



# Provincia di Chieti

## Settore Lavori Pubblici

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE S.S. 650  
FONDO VALLE TRIGNO SCHIAVI D'ABRUZZO

III° Lotto Funzionale

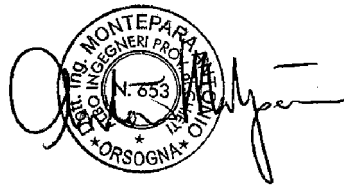
RELAZIONE DI CALCOLO  
MURO A GABBIONI

**STUDIO MONTEPARA**  
INGEGNERIA CIVILE

SEDE LEGALE  
Via V. Simeoni n° 12  
66036 Orsogna (CH)  
Tel. 0871/869652  
E-mail:  
Info@studiomontepara.it

SEDE OPERATIVA  
Via Farini n° 80  
43100 Parma  
Tel. e Fax 0521/905904

Il Progettista  
Prof. Ing. Antonio Montepara



ALLEGATO

8.1

Questo elaborato non può essere riprodotto né integralmente, né in parte per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

Responsabile Unico del Procedimento

127 E A I A 08.01 R0

DATA : 25/06/2010

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
REVO					
REV1					
REV2					



# **PROVINCIA DI CHIETI**

## **SETTORE LAVORI PUBBLICI**

LAVORI DI SISTEMAZIONE STRADA PROVINCIALE

“S.S. 650 FONDO VALLE TRIGNO - SCHIAVI DI ABRUZZO”

### **III° LOTTO FUNZIONALE**

## **CALCOLO MURI A GABBIONI**

## 1. 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)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al 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 complesso 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.

## 2. 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 Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\rho$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio ( $W$ ), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura ( $R$  e  $C$ ) e resistenza per coesione lungo la parete ( $A$ );
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta  $S$  sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

### 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 parete 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.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

## 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:

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



dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i$ -esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i$ -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.

### 3. 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>		
	R1	R2	R3
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       $\Psi_0= 0.70$        $\Psi_1= 0.50$        $\Psi_2= 0.20$

## 4. Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a gradoni in pietrame**

### Descrizione dei gradoni

#### *Simbologia adottata*

Nr.	numero d'ordine del gradone (a partire dall'alto)
Bs	base superiore del gradone espressa in [m]
Bi	base inferiore del gradone espressa in [m]
Hg	altezza del gradone espressa in [m]
$\alpha_e$	inclinazione esterna del gradone espressa in [°]
$\alpha_i$	inclinazione interna del gradone espressa in [°]

<b>Nr.</b>	<b>Bs</b>	<b>Bi</b>	<b>Hg</b>	<b><math>\alpha_e</math></b>	<b><math>\alpha_i</math></b>
1	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
2	1.50	1.50	1.00	0.00	0.00
3	2.50	2.50	1.00	0.00	0.00

Altezza del paramento      3.00 [m]

### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.10 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.10 [m]
Lunghezza totale fondazione	2.70 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.20 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]

## 5. Materiali utilizzati per la struttura

#### *Pietrame*

Peso specifico	2000.0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione $\sigma_c$	30.0 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Angolo di attrito interno $\phi_p$	45.00 [°]
Resistenza a taglio $\tau_p$	0.0 [kg/cm <sup>2</sup> ]

## 6. 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 [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	6.00	1.00	9.46

## 7. Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0.00	[m]

## 8. Descrizione terreni

### Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	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 [°]
<i>c</i>	Coesione espressa in [kg/cm <sup>q</sup> ]
<i>c<sub>a</sub></i>	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm <sup>q</sup> ]

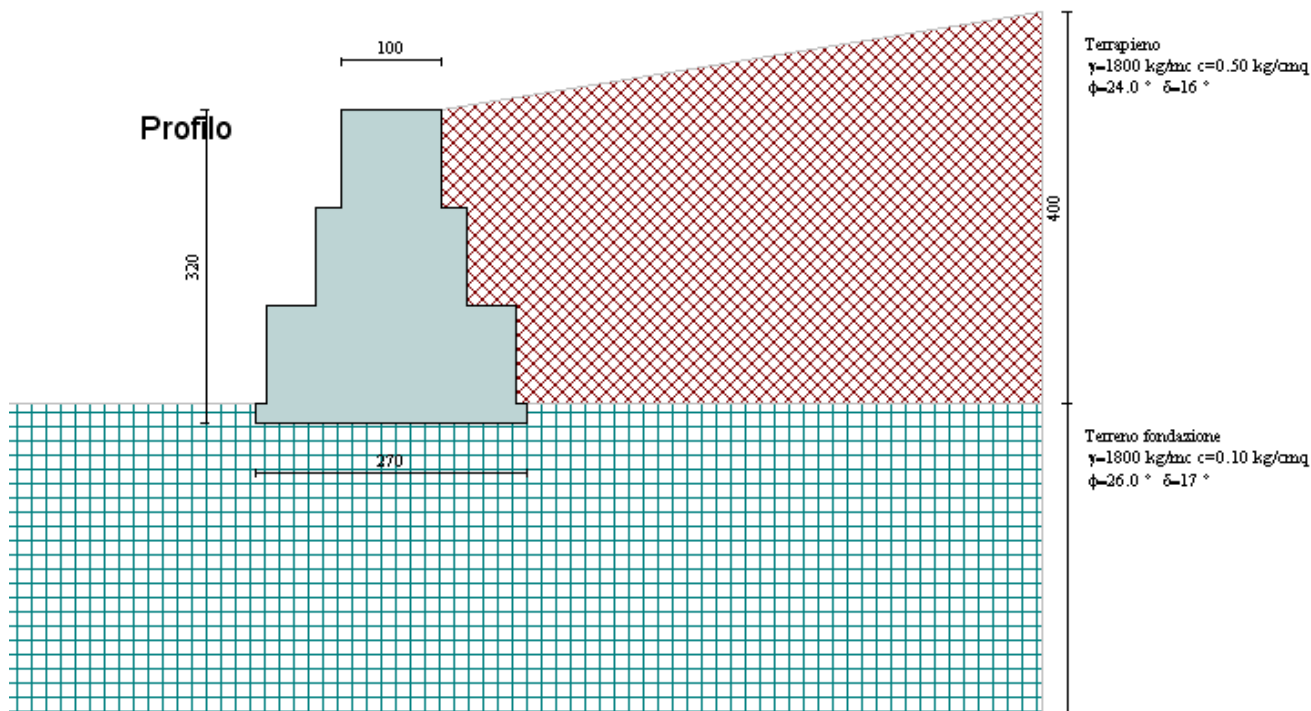
<b>Descrizione</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\gamma_s</math></b>	<b><math>\phi</math></b>	<b><math>\delta</math></b>	<b>c</b>	<b>c<sub>a</sub></b>
Terrapieno	1800	2000	24.00	16.00	0.500	0.000
Terreno fondazione	1800	2000	26.00	17.33	0.100	0.070

## 9. Stratigrafia

### Simbologia adottata

<i>N</i>	Indice dello strato
<i>H</i>	Spessore dello strato espresso in [m]
<i>a</i>	Inclinazione espressa in [°]
<i>K<sub>w</sub></i>	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
<i>K<sub>s</sub></i>	Coefficiente di spinta
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

<b>Nr.</b>	<b>H</b>	<b>a</b>	<b>K<sub>w</sub></b>	<b>K<sub>s</sub></b>	<b>Terreno</b>
1	3.00	0.00	0.00	0.00	Terrapieno
2	10.00	0.00	2.58	0.00	Terreno fondazione



## 10. 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 A2-M2)

	$\gamma$	$\Psi$	$C$
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

#### Combinazione n° 3 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	$C$
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10

#### Combinazione n° 4 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	$C$
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

#### Combinazione n° 5 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

## 11. Impostazioni di analisi

### *Impostazioni avanzate*

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

## 12. Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### *Simbologia adottata*

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

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b><math>CS_{sco}</math></b>	<b><math>CS_{rib}</math></b>	<b><math>CS_{qlim}</math></b>	<b><math>CS_{stab}</math></b>
1	A1-M1 - [1]	--	34.33	--	6.64	--
2	A2-M2 - [1]	--	25.97	--	3.87	--
3	EQU - [1]	--	--	813.51	--	--
4	STAB - [1]	--	--	--	--	2.63
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	5.62	--	6.97	--
6	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	5.77	--	6.52	--
7	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	4.17	--	3.32	--
8	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	4.07	--	3.55	--
9	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	9.79	--	--
10	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	15.38	--	--
11	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	2.34
12	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	2.43

## 13. Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :

Origine in testa al muro (spigolo di monte)

Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte

Ordinate Y (espresse 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 Culmann
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 $a_g$	1.65 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.46
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50



Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 7.04$		
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 3.52$		
Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico		
Partecipazione spinta passiva (percento)	0.0		
Lunghezza del muro	1.00	[m]	
Peso muro	11080.00	[kg]	
Baricentro del muro	X=-0.50	Y=-1.93	
<u>Superficie di spinta</u>			
Punto inferiore superficie di spinta	X = 0.85	Y = -3.20	
Punto superiore superficie di spinta	X = 0.85	Y = 0.14	
Altezza della superficie di spinta	3.34	[m]	
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	0.00	[°]	

#### COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	198.99	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	193.07	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	48.20	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14.02	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	61.26	[°]		
Incremento sismico della spinta	58.26	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	60.13	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	2898.38	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.50	[m]	Y = -0.98	[m]
Inerzia del muro	780.02	[kg]		
Inerzia verticale del muro	390.01	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	204.04	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	102.02	[kg]		
<u>Risultanti</u>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1233.64	[kg]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	14532.71	[kg]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	14532.71	[kg]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1233.64	[kg]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0.11	[m]		
Risultante in fondazione	14584.98	[kg]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	4.85	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1609.00	[kgm]		
Carico ultimo della fondazione	48283.30	[kg]		

#### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2.70	[m]
-------------------------------	------	-----

Tensione terreno allo spigolo di valle	0.4058	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.6707	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 16.14$	$N'_c = 14.76$
$N_q = 7.30$	$N'_q = 6.60$
$N_\gamma = 3.61$	$N'_\gamma = 2.18$

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	4.17
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.32

**14. Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni**

Combinazione n° 7

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	0.14	100.00	286	1	20	0.50	0.03	143	1	14.20	99.43
3	0.29	100.00	571	6	40	1.01	0.06	286	6	14.20	49.72
4	0.43	100.00	857	13	60	1.51	0.09	429	13	14.20	33.14
5	0.57	100.00	1143	23	80	2.01	0.13	571	23	14.20	24.86
6	0.71	100.00	1429	36	101	2.51	0.16	714	36	14.20	19.89
7	0.86	100.00	1714	52	121	3.02	0.20	857	52	14.20	16.57
8	1.00	100.00	2000	70	141	3.52	0.24	1000	70	14.20	14.20
9	1.00	150.00	2459	-217	141	8.83	0.11	2132	70	17.47	30.29
10	1.14	150.00	2888	-195	171	6.75	0.14	2453	93	16.89	26.48
11	1.29	150.00	3317	-168	201	5.07	0.18	2775	119	16.49	23.27
12	1.43	150.00	3745	-137	231	3.67	0.21	3096	150	16.19	20.62
13	1.57	150.00	4174	-102	261	2.45	0.25	3418	185	15.96	18.44
14	1.71	150.00	4602	-63	292	1.36	0.29	3739	225	15.78	16.63
15	1.86	150.00	5031	-19	322	0.37	0.33	4061	269	15.63	15.11
16	2.00	150.00	5459	29	352	0.54	0.37	4382	317	15.51	13.83
17	2.00	250.00	7334	-1849	352	25.21	0.12	11334	317	20.84	35.78
18	2.14	250.00	8049	-1795	402	22.30	0.15	12226	371	20.01	32.98
19	2.29	250.00	8763	-1734	453	19.79	0.18	13119	432	19.36	30.39
20	2.43	250.00	9477	-1666	503	17.58	0.22	14012	500	18.85	28.03
21	2.57	250.00	10192	-1590	553	15.60	0.25	14905	575	18.43	25.90
22	2.71	250.00	10906	-1508	603	13.82	0.29	15798	658	18.07	24.01
23	2.86	250.00	11620	-1418	654	12.20	0.33	16691	748	17.78	22.32
24	3.00	250.00	12334	-1321	704	10.71	0.37	17584	845	17.52	20.81

## COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	198.99	[kg]	
Componente orizzontale della spinta statica	193.07	[kg]	
Componente verticale della spinta statica	48.20	[kg]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14.02	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	61.26	[°]	

Incremento sismico della spinta	24.70	[kg]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	60.44	[°]	

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	2898.38	[kg]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.50	[m]	Y = -0.98 [m]
Inerzia del muro	780.02	[kg]	
Inerzia verticale del muro	-390.01	[kg]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	204.04	[kg]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-102.02	[kg]	

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1201.09	[kg]	
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	13540.52	[kg]	
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	13540.52	[kg]	
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1201.09	[kg]	
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0.10	[m]	
Risultante in fondazione	13593.69	[kg]	
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	5.07	[°]	
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1397.75	[kgm]	
Carico ultimo della fondazione	48049.31	[kg]	

### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2.70	[m]	
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.3865	[kg/cmq]	
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.6165	[kg/cmq]	

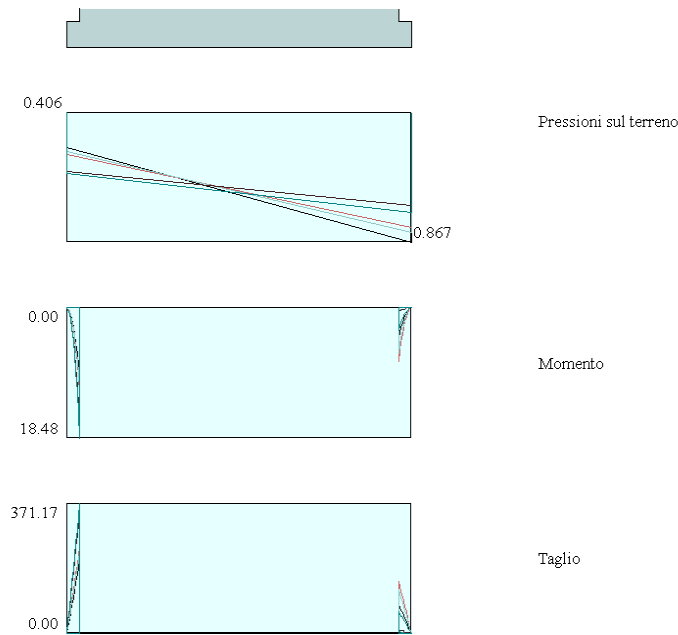
### Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 16.14$	$N'_c = 14.69$
$N_q = 7.30$	$N'_q = 6.57$
$N_\gamma = 3.61$	$N'_\gamma = 2.12$

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	4.07
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.55

## Sollecitazioni fondazione



### 15. Sollecitazioni nel muro e verifica delle sezioni

#### Combinazione n° 8

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	0.14	100.00	286	1	20	0.50	0.03	143	1	14.20	99.43
3	0.29	100.00	571	6	40	1.01	0.06	286	6	14.20	49.72
4	0.43	100.00	857	13	60	1.51	0.09	429	13	14.20	33.14
5	0.57	100.00	1143	23	80	2.01	0.13	571	23	14.20	24.86
6	0.71	100.00	1429	36	101	2.51	0.16	714	36	14.20	19.89
7	0.86	100.00	1714	52	121	3.02	0.20	857	52	14.20	16.57
8	1.00	100.00	2000	70	141	3.52	0.24	1000	70	14.20	14.20
9	1.00	150.00	2459	-217	141	8.83	0.11	2132	70	17.47	30.29
10	1.14	150.00	2888	-195	171	6.75	0.14	2453	93	16.89	26.48
11	1.29	150.00	3317	-168	201	5.07	0.18	2775	119	16.49	23.27
12	1.43	150.00	3745	-137	231	3.67	0.21	3096	150	16.19	20.62
13	1.57	150.00	4174	-102	261	2.45	0.25	3418	185	15.96	18.44
14	1.71	150.00	4602	-63	292	1.36	0.29	3739	225	15.78	16.63
15	1.86	150.00	5031	-19	322	0.37	0.33	4061	269	15.63	15.11

16	2.00	150.00	5459	29	352	0.54	0.37	4382	317	15.51	13.83
17	2.00	250.00	7334	-1849	352	25.21	0.12	11334	317	20.84	35.78
18	2.14	250.00	8049	-1795	402	22.30	0.15	12226	371	20.01	32.98
19	2.29	250.00	8763	-1734	453	19.79	0.18	13119	432	19.36	30.39
20	2.43	250.00	9477	-1666	503	17.58	0.22	14012	500	18.85	28.03
21	2.57	250.00	10192	-1590	553	15.60	0.25	14905	575	18.43	25.90
22	2.71	250.00	10906	-1508	603	13.82	0.29	15798	658	18.07	24.01
23	2.86	250.00	11620	-1418	654	12.20	0.33	16691	748	17.78	22.32
24	3.00	250.00	12334	-1321	704	10.71	0.37	17584	845	17.52	20.81

### COMBINAZIONE n° 9

Valore della spinta statica	198.99	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	193.07	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	48.20	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14.02	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	61.26	[°]		

Incremento sismico della spinta	24.70	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 0.85	[m]	Y = -3.08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	60.44	[°]		

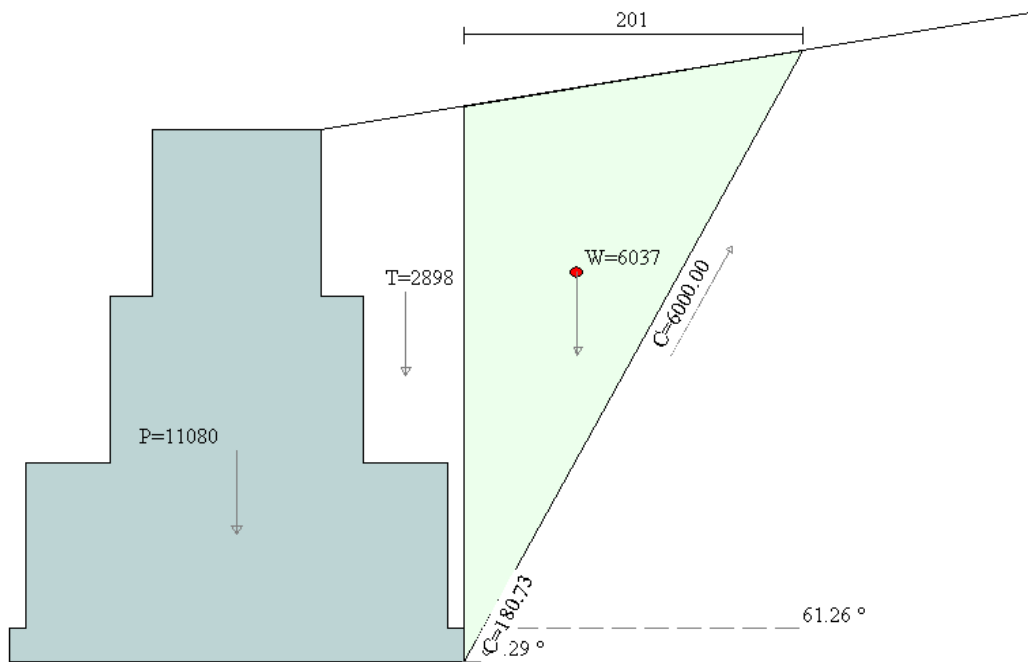
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	2898.38	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0.50	[m]	Y = -0.98	[m]
Inerzia del muro	780.02	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-390.01	[kg]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	204.04	[kg]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-102.02	[kg]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	1201.09	[kg]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	13540.52	[kg]		
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	2238.48	[kgm]		
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	21915.93	[kgm]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	13540.52	[kg]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	1201.09	[kg]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0.10	[m]		
Risultante in fondazione	13593.69	[kg]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	5.07	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1397.75	[kgm]		

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	9.79
--	------



## 16. Stabilità globale muro + terreno

### Combinazione n° 11

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/cm<sup>2</sup>]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

### Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

### Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -2.22 Y[m]= 0.00

Raggio del cerchio R[m]= 4.43

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5.49

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 2.21

Larghezza della striscia dx[m]= 0.31

Coefficiente di sicurezza C= 2.34

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	728.56	77.16	710.34	1.39	19.61	0.400	0.000
2	1246.76	63.68	1117.51	0.69	19.61	0.400	0.000
3	1515.59	55.66	1251.42	0.55	19.61	0.400	0.000
4	1710.43	49.09	1292.67	0.47	19.97	0.331	0.000

5	1885.00	43.32	1293.17	0.42	21.32	0.080	0.000
6	2053.48	38.05	1265.78	0.39	21.32	0.080	0.000
7	2187.45	33.15	1196.18	0.37	21.32	0.080	0.000
8	2344.13	28.51	1118.85	0.35	21.32	0.080	0.000
9	2438.23	24.07	994.25	0.34	21.32	0.080	0.000
10	2506.98	19.77	848.03	0.33	21.32	0.080	0.000
11	2199.41	15.59	591.14	0.32	21.32	0.080	0.000
12	1509.20	11.49	300.75	0.31	21.32	0.080	0.000
13	1306.36	7.46	169.55	0.31	21.32	0.080	0.000
14	790.20	3.46	47.65	0.31	21.32	0.080	0.000
15	792.43	-0.53	-7.28	0.31	21.32	0.080	0.000
16	784.92	-4.51	-61.75	0.31	21.32	0.080	0.000
17	765.41	-8.52	-113.40	0.31	21.32	0.080	0.000
18	733.62	-12.57	-159.67	0.32	21.32	0.080	0.000
19	689.04	-16.69	-197.85	0.32	21.32	0.080	0.000
20	630.91	-20.89	-225.01	0.33	21.32	0.080	0.000
21	558.18	-25.22	-237.87	0.34	21.32	0.080	0.000
22	469.33	-29.71	-232.63	0.35	21.32	0.080	0.000
23	362.22	-34.42	-204.73	0.37	21.32	0.080	0.000
24	233.71	-39.41	-148.36	0.40	21.32	0.080	0.000
25	79.00	-44.78	-55.65	0.43	21.32	0.080	0.000

$\Sigma W_i = 30520.56$  [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 10553.12$  [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 9898.34$  [kg]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 17852.38$  [kg]

