha_i$ ).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in  $n$  strisce e dalla formula precedente si ricava  $\eta$ . Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

## Normativa

N.T.C. 2008

### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c'$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	0,90	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,10	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_c'$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		1,00	1,00

### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_c'$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		1,00	1,00

## FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

<i>Verifica</i>	<i>Coefficienti parziali</i>		
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40

---

Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

Coeff. di combinazione  $\Psi_0= 0,70$        $\Psi_1= 0,50$        $\Psi_2= 0,20$

## Geometria muro e fondazione

Descrizione	Muro a gravità in pietrame
Altezza del paramento	1,50 [m]
Spessore in sommità	0,60 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,05 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [°]
Inclinazione paramento interno	16,60 [°]
Lunghezza del muro	10,00 [m]
<u>Fondazione</u>	
Lunghezza mensola fondazione di valle	0,15 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	1,20 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	0,60 [m]
Spessore magrone	0,00 [m]

## Materiali utilizzati per la struttura

### Pietrame

Peso specifico	2200,0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione $\sigma_c$	50,0 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Angolo di attrito interno $\phi_p$	40,00 [°]
Resistenza a taglio $\tau_p$	0,0 [kg/cm <sup>2</sup> ]

## Geometria profilo terreno a monte del muro

### Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	4,00	0,00	0,00

## Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	10,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

## Descrizione terreni

### Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	$c_a$
Terreno 1	1800	2000	35.00	23.33	0,000	0,000
Terreno 2	1800	2000	35.00	23.33	0,000	0,000

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]

*Kw* Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm  
*Ks* Coefficiente di spinta  
*Terreno* Terreno dello strato

<b>Nr.</b>	<b>H</b>	<b>a</b>	<b>Kw</b>	<b>Ks</b>	<b>Terreno</b>
1	2,00	0,00	1,99	0,00	Terreno 1
2	3,00	0,00	1,99	0,00	Terreno 2

## Descrizione combinazioni di carico

### *Simbologia adottata*

$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

#### Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30

#### Combinazione n° 2 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 3 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 4 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 5 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10

#### Combinazione n° 6 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	0,90	1.00	0,90

#### Combinazione n° 7 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 8 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 9 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

#### Combinazione n° 10 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 11 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 14 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 15 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 16 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 17 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 18 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 19 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 20 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 21 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 22 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00



Combinazione n° 23 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 24 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 25 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 26 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 27 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 28 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 29 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 30 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 31 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 32 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 33 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 34 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 35 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 36 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 37 SLE (Quasi Permanente)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 38 SLE (Frequente)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 39 SLE (Rara)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1,00

Combinazione n° 40 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 41 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 42 SLE (Frequente) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 43 SLE (Frequente) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 44 SLE (Rara) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 45 SLE (Rara) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

## Impostazioni di analisi

### *Impostazioni avanzate*

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

## Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### Simbologia adottata

<b>C</b>	Identificativo della combinazione
<b>Tipo</b>	Tipo combinazione
<b>Sisma</b>	Combinazione sismica
<b>CS<sub>SCO</sub></b>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<b>CS<sub>RIB</sub></b>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<b>CS<sub>STAB</sub></b>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>SCO</sub></b>	<b>CS<sub>RIB</sub></b>	<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	<b>CS<sub>STAB</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2,07	--	7,68	--
2	A1-M1 - [1]	--	2,44	--	9,54	--
3	A2-M2 - [1]	--	1,60	--	3,30	--
4	A2-M2 - [1]	--	1,60	--	3,30	--
5	EQU - [1]	--	--	3,43	--	--
6	EQU - [1]	--	--	3,93	--	--
7	STAB - [1]	--	--	--	--	1,46
8	STAB - [1]	--	--	--	--	1,46
9	A1-M1 - [2]	--	2,07	--	7,68	--
10	A2-M2 - [2]	--	1,60	--	3,30	--
11	EQU - [2]	--	--	3,43	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	1,46
13	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,95	--	7,35	--
14	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,95	--	7,62	--
15	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,95	--	7,35	--
16	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,95	--	7,62	--
17	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,32	--	2,53	--
18	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,32	--	2,62	--
19	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,32	--	2,53	--
20	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,32	--	2,62	--
21	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,97	--	--
22	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,86	--	--
23	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,97	--	--
24	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,86	--	--
25	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,35
26	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,34
27	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,35
28	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,34
29	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,95	--	7,35	--
30	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1,95	--	7,62	--
31	A2-M2 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,32	--	2,53	--
32	A2-M2 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1,32	--	2,62	--
33	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,86	--	--
34	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,97	--	--
35	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,35
36	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,34
37	SLEQ - [1]	--	2,44	--	9,54	--
38	SLEF - [1]	--	2,44	--	9,54	--
39	SLER - [1]	--	2,44	--	9,54	--
40	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,27	--	8,84	--
41	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,27	--	8,95	--
42	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,27	--	8,84	--
43	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,27	--	8,95	--
44	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,27	--	8,84	--
45	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,27	--	8,95	--

## Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :  
 Origine in testa al muro (spigolo di monte)  
 Ascisse X (esprese in [m]) positive verso monte  
 Ordinate Y (esprese in [m]) positive verso l'alto  
 Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle  
 Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

### Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Mononobe-Okabe
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della stabilità globale	metodo di Fellenius
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

### Sisma

#### **Combinazioni SLU**

Accelerazione al suolo $a_g$	1.31 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 4.83$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 2.41$

#### **Combinazioni SLE**

Accelerazione al suolo $a_g$	0.51 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 1.40$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.70$

Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico
------------------------------------	--------------------------------

Partecipazione spinta passiva (percento)	50,0
Lunghezza del muro	10,00 [m]
Peso muro	4298,09 [kg]
Baricentro del muro	X=-0,17 Y=-1,18

### Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = 0,63	Y = -2,10
Punto superiore superficie di spinta	X = 0,00	Y = 0,00
Altezza della superficie di spinta	2,10 [m]	
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	16,60 [°]	

### COMBINAZIONE n° 17

Valore della spinta statica	1784,19	[kg]
Componente orizzontale della spinta statica	1450,07	[kg]
Componente verticale della spinta statica	1039,53	[kg]

Punto d'applicazione della spinta	X = 0,42	[m]	Y = -1,40	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	19,04	[°]		
Coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche	0,4495	[°]		

Incremento sismico della spinta	189,27	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,42	[m]	Y = -1,40	[m]
Coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche	0,4855	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	207,41	[kg]		
Inerzia verticale del muro	103,71	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1811,31	[kg]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	5551,60	[kg]		
Resistenza passiva a valle del muro	-471,70	[kg]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	5551,60	[kg]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1811,31	[kg]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,13	[m]		
Risultante in fondazione	5839,62	[kg]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,07	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	734,03	[kgm]		
Carico ultimo della fondazione	14022,98	[kg]		

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,20	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,7710	[kg/cm <sup>2</sup> ]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,1564	[kg/cm <sup>2</sup> ]		

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 28.42$	$N'_c = 21.26$
$N_q = 16.92$	$N'_q = 11.73$
$N_\gamma = 13.82$	$N'_\gamma = 2.19$

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.32
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.53

## Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

### Combinazione n° 17

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzamento normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
$\sigma_p$	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

Nr.	Y	H	N	M	T	e	$\sigma_p$	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	60,00	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,07	62,24	101	1	7	0,80	0,02	32	0	12,24	136,28
3	0,15	64,47	205	3	18	1,69	0,04	67	1	9,52	58,97
4	0,22	66,71	313	8	34	2,67	0,06	107	3	7,84	35,17
5	0,30	68,94	425	16	53	3,73	0,08	152	6	6,69	24,15
6	0,38	71,18	540	26	77	4,86	0,11	200	11	5,87	17,98
7	0,45	73,42	659	40	105	6,07	0,13	254	18	5,24	14,12
8	0,53	75,65	781	57	138	7,35	0,16	312	27	4,75	11,52
9	0,60	77,89	907	79	175	8,69	0,19	375	39	4,36	9,67
10	0,67	80,12	1036	105	216	10,09	0,23	443	53	4,03	8,30
11	0,75	82,36	1169	135	261	11,56	0,26	516	71	3,76	7,25
12	0,82	84,59	1306	171	311	13,08	0,30	595	93	3,53	6,42
13	0,90	86,83	1446	212	364	14,66	0,34	679	118	3,33	5,76
14	0,97	89,07	1590	259	422	16,29	0,38	768	147	3,16	5,21
15	1,05	91,30	1737	312	485	17,97	0,42	864	181	3,01	4,76
16	1,13	93,54	1888	372	551	19,70	0,47	965	220	2,87	4,38
17	1,20	95,77	2043	439	622	21,48	0,52	1073	264	2,75	4,06
18	1,27	98,01	2201	513	697	23,30	0,57	1186	314	2,65	3,78
19	1,35	100,25	2363	594	777	25,16	0,63	1306	369	2,55	3,54
20	1,43	102,48	2528	684	861	27,06	0,70	1432	430	2,47	3,33
21	1,50	104,72	2697	782	948	29,00	0,77	1565	498	2,39	3,14

### COMBINAZIONE n° 22

Valore della spinta statica	1784,19	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	1450,07	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	1039,53	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,42	[m]	Y = -1,40	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	19,04	[°]		
Coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche	0,4495	[°]		
Incremento sismico della spinta	103,62	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0,42	[m]	Y = -1,40	[m]
Coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche	0,4874	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]
Inerzia del muro	207,41	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-103,71	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]		

---

Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	0,00	[kg]
<i><u>Risultanti</u></i>		
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1741,70	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	5294,29	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-471,70	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	1325,36	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	3784,25	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	5294,29	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1741,70	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,13	[m]
Risultante in fondazione	5573,42	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,21	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	710,19	[kgm]
<b><u>COEFFICIENTI DI SICUREZZA</u></b>		
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.86	



## Stabilità globale muro + terreno

### Combinazione n° 26

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

### Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

### Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,41 Y[m]= 0,35

Raggio del cerchio R[m]= 3,07

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -3,43

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 1,65

Larghezza della striscia dx[m]= 0,20

Coefficiente di sicurezza C= 1.34

Le strisce sono numerate da monte verso valle

### Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	$\phi$	c	u
1	143.88	75.49	139.30	0.81	29.26	0.000	0.000
2	363.94	63.96	326.98	0.46	29.26	0.000	0.000
3	495.77	56.23	412.10	0.37	29.26	0.000	0.000
4	595.60	49.87	455.41	0.32	29.26	0.000	0.000
5	676.07	44.28	472.04	0.28	29.26	0.000	0.000
6	746.66	39.19	471.81	0.26	29.26	0.000	0.000
7	879.45	34.45	497.45	0.25	29.26	0.000	0.000
8	981.94	29.96	490.38	0.23	29.26	0.000	0.000
9	1055.38	25.67	457.17	0.23	29.26	0.000	0.000
10	1088.36	21.53	399.40	0.22	29.26	0.000	0.000
11	1114.79	17.50	335.31	0.21	29.26	0.000	0.000
12	503.01	13.57	118.00	0.21	29.26	0.000	0.000
13	421.84	9.70	71.04	0.21	29.26	0.000	0.000
14	418.90	5.87	42.82	0.20	29.26	0.000	0.000
15	410.94	2.07	14.81	0.20	29.26	0.000	0.000
16	398.03	-1.73	-12.00	0.20	29.26	0.000	0.000
17	380.18	-5.53	-36.62	0.20	29.26	0.000	0.000
18	357.31	-9.35	-58.07	0.21	29.26	0.000	0.000
19	329.31	-13.22	-75.31	0.21	29.26	0.000	0.000
20	295.95	-17.15	-87.27	0.21	29.26	0.000	0.000
21	256.92	-21.17	-92.77	0.22	29.26	0.000	0.000
22	211.79	-25.30	-90.49	0.22	29.26	0.000	0.000
23	159.94	-29.57	-78.93	0.23	29.26	0.000	0.000
24	100.55	-34.04	-56.28	0.25	29.26	0.000	0.000
25	32.40	-38.76	-20.28	0.26	29.26	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 12418,89$  [kg]

$\Sigma W_i \sin\alpha_i = 4096,00$  [kg]

$\Sigma W_i \cos\alpha_i \tan\phi_i = 5973,54$  [kg]

$\Sigma c_i b_i / \cos\alpha_i = 0,00$  [kg]

## Inviluppo sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

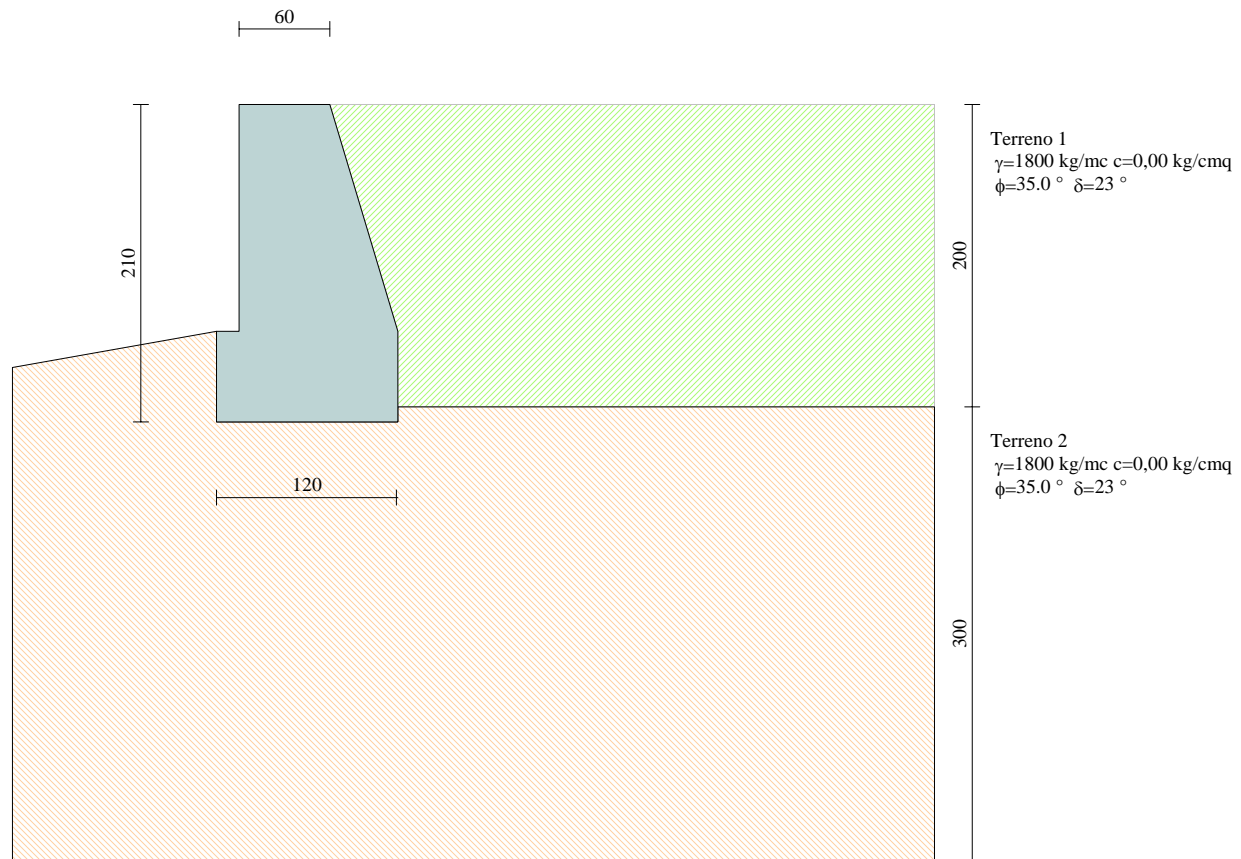
L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
$\sigma_p$	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

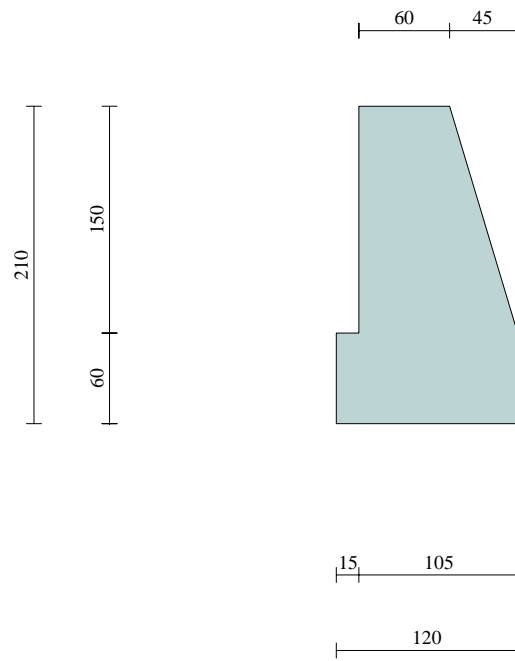
Nr.	Y	H	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	60,00	0	0	0	0	0	0
2	0,07	62,24	101	131	1	1	2	8
3	0,15	64,47	205	267	3	4	6	20
4	0,22	66,71	313	407	6	10	14	35
5	0,30	68,94	425	552	12	19	24	54
6	0,38	71,18	540	702	20	31	38	77
7	0,45	73,42	659	856	30	47	54	105
8	0,53	75,65	781	1015	43	66	74	138
9	0,60	77,89	907	1179	59	90	96	175
10	0,67	80,12	1036	1347	79	118	122	216
11	0,75	82,36	1169	1520	102	151	151	261
12	0,82	84,59	1306	1698	128	189	182	311
13	0,90	86,83	1446	1880	159	233	217	364
14	0,97	89,07	1590	2067	194	283	255	422
15	1,05	91,30	1737	2259	234	339	295	485
16	1,13	93,54	1888	2455	279	401	339	551
17	1,20	95,77	2043	2656	329	470	386	622
18	1,27	98,01	2201	2861	384	546	435	697
19	1,35	100,25	2363	3072	445	630	488	777
20	1,43	102,48	2528	3287	512	721	544	861
21	1,50	104,72	2697	3506	585	821	603	948

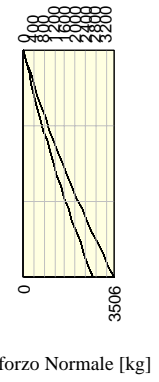
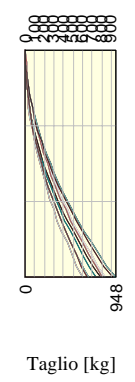
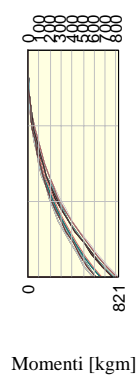
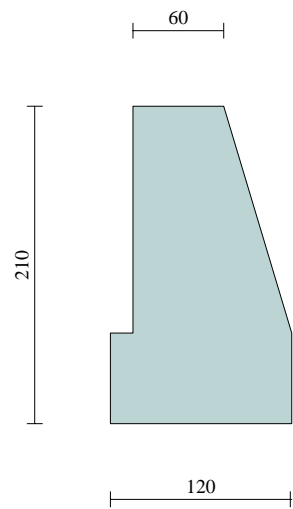
Nr.	Y	H	e	$\sigma_p$	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	60,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,07	62,24	0,66	0,02	41	0	28,68	346,56
3	0,15	64,47	1,39	0,04	87	1	19,09	128,70
4	0,22	66,71	2,18	0,06	138	3	14,44	69,88
5	0,30	68,94	3,03	0,08	194	7	11,68	44,99
6	0,38	71,18	3,94	0,10	256	11	9,86	31,97
7	0,45	73,42	4,91	0,13	324	18	8,57	24,23
8	0,53	75,65	5,92	0,15	397	27	7,61	19,22
9	0,60	77,89	6,98	0,18	476	39	6,86	15,76
10	0,67	80,12	8,09	0,21	561	53	6,26	13,27
11	0,75	82,36	9,25	0,24	653	71	5,78	11,40
12	0,82	84,59	10,45	0,27	751	93	5,37	9,96
13	0,90	86,83	11,68	0,30	856	118	5,03	8,83
14	0,97	89,07	12,96	0,33	968	147	4,74	7,91
15	1,05	91,30	14,28	0,37	1086	181	4,48	7,16
16	1,13	93,54	15,63	0,40	1212	220	4,26	6,53
17	1,20	95,77	17,01	0,44	1345	264	4,07	6,01
18	1,27	98,01	18,43	0,48	1486	314	3,89	5,56
19	1,35	100,25	19,88	0,52	1634	369	3,74	5,17
20	1,43	102,48	21,36	0,56	1791	430	3,60	4,83
21	1,50	104,72	22,87	0,61	1955	498	3,47	4,54



VALLE

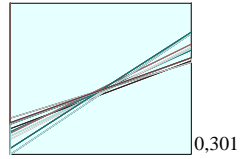
MONTE





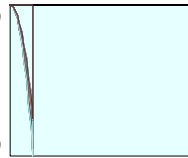


0,771



Pressioni sul terreno

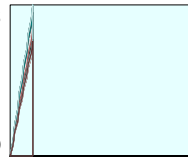
0,00



Momento

69,00

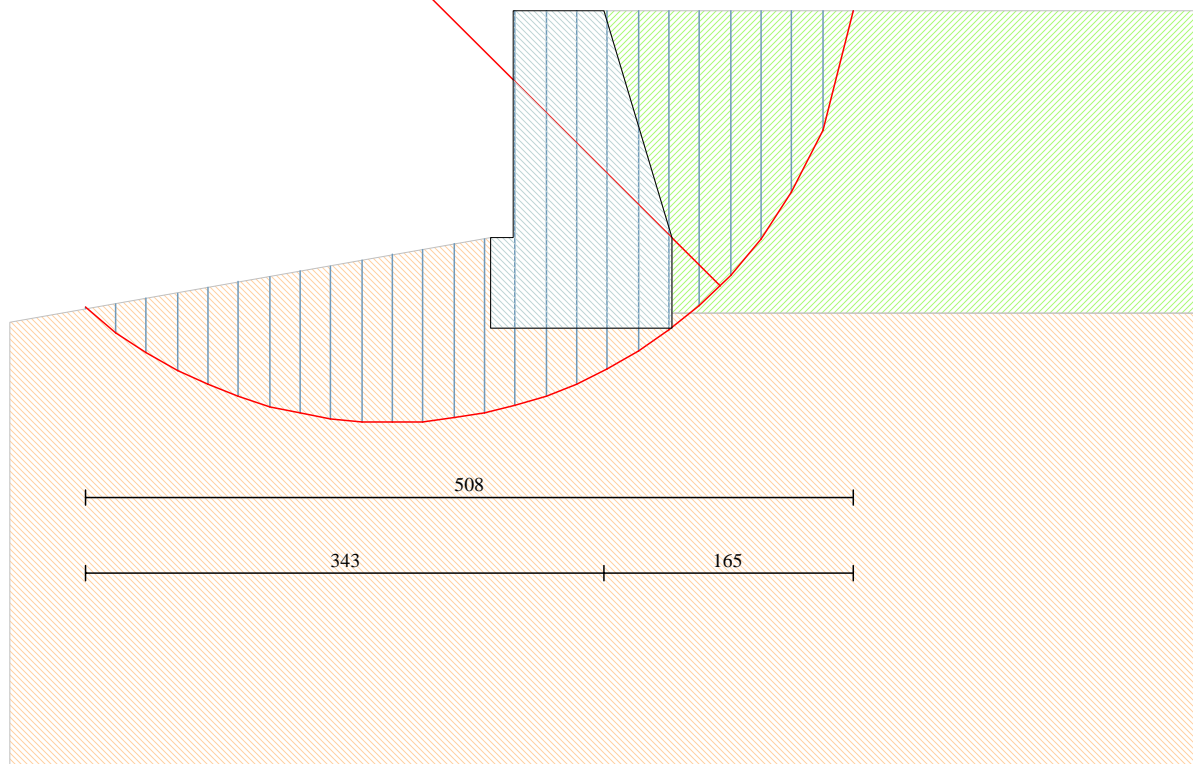
900,78



Taglio

0,00

C=1.46  
R=3.07 m  
X=-1.41 Y=0.35



Terreno 1  
 $\gamma=1800 \text{ kg/mc}$   $c=0,00 \text{ kg/cm}^2$   
 $\phi=35,0^\circ$   $\delta=23^\circ$

Terreno 2  
 $\gamma=1800 \text{ kg/mc}$   $c=0,00 \text{ kg/cm}^2$   
 $\phi=35,0^\circ$   $\delta=23^\circ$

Progetto: Muro Malpasso  
Ditta:  
Comune: Comune di San Giorio di Susa  
Progettista: ing. Roberto Truffa Giachet  
Direttore dei Lavori: ing. Roberto Truffa Giachet  
Impresa:

## Normative 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
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complessa fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.



## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.

Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari.

### Metodo di Mononobe-Okabe

Il metodo di Mononobe-Okabe adotta le stesse ipotesi della teoria di Coulomb : un cuneo di spinta a monte del muro che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Mette in conto inoltre l'inerzia sismica del cuneo in direzione orizzontale e verticale . Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno in condizioni sismiche. Viene messo in conto, come nella teoria di Coulomb, l'esistenza dell' attrito fra il terreno e il paramento del muro, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale al paramento stesso di un angolo di attrito terra-muro.

L'espressione della spinta totale (statica più sismica) esercitata da un terrapieno, di peso di volume  $\gamma$ , su una parete di altezza  $H$ , risulta espressa secondo la teoria di Mononobe-Okabe dalla seguente relazione

$$S = 1/2(1 \pm k_v)\gamma H^2 K_a$$

$K_a$  rappresenta il coefficiente di spinta attiva espresso da

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi - \theta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[ 1 + \frac{\sqrt{[\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta - \theta)]}}{\sqrt{[\sin(\alpha - \delta - \theta)\sin(\alpha + \beta)]}} \right]^2}$$

L'angolo  $\theta$  è legato al coefficiente sismico dalla seguente espressione

$$\tan(\theta) = k_h / (1 \pm k_v)$$

dove  $k_h$  e  $k_v$  rappresentano in coefficiente di intensità sismica orizzontale e verticale.

Nel caso in cui il terrapieno sia gravato di un sovraccarico uniforme  $Q$  l'espressione della pressione e della spinta diventano

$$\sigma_a = (\gamma z + Q)K_a$$

$$S = (1/2\gamma H^2 + QH)K_a$$

Al carico  $Q$  corrisponde un diagramma delle pressioni rettangolare con risultante applicata a  $1/2H$ .

Nel caso di terreno dotato di coesione  $c$  l'espressione della pressione esercitata sulla parete, alla generica profondità  $z$ , diventa

$$\sigma_a = \gamma z K_a - 2c(K_a)^{1/2}$$

Al diagramma triangolare, espresso dal termine  $\gamma z K_a$ , si sottrae il diagramma rettangolare legato al termine con la coesione. La pressione  $\sigma_a$  risulta negativa per valori di  $z$  minori di

$$h_c = \frac{2c}{\gamma(K_a)^{1/2}}$$

La grandezza  $h_c$  è detta altezza critica e rappresenta la profondità di potenziale frattura del terreno. E' chiaro che se l'altezza della parete è inferiore ad  $h_c$  non abbiamo nessuna spinta sulla parete.

## Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte del muro sia presente la falda il diagramma delle pressioni sul muro risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{sat}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

## Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$  essendo  $k_h$  il coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di  $k_h$ .

In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente  $A$  si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di  $\theta$ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente  $A$  viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove  $W$  è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

## Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_r$ .

Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare  $\eta_r \geq 1.0$ .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo.  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

## Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_s$ .

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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

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

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione,  $\delta_f$ , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di  $\delta_f$  pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

## Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $\eta_q$ . Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_q \geq 1.0$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

- $c$  coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- $B$  larghezza della fondazione;
- $D$  profondità del piano di posa;
- $q$  pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con  $K_p$  il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori  $d$  e  $i$  che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

#### Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

#### Fattori di inclinazione

Indicando con  $\theta$  l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale ( espresso in gradi ) e con  $\phi$  l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^\phi \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

## Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i^n \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \operatorname{tg} \phi_i \right)}{\sum_i^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{\text{esima}}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{\text{esima}}$  e  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre  $u_i$  ed  $l_i$  rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ( $l_i = b_i / \cos \alpha_i$ ).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in  $n$  strisce e dalla formula precedente si ricava  $\eta$ . Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

## Normativa

N.T.C. 2008

### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c'$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<u>Carichi</u>	<u>Effetto</u>		<u>EQU</u>	<u>A1</u>	<u>A2</u>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	0,90	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,10	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<u>Parametri</u>			<u>M1</u>	<u>M2</u>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_c'$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		1,00	1,00

### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<u>Carichi</u>	<u>Effetto</u>		<u>EQU</u>	<u>A1</u>	<u>A2</u>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<u>Parametri</u>			<u>M1</u>	<u>M2</u>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_c'$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		1,00	1,00

## FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

<u>Verifica</u>	<u>Coefficienti parziali</u>		
	<u>R1</u>	<u>R2</u>	<u>R3</u>
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40

---

Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

Coeff. di combinazione  $\Psi_0= 0,70$        $\Psi_1= 0,50$        $\Psi_2= 0,20$



## Geometria muro e fondazione

Descrizione	Muro a gravità in pietrame
Altezza del paramento	3,00 [m]
Spessore in sommità	1,00 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,50 [m]
Inclinazione paramento esterno	9,40 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	10,00 [m]
<u>Fondazione</u>	
Lunghezza mensola fondazione di valle	0,50 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	2,00 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,00 [m]
Spessore magrone	0,00 [m]

## Materiali utilizzati per la struttura

### Pietrame

Peso specifico	2200,0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione $\sigma_c$	50,0 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Angolo di attrito interno $\phi_p$	40,00 [°]
Resistenza a taglio $\tau_p$	0,0 [kg/cm <sup>2</sup> ]

## Geometria profilo terreno a monte del muro

### Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	8,00	0,00	0,00

## Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	10,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

## Descrizione terreni

### Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	$c_a$
Terreno 1	1800	2000	35.00	23.33	0,000	0,000
Terreno 2	1800	2000	35.00	23.33	0,000	0,000

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]

*Kw* Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm  
*Ks* Coefficiente di spinta  
*Terreno* Terreno dello strato

<b>Nr.</b>	<b>H</b>	<b>a</b>	<b>Kw</b>	<b>Ks</b>	<b>Terreno</b>
1	6,00	0,00	3,36	0,00	Terreno 1
2	4,00	0,00	5,83	0,00	Terreno 2

## Condizioni di carico

### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

$X$  Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]

$F_x$  Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]

$F_y$  Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]

$M$  Momento espresso in [kgm]

$X_i$  Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

$X_f$  Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

$Q_i$  Intensità del carico per  $x=X_i$  espressa in [kg/m]

$Q_f$  Intensità del carico per  $x=X_f$  espressa in [kg/m]

$D / C$  Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

### Condizione n° 1 (Condizione 1)

D	Profilo	$X_i=0,00$	$X_f=8,00$	$Q_i=1000,00$	$Q_f=1000,00$
---	---------	------------	------------	---------------	---------------

## Descrizione combinazioni di carico

### Simbologia adottata

$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

#### Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30

#### Combinazione n° 2 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 3 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 4 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 5 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10

#### Combinazione n° 6 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	0,90	1.00	0,90

#### Combinazione n° 7 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 8 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

#### Combinazione n° 9 SLU (Caso A1-M1)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

#### Combinazione n° 10 SLU (Caso A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 11 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 14 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 15 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 16 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 17 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 18 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 19 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 20 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 21 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 22 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 23 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 24 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 25 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 26 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 27 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 28 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 29 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 30 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 31 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 32 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 33 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1,00	0.20	0.20

Combinazione n° 34 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 35 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 36 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 37 SLE (Quasi Permanente)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 38 SLE (Frequente)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 39 SLE (Rara)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1,00

Combinazione n° 40 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 41 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 42 SLE (Frequente) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 43 SLE (Frequente) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 44 SLE (Rara) - Sisma Vert. positivo



	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 45 SLE (Rara) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

## Impostazioni di analisi

### *Impostazioni avanzate*

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

## Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS<sub>SCO</sub></i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS<sub>RIB</sub></i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS<sub>QLIM</sub></i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS<sub>STAB</sub></i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2,00	--	8,53	--
2	A1-M1 - [1]	--	2,39	--	10,90	--
3	A2-M2 - [1]	--	1,48	--	3,55	--
4	A2-M2 - [1]	--	1,48	--	3,55	--
5	EQU - [1]	--	--	3,07	--	--
6	EQU - [1]	--	--	3,64	--	--
7	STAB - [1]	--	--	--	--	1,29
8	STAB - [1]	--	--	--	--	1,29
9	A1-M1 - [2]	--	1,56	--	5,62	--
10	A2-M2 - [2]	--	1,12	--	2,19	--
11	EQU - [2]	--	--	2,08	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	1,15
13	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,85	--	8,07	--
14	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,85	--	8,34	--
15	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,85	--	8,07	--
16	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,85	--	8,34	--
17	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,19	--	2,55	--
18	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,19	--	2,63	--
19	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	1,19	--	2,55	--
20	A2-M2 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	1,19	--	2,63	--
21	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,63	--	--
22	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,52	--	--
23	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,63	--	--
24	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,52	--	--
25	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,20
26	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,20
27	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,20
28	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,20
29	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,77	--	7,57	--
30	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1,77	--	7,82	--
31	A2-M2 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,14	--	2,35	--
32	A2-M2 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1,14	--	2,43	--
33	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,38	--	--
34	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,47	--	--
35	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,18
36	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,18
37	SLEQ - [1]	--	2,27	--	10,44	--
38	SLEF - [1]	--	2,12	--	9,58	--
39	SLER - [1]	--	1,91	--	8,31	--
40	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,10	--	9,51	--
41	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,10	--	9,63	--
42	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	1,96	--	8,70	--
43	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	1,97	--	8,82	--
44	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	1,78	--	7,51	--
45	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	1,78	--	7,61	--



Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,49	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	19,04	[°]		
Coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche	0,3063	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]

**Risultanti**

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	5675,84	[kg]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	14589,90	[kg]		
Resistenza passiva a valle del muro	-1310,27	[kg]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	14589,90	[kg]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	5675,84	[kg]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,25	[m]		
Risultante in fondazione	15655,04	[kg]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21,26	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	3601,76	[kgm]		
Carico ultimo della fondazione	32015,99	[kg]		

**Tensioni sul terreno**

Lunghezza fondazione reagente	2,00	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	1,2728	[kg/cm <sup>2</sup> ]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,1886	[kg/cm <sup>2</sup> ]		

**Fattori per il calcolo della capacità portante**

$N_c = 28.42$	$N'_c = 19.42$
$N_q = 16.92$	$N'_q = 10.72$
$N_\gamma = 13.82$	$N'_\gamma = 1.12$

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.12
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.19

## Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

### Combinazione n° 10

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
$\sigma_p$	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cmq]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

Nr.	Y	H	N	M	T	e	$\sigma_p$	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	100,00	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,15	102,48	334	2	62	0,73	0,03	195	5	4,50	43,13
3	0,30	104,97	676	11	136	1,61	0,07	413	19	4,16	21,40
4	0,45	107,45	1027	27	222	2,63	0,11	653	46	3,88	14,18
5	0,60	109,93	1385	52	320	3,78	0,15	917	87	3,64	10,59
6	0,75	112,42	1752	89	429	5,06	0,20	1205	143	3,43	8,45
7	0,90	114,90	2126	138	550	6,48	0,25	1518	216	3,24	7,03
8	1,05	117,38	2509	201	683	8,01	0,30	1856	308	3,08	6,02
9	1,20	119,87	2900	280	827	9,66	0,36	2221	421	2,94	5,27
10	1,35	122,35	3299	377	983	11,42	0,42	2613	557	2,82	4,69
11	1,50	124,83	3706	493	1151	13,30	0,49	3033	717	2,70	4,23
12	1,65	127,32	4121	630	1331	15,28	0,56	3481	903	2,60	3,86
13	1,80	129,80	4545	789	1522	17,37	0,63	3958	1117	2,51	3,55
14	1,95	132,28	4976	973	1725	19,55	0,71	4466	1360	2,42	3,28
15	2,10	134,77	5416	1183	1940	21,83	0,79	5003	1635	2,34	3,06
16	2,25	137,25	5864	1420	2166	24,21	0,88	5573	1942	2,27	2,87
17	2,40	139,73	6319	1686	2405	26,68	0,98	6174	2285	2,21	2,70
18	2,55	142,21	6783	1983	2655	29,23	1,08	6808	2664	2,14	2,55
19	2,70	144,70	7256	2313	2916	31,87	1,20	7475	3082	2,09	2,43
20	2,85	147,18	7736	2676	3190	34,60	1,32	8176	3540	2,03	2,31
21	3,00	149,66	8224	3076	3475	37,40	1,46	8913	4040	1,99	2,21

### COMBINAZIONE n° 11

Valore della spinta statica	6690,39	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	6324,51	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	2182,15	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0,00	[m]	Y = -2,48	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	19,04	[°]		
Coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche	0,3063	[°]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	0,00	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,00	[m]	Y = 0,00	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	6324,51	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	14813,71	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-1441,29	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	9591,02	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	19982,23	[kgm]

---

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	14813,71	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	6324,51	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,30	[m]
Risultante in fondazione	16107,31	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	23,12	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	4397,66	[kgm]

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.08
--	------

## Stabilità globale muro + terreno

### Combinazione n° 12

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

### Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

### Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -2,78 Y[m]= 0,31

Raggio del cerchio R[m]= 5,13

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5,99

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 2,34

Larghezza della striscia dx[m]= 0,33

Coefficiente di sicurezza C= 1.15

Le strisce sono numerate da monte verso valle

### Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	$\phi$	c	u
1	896.87	77.67	876.20	1.56	29.26	0.000	0.000
2	1564.32	64.58	1412.92	0.78	29.26	0.000	0.000
3	1927.50	56.84	1613.60	0.61	29.26	0.000	0.000
4	2201.66	50.51	1699.08	0.52	29.26	0.000	0.000
5	2422.64	44.95	1711.64	0.47	29.26	0.000	0.000
6	2605.92	39.90	1671.43	0.43	29.26	0.000	0.000
7	2759.90	35.19	1590.60	0.41	29.26	0.000	0.000
8	2988.43	30.75	1527.94	0.39	29.26	0.000	0.000
9	3099.02	26.50	1382.98	0.37	29.26	0.000	0.000
10	3190.05	22.41	1216.22	0.36	29.26	0.000	0.000
11	2548.33	18.44	805.92	0.35	29.26	0.000	0.000
12	1313.05	14.55	329.91	0.34	29.26	0.000	0.000
13	1169.65	10.74	217.87	0.34	29.26	0.000	0.000
14	1050.90	6.97	127.45	0.34	29.26	0.000	0.000
15	1032.72	3.23	58.14	0.33	29.26	0.000	0.000
16	1002.26	-0.50	-8.71	0.33	29.26	0.000	0.000
17	958.77	-4.23	-70.64	0.33	29.26	0.000	0.000
18	902.17	-7.97	-125.10	0.34	29.26	0.000	0.000
19	832.16	-11.75	-169.47	0.34	29.26	0.000	0.000
20	748.28	-15.58	-201.02	0.35	29.26	0.000	0.000
21	649.82	-19.49	-216.80	0.35	29.26	0.000	0.000
22	535.80	-23.49	-213.59	0.36	29.26	0.000	0.000
23	404.85	-27.62	-187.71	0.38	29.26	0.000	0.000
24	255.10	-31.92	-134.87	0.39	29.26	0.000	0.000
25	83.92	-36.42	-49.83	0.41	29.26	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 37144,10$  [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 14864,16$  [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 17154,08$  [kg]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 0,00$  [kg]

## Inviluppo sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

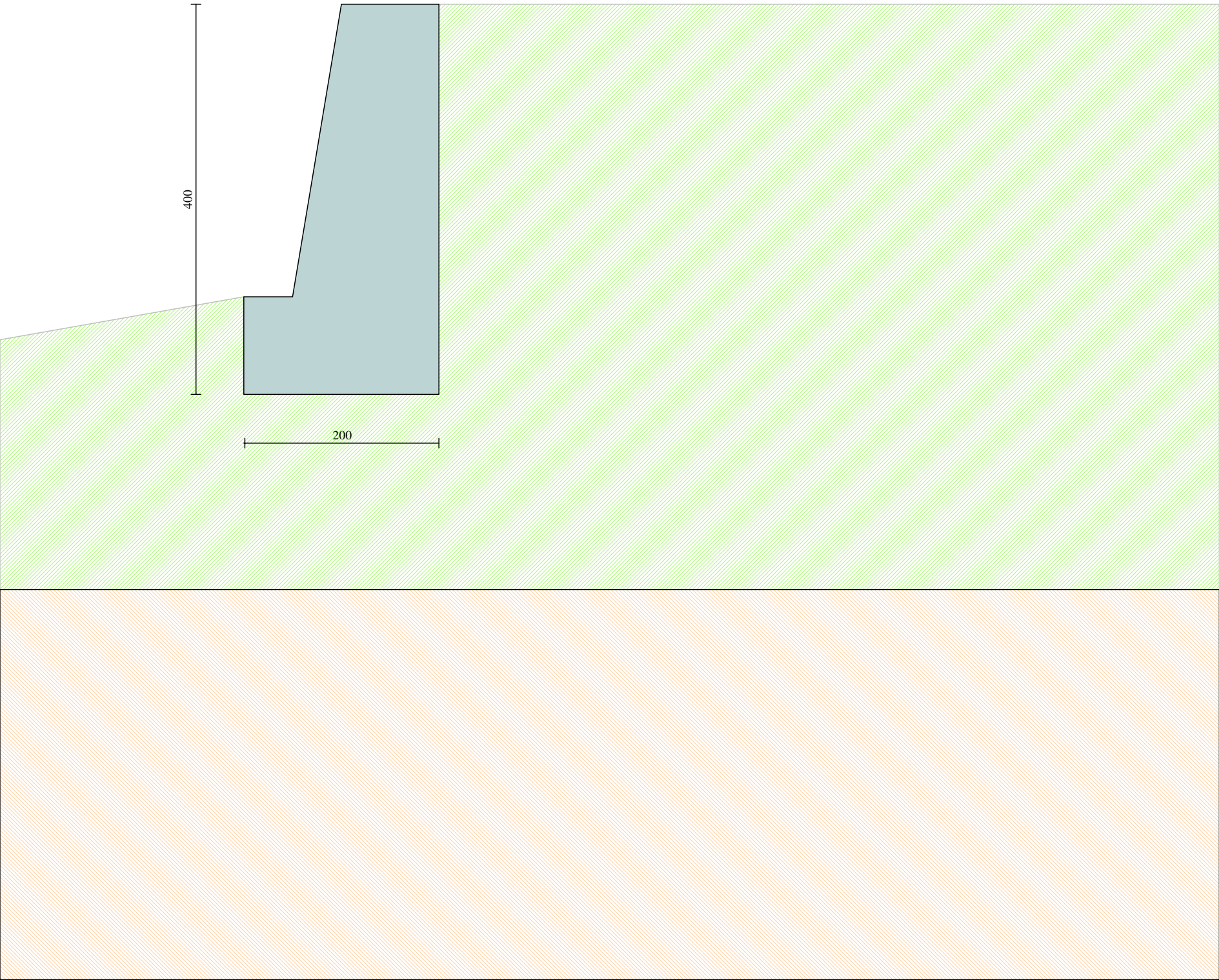
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
$\sigma_p$	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza allo scorrimento
Cr	coeff. di sicurezza al ribaltamento

Nr.	Y	H	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	100,00	0	0	0	0	0	0
2	0,15	102,48	334	434	-2	3	5	72
3	0,30	104,97	676	879	-9	14	18	156
4	0,45	107,45	1027	1335	-19	34	41	254
5	0,60	109,93	1385	1800	-30	65	73	364
6	0,75	112,42	1752	2277	-42	109	114	487
7	0,90	114,90	2126	2764	-52	167	164	623
8	1,05	117,38	2509	3262	-61	243	223	772
9	1,20	119,87	2900	3770	-67	337	291	934
10	1,35	122,35	3299	4289	-68	451	368	1109
11	1,50	124,83	3706	4818	-64	587	454	1297
12	1,65	127,32	4121	5358	-52	748	550	1497
13	1,80	129,80	4545	5908	-33	934	654	1711
14	1,95	132,28	4976	6469	-4	1148	768	1937
15	2,10	134,77	5416	7041	36	1391	891	2176
16	2,25	137,25	5864	7623	87	1665	1023	2429
17	2,40	139,73	6319	8215	152	1973	1163	2694
18	2,55	142,21	6783	8819	231	2315	1313	2972
19	2,70	144,70	7256	9432	325	2695	1472	3263
20	2,85	147,18	7736	10057	436	3113	1641	3567
21	3,00	149,66	8224	10691	565	3571	1818	3883

Nr.	Y	H	e	$\sigma_p$	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,15	102,48	0,33	0,03	250	5	6,39	60,09
3	0,30	104,97	0,77	0,07	529	22	5,84	29,57
4	0,45	107,45	1,34	0,10	837	53	5,39	19,46
5	0,60	109,93	2,01	0,14	1175	99	5,01	14,44
6	0,75	112,42	2,80	0,18	1544	162	4,69	11,46
7	0,90	114,90	3,69	0,22	1945	246	4,41	9,48
8	1,05	117,38	4,69	0,26	2379	350	4,17	8,09
9	1,20	119,87	5,78	0,31	2847	478	3,96	7,05
10	1,35	122,35	6,96	0,36	3350	631	3,77	6,25
11	1,50	124,83	8,24	0,41	3888	811	3,60	5,62
12	1,65	127,32	9,61	0,47	4463	1021	3,45	5,10
13	1,80	129,80	11,07	0,53	5075	1261	3,32	4,68
14	1,95	132,28	12,60	0,59	5726	1534	3,20	4,32
15	2,10	134,77	14,22	0,66	6416	1843	3,09	4,02
16	2,25	137,25	15,92	0,72	7146	2188	2,99	3,76
17	2,40	139,73	17,69	0,80	7917	2572	2,89	3,53
18	2,55	142,21	19,54	0,87	8730	2997	2,81	3,33
19	2,70	144,70	21,46	0,95	9586	3464	2,73	3,16
20	2,85	147,18	23,44	1,03	10486	3976	2,65	3,00
21	3,00	149,66	25,50	1,11	11431	4535	2,59	2,86





400

200

600

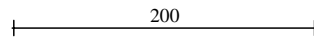
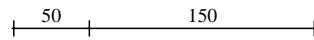
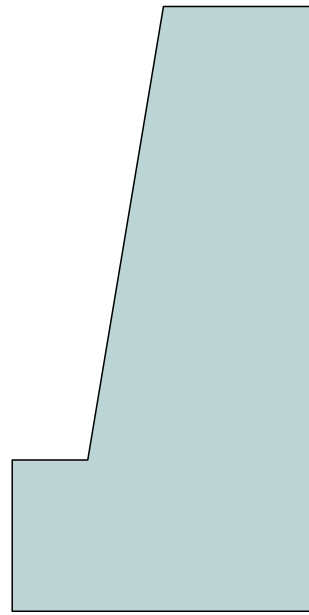
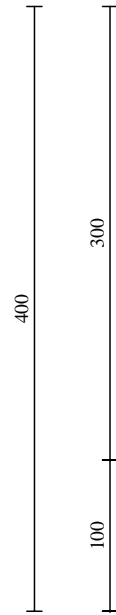
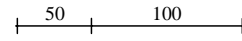
400

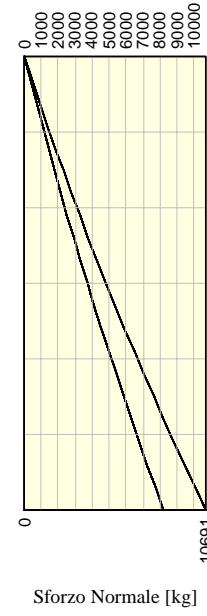
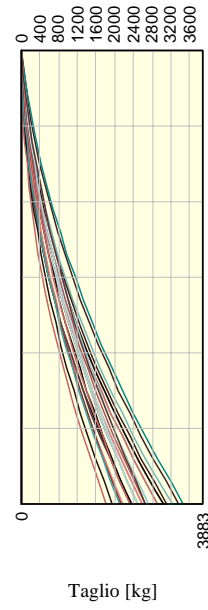
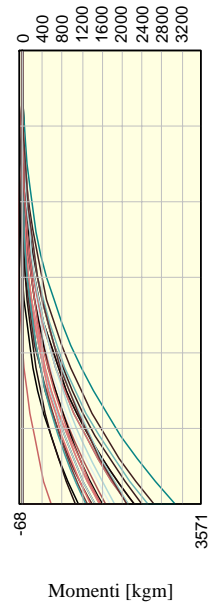
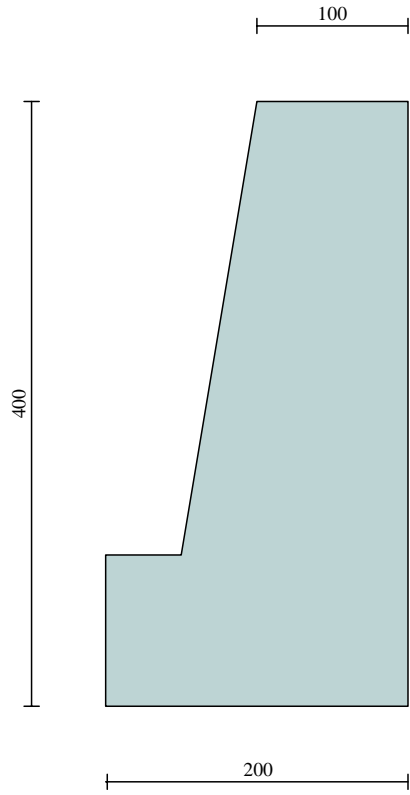
Terreno 1  
 $\gamma=1800 \text{ kg/mc}$   $c=0,00 \text{ kg/cm}^2$   
 $\phi=35,0^\circ$   $\delta=23^\circ$

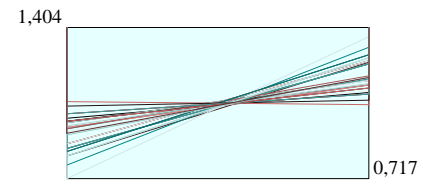
Terreno 2  
 $\gamma=1800 \text{ kg/mc}$   $c=0,00 \text{ kg/cm}^2$   
 $\phi=35,0^\circ$   $\delta=23^\circ$

VALLE

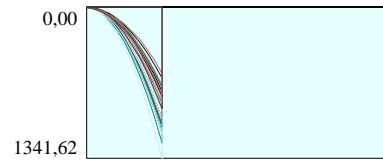
MONTE



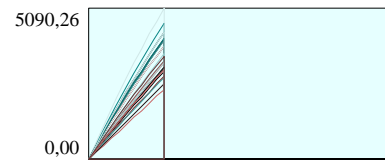




Pressioni sul terreno

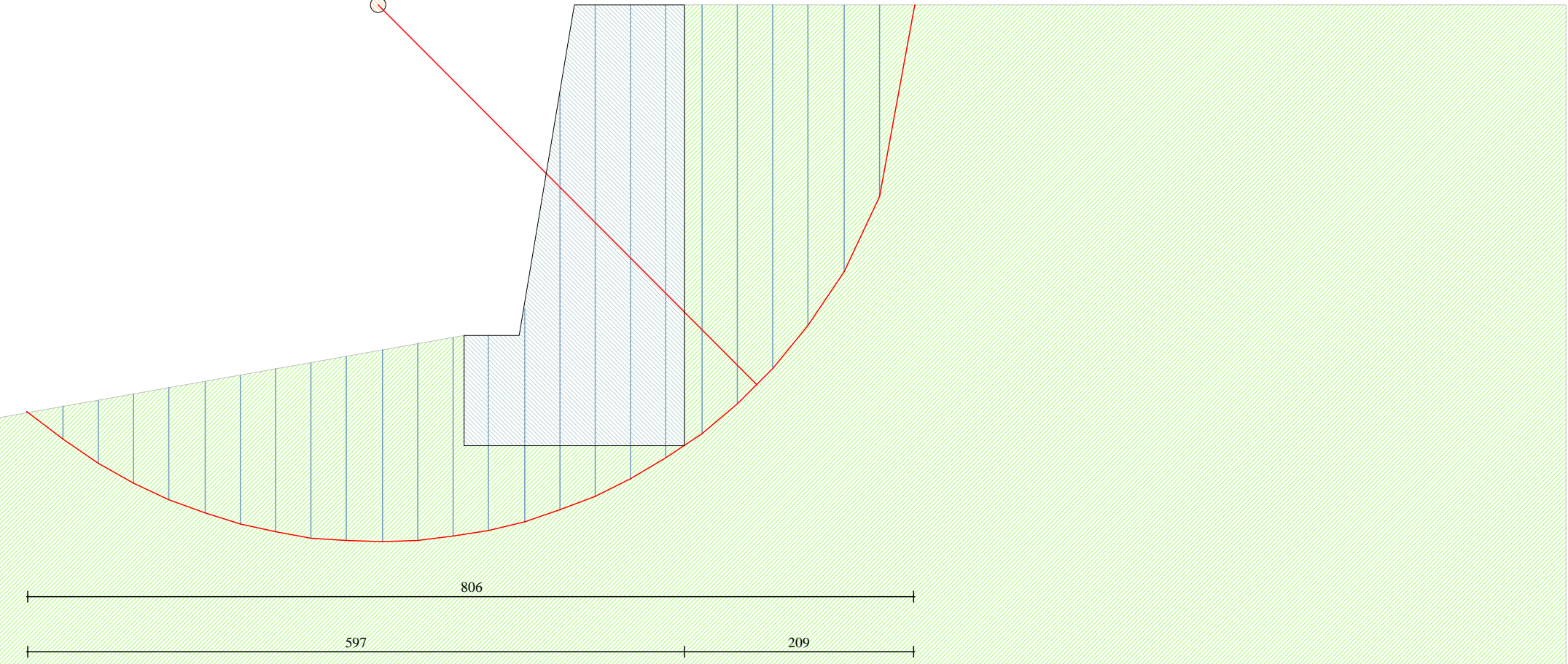


Momento



Taglio

C=1.29  
R=4.87 m  
X= -2.78 Y= 0.00



Terre  
 $\gamma=18$   
 $\phi=35$

Terre  
 $\gamma=18$