

Regione Piemonte

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO



COMUNE DI CAPRIE

**LAVORI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA
RIO CALCINERA E REALIZZAZIONE
DI AREE DI LAMINAZIONE
– PROGETTO ESECUTIVO LOTTO PRIMO –**

il progettista

ing. Roberto Truffa Giachet

il responsabile del servizio

geom. Patrizia Volturro



allegato



oggetto

**CALCOLI STRUTTURALI:
RELAZIONE E TABULATI SCOGLIERE**

rif. 211474

1	29/03/2021	PROGETTO DEFINITIVO	4		
2	02/11/2021	PROGETTO ESECUTIVO	5		
3			6		
EMISSIONE		NOTE	EMISSIONE		NOTE

data Novembre'21

Progetto: Scogliera tratto 45-48
Ditta: Comune di Caprie
Comune: Comune di Caprie
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 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

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.

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 γ . 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 ρ 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 ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β 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, θ 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 θ .

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 η_r .

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

Deve quindi essere verificata la seguente disuguaglianza

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

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 δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ 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 η_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 δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \tan \delta_f + c_a B_f$$

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, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_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 η_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;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	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 θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

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

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

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

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_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 α_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 ϕ_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 η . 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

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c'	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	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:

Carichi	Effetto		EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0,90	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,10	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

Carichi	Effetto		EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Coefficienti parziali		
	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		1,00	

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	2,50 [m]
Spessore in sommità	1,20 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,40 [m]
Inclinazione paramento esterno	15,60 [°]
Inclinazione paramento interno	-8,10 [°]
Lunghezza del muro	10,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,30 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	1,70 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore estremità fondazione di valle	1,00 [m]
Spessore all'incastro fondazione di valle	1,00 [m]
Spessore all'incastro fondazione di monte	0,00 [m]
Spessore estremità fondazione di monte	0,00 [m]
Spessore magrone	0,00 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2200,0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	50,0 [kg/cm ²]
Angolo di attrito interno ϕ_p	60,00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	0,0 [kg/cm ²]

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

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Terreno 1	1800	2000	32.00	21.33	0,000	0,000
Terreno 2	1800	2000	32.00	21.33	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/cm²/cm
Ks Coefficiente di spinta
Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	2,00	0,00	1,04	0,50	Terreno 1
2	2,00	0,00	3,58	0,50	Terreno 2

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 3 EQU

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10

Combinazione n° 4 STAB

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 9 EQU - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 10 EQU - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 11 STAB - Sisma Vert. positivo

γ	Ψ	C
----------	--------	---

Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 12 STAB - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 13 SLE (Quasi Permanente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 14 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 15 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 16 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 17 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 18 SLE (Frequente) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 19 SLE (Frequente) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 20 SLE (Rara) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 21 SLE (Rara) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	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

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	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

C	Tipo	Sisma	CS_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	2,28	--	6,15	--
2	A2-M2 - [1]	--	1,66	--	2,99	--
3	EQU - [1]	--	--	3,62	--	--
4	STAB - [1]	--	--	--	--	1,48
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	2,06	--	6,48	--
6	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	2,06	--	6,22	--
7	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,31	--	2,52	--
8	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,32	--	2,60	--
9	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,87	--	--
10	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3,02	--	--
11	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,38
12	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,37
13	SLEQ - [1]	--	2,72	--	6,66	--
14	SLEF - [1]	--	2,72	--	6,66	--
15	SLER - [1]	--	2,72	--	6,66	--
16	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,49	--	6,54	--
17	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,49	--	6,62	--
18	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,49	--	6,54	--
19	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,49	--	6,62	--
20	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,49	--	6,54	--
21	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,49	--	6,62	--

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

Calcolo del carico limite

Calcolo della stabilità globale

Calcolo della spinta in condizioni di

metodo di Culmann

metodo di Meyerhof

metodo di Fellenius

Spinta attiva

Sisma

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

Coefficiente riduzione (β_m)

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)

1.12 [m/s²]

1.60

1.00

0.24

0.50

$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 4.38$

$k_v = 0.50 * k_h = 2.19$

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

Coefficiente riduzione (β_m)

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)

0.43 [m/s²]

1.60

1.00

0.18

0.50

$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 1.26$

$k_v = 0.50 * k_h = 0.63$

Forma diagramma incremento sismico

Stessa forma diagramma statico

Partecipazione spinta passiva (percento)

50,0

Lunghezza del muro

10,00 [m]

Peso muro

11437,39 [kg]

Baricentro del muro

X=-1,02 Y=-1,88

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta

X = -0,50

Y = -3,50

Punto superiore superficie di spinta

X = 0,00

Y = 0,00

Altezza della superficie di spinta

3,50 [m]

Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)

-8,10 [°]

COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica

3152,34 [kg]

Componente orizzontale della spinta statica

3111,37 [kg]

Componente verticale della spinta statica

506,62 [kg]

Punto d'applicazione della spinta	X = -0,33	[m]	Y = -2,33	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,35	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	50,93	[°]		
Incremento sismico della spinta	389,73	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,33	[m]	Y = -2,33	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	48,74	[°]		
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	501,43	[kg]		
Inerzia verticale del muro	250,71	[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	3997,46	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	12257,36	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-1425,25	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	12257,36	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3997,46	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,04	[m]
Risultante in fondazione	12892,73	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,06	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	522,71	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	30856,54	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,70	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,8296	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,6125	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

N _c = 23.18	N' _c = 17.91
N _q = 12.59	N' _q = 8.88
N _γ = 8.79	N' _γ = 0.99

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.31
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.52

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]
 σ_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	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	120,00	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,13	121,71	332	-3	19	1,01	0,03	208	1	30,24	189,65
3	0,25	123,42	669	-13	47	1,90	0,05	434	5	24,56	84,55
4	0,38	125,13	1010	-27	84	2,69	0,07	681	13	20,72	51,31
5	0,50	126,84	1356	-46	131	3,36	0,09	947	27	17,95	35,58
6	0,63	128,56	1706	-67	186	3,92	0,11	1234	46	15,86	26,63
7	0,75	130,27	2061	-90	251	4,38	0,13	1542	74	14,22	20,95
8	0,88	131,98	2420	-115	325	4,73	0,14	1871	109	12,91	17,09
9	1,00	133,69	2784	-139	408	4,98	0,16	2221	155	11,83	14,32
10	1,13	135,40	3152	-162	500	5,13	0,18	2594	212	10,93	12,25
11	1,25	137,11	3525	-183	601	5,19	0,20	2988	280	10,16	10,65
12	1,38	138,82	3902	-201	711	5,14	0,22	3405	362	9,51	9,40
13	1,50	140,53	4284	-214	830	5,01	0,24	3845	459	8,93	8,38
14	1,63	142,24	4670	-223	959	4,78	0,26	4309	570	8,44	7,55
15	1,75	143,95	5061	-225	1097	4,45	0,29	4796	699	7,99	6,86
16	1,88	145,67	5456	-221	1243	4,04	0,31	5307	845	7,60	6,28
17	2,00	147,38	5856	-208	1399	3,55	0,34	5842	1010	7,25	5,78
18	2,13	149,09	6260	-185	1564	2,96	0,37	6403	1195	6,93	5,36
19	2,25	150,80	6669	-153	1738	2,29	0,40	6988	1401	6,65	4,99
20	2,38	152,51	7082	-109	1921	1,54	0,44	7599	1630	6,38	4,66
21	2,50	154,22	7500	-53	2114	0,71	0,47	8236	1882	6,15	4,38
22	2,63	155,93	7922	16	2315	0,20	0,51	8899	2159	5,93	4,12
23	2,75	157,64	8349	100	2526	1,19	0,55	9589	2461	5,73	3,90
24	2,88	159,35	8780	199	2746	2,26	0,60	10305	2791	5,54	3,69
25	3,00	161,07	9216	314	2974	3,41	0,64	11050	3148	5,37	3,51
26	3,13	162,78	9656	447	3212	4,63	0,69	11821	3535	5,21	3,34
27	3,25	164,49	10101	598	3460	5,92	0,75	12621	3952	5,06	3,19
28	3,38	166,20	10550	768	3716	7,28	0,80	13449	4400	4,92	3,06
29	3,50	167,91	11004	959	3978	8,72	0,86	14305	4881	4,79	2,93

COMBINAZIONE n° 9

Valore della spinta statica	3152,34	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	3111,37	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	506,62	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0,33	[m]	Y = -2,33	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,35	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	50,93	[°]		
Incremento sismico della spinta	252,26	[kg]		

Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,33	[m]	Y = -2,33	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	48,68	[°]		
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	501,43	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-250,71	[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	3861,78	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	11733,84	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-1425,25	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	5030,93	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	14454,53	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	11733,84	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3861,78	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,05	[m]
Risultante in fondazione	12352,98	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,22	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	549,50	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.87
--	------

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]

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

ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cm²]

Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -2,14 Y[m]= 0,00

Raggio del cerchio R[m]= 3,87

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5,18

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 1,72

Larghezza della striscia dx[m]= 0,28

Coefficiente di sicurezza C= 1.37

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	357.02	79.10	350.58	1.46	26.56	0.000	0.000
2	852.48	63.60	763.57	0.62	26.56	0.000	0.000
3	1090.48	55.38	897.43	0.49	26.56	0.000	0.000
4	1268.20	48.67	952.38	0.42	26.56	0.000	0.000
5	1409.97	42.78	957.66	0.38	26.56	0.000	0.000
6	1526.14	37.41	927.21	0.35	26.56	0.000	0.000
7	1683.98	32.41	902.54	0.33	26.56	0.000	0.000
8	1971.98	27.67	915.76	0.31	26.56	0.000	0.000
9	2154.06	23.13	846.20	0.30	26.56	0.000	0.000
10	2206.95	18.74	709.10	0.29	26.56	0.000	0.000
11	2196.08	14.46	548.54	0.29	26.56	0.000	0.000
12	1727.36	10.27	307.92	0.28	26.56	0.000	0.000
13	1145.48	6.13	122.28	0.28	26.56	0.000	0.000
14	838.38	2.02	29.54	0.28	26.56	0.000	0.000
15	748.76	-2.08	-27.16	0.28	26.56	0.000	0.000
16	717.13	-6.19	-77.30	0.28	26.56	0.000	0.000
17	697.16	-10.33	-125.00	0.28	26.56	0.000	0.000
18	666.82	-14.53	-167.25	0.29	26.56	0.000	0.000
19	625.61	-18.80	-201.66	0.29	26.56	0.000	0.000
20	572.76	-23.20	-225.60	0.30	26.56	0.000	0.000
21	507.17	-27.74	-236.05	0.31	26.56	0.000	0.000
22	427.28	-32.48	-229.45	0.33	26.56	0.000	0.000
23	330.81	-37.49	-201.33	0.35	26.56	0.000	0.000
24	214.32	-42.86	-145.79	0.38	26.56	0.000	0.000
25	72.12	-48.77	-54.24	0.42	26.56	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 26008,50$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 7539,88$ [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 11187,73$ [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

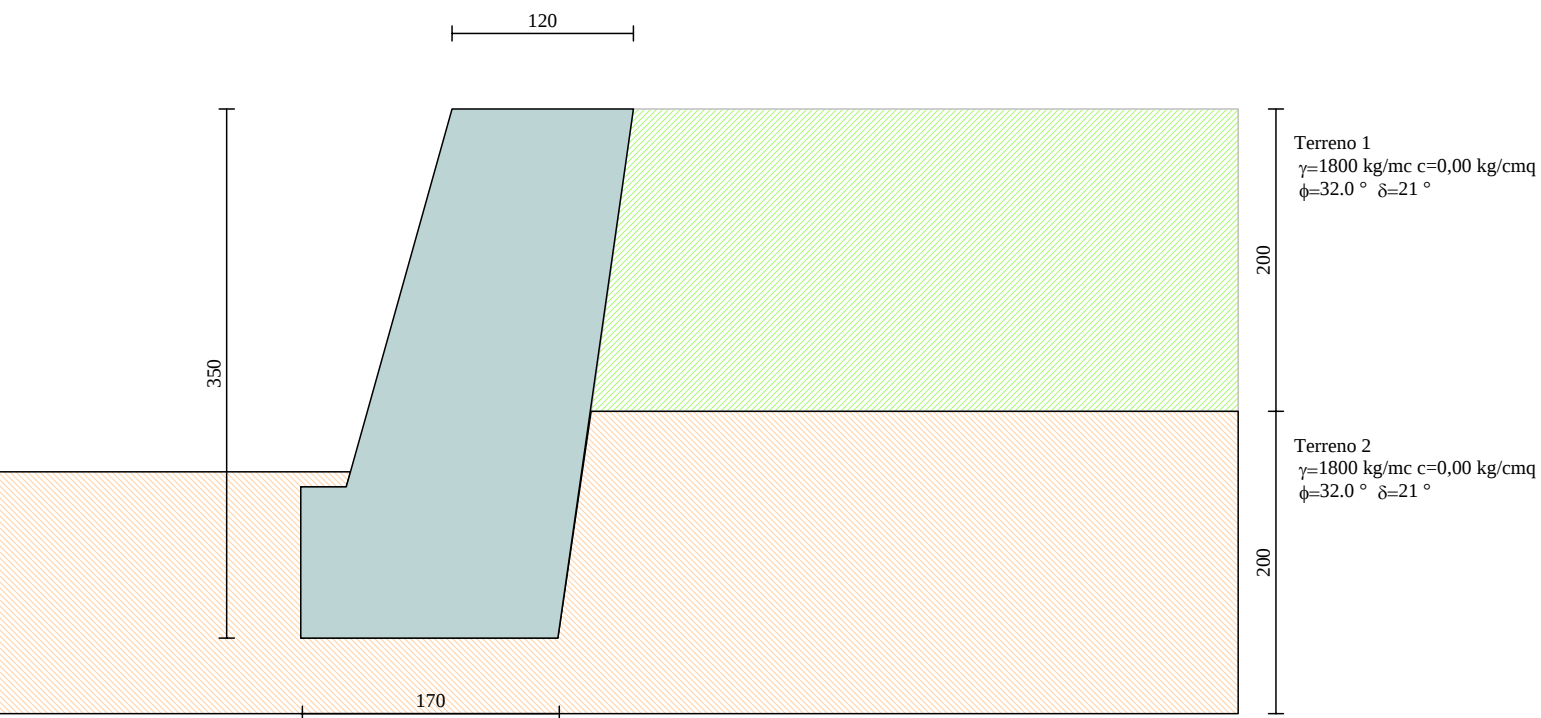
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

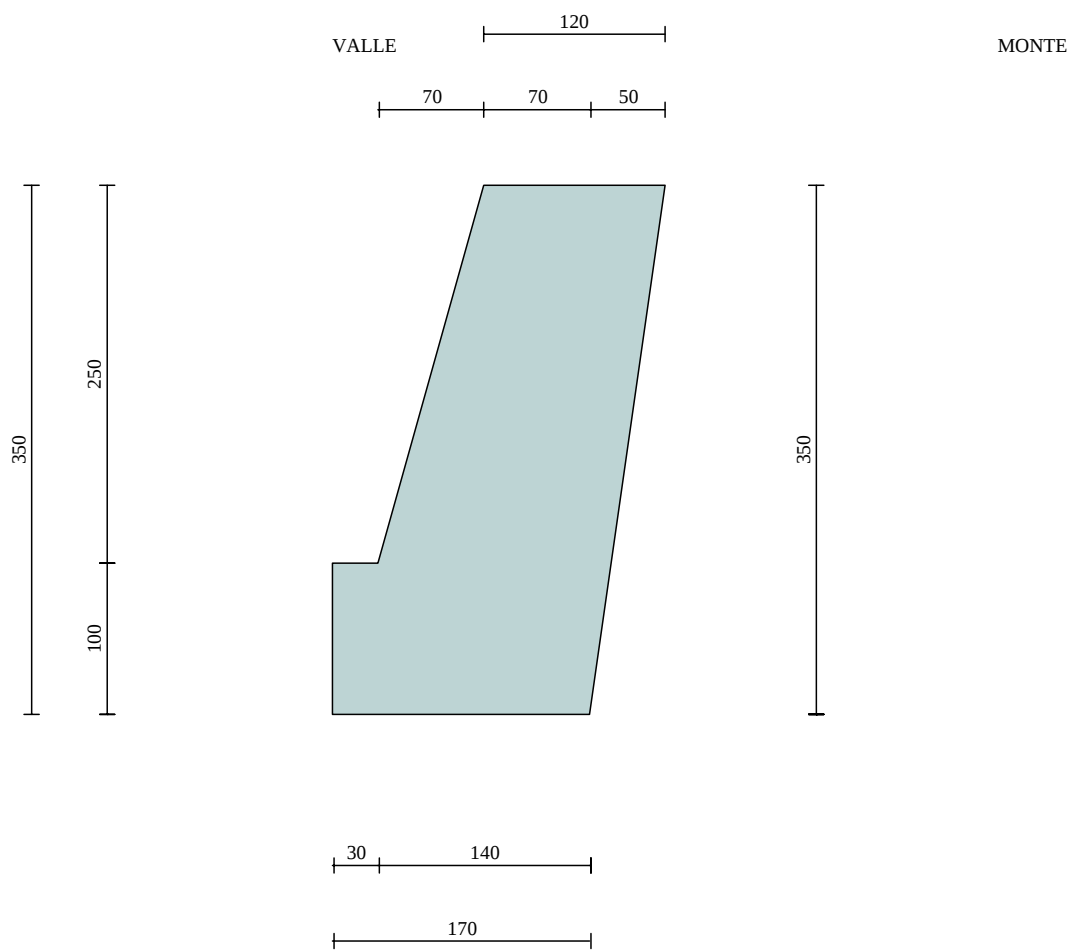
H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cm ²]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza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

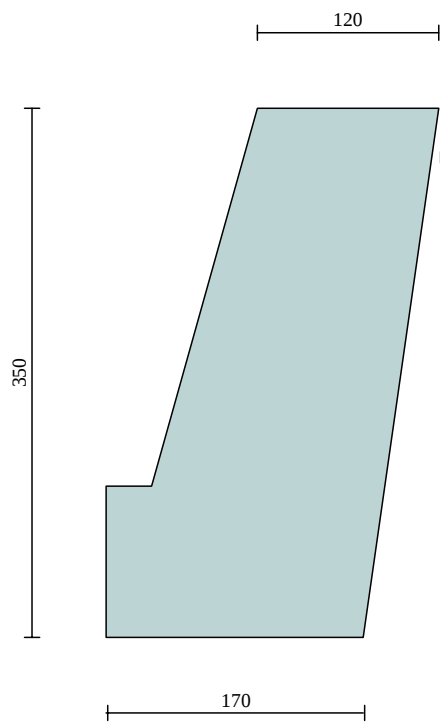
Nr.	Y	H	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	120,00	0	0	0	0	0	0
2	0,13	121,71	332	432	-6	-3	3	22
3	0,25	123,42	669	870	-22	-13	12	52
4	0,38	125,13	1010	1313	-48	-27	27	89
5	0,50	126,84	1356	1763	-83	-46	49	132
6	0,63	128,56	1706	2218	-127	-67	76	186
7	0,75	130,27	2061	2679	-178	-90	109	251
8	0,88	131,98	2420	3146	-235	-115	149	325
9	1,00	133,69	2784	3619	-298	-139	194	408
10	1,13	135,40	3152	4098	-366	-162	246	500
11	1,25	137,11	3525	4582	-438	-183	303	601
12	1,38	138,82	3902	5073	-513	-201	367	711
13	1,50	140,53	4284	5569	-591	-214	437	830
14	1,63	142,24	4670	6071	-671	-223	512	959
15	1,75	143,95	5061	6579	-751	-225	594	1097
16	1,88	145,67	5456	7093	-831	-221	682	1243
17	2,00	147,38	5856	7613	-910	-208	776	1399
18	2,13	149,09	6260	8138	-988	-185	876	1564
19	2,25	150,80	6669	8670	-1063	-153	982	1738
20	2,38	152,51	7082	9207	-1135	-109	1094	1921
21	2,50	154,22	7500	9750	-1202	-53	1212	2114
22	2,63	155,93	7922	10299	-1265	16	1337	2315
23	2,75	157,64	8349	10854	-1322	100	1467	2526
24	2,88	159,35	8780	11414	-1372	199	1604	2746
25	3,00	161,07	9216	11981	-1414	314	1746	2974
26	3,13	162,78	9656	12553	-1449	447	1895	3212
27	3,25	164,49	10101	13131	-1474	598	2049	3460
28	3,38	166,20	10550	13715	-1489	768	2210	3716
29	3,50	167,91	11004	14305	-1494	959	2375	3978

Nr.	Y	H	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	120,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,13	121,71	1,22	0,03	270	1	78,81	530,73
3	0,25	123,42	2,36	0,05	565	6	55,50	208,16
4	0,38	125,13	3,42	0,07	885	15	42,97	115,97
5	0,50	126,84	4,40	0,08	1231	28	35,14	75,63
6	0,63	128,56	5,30	0,10	1604	48	29,78	54,04
7	0,75	130,27	6,13	0,11	2004	74	25,89	41,02
8	0,88	131,98	6,88	0,13	2431	109	22,93	32,50
9	1,00	133,69	7,56	0,14	2886	155	20,60	26,59
10	1,13	135,40	8,16	0,15	3370	212	18,73	22,30
11	1,25	137,11	8,70	0,16	3882	280	17,18	19,07
12	1,38	138,82	9,17	0,17	4423	362	15,89	16,58

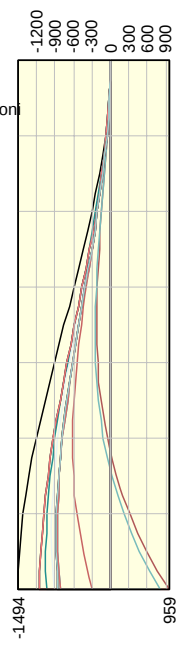
13	1,50	140,53	9,57	0,18	4995	459	14,79	14,61
14	1,63	142,24	9,90	0,19	5596	570	13,85	13,02
15	1,75	143,95	10,17	0,20	6229	699	13,02	11,71
16	1,88	145,67	10,37	0,21	6892	845	12,30	10,62
17	2,00	147,38	10,51	0,23	7587	1010	11,67	9,71
18	2,13	149,09	10,59	0,24	8315	1195	11,10	8,93
19	2,25	150,80	10,61	0,26	9074	1401	10,59	8,26
20	2,38	152,51	10,57	0,27	9867	1630	10,13	7,68
21	2,50	154,22	10,48	0,29	10694	1882	9,71	7,17
22	2,63	155,93	10,32	0,31	11554	2159	9,33	6,72
23	2,75	157,64	10,11	0,33	12449	2461	8,98	6,32
24	2,88	159,35	9,84	0,35	13379	2791	8,67	5,97
25	3,00	161,07	9,52	0,37	14344	3148	8,37	5,65
26	3,13	162,78	9,15	0,39	15346	3535	8,10	5,36
27	3,25	164,49	8,72	0,42	16383	3952	7,85	5,11
28	3,38	166,20	8,24	0,45	17458	4400	7,62	4,87
29	3,50	167,91	7,72	0,47	18568	4881	7,41	4,66



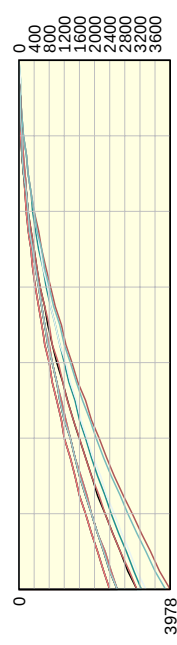




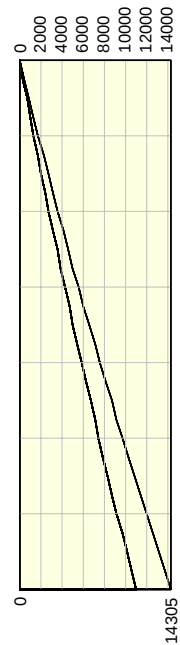
Paramento-Sollecitazioni



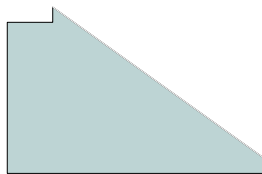
Momenti [kgm]



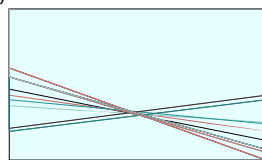
Taglio [kg]



Sforzo Normale [kg]



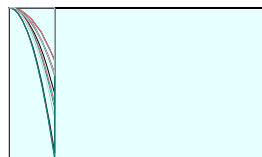
0,830



Pressioni sul terreno

1,019

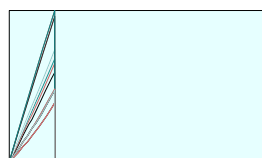
0,00



Momento

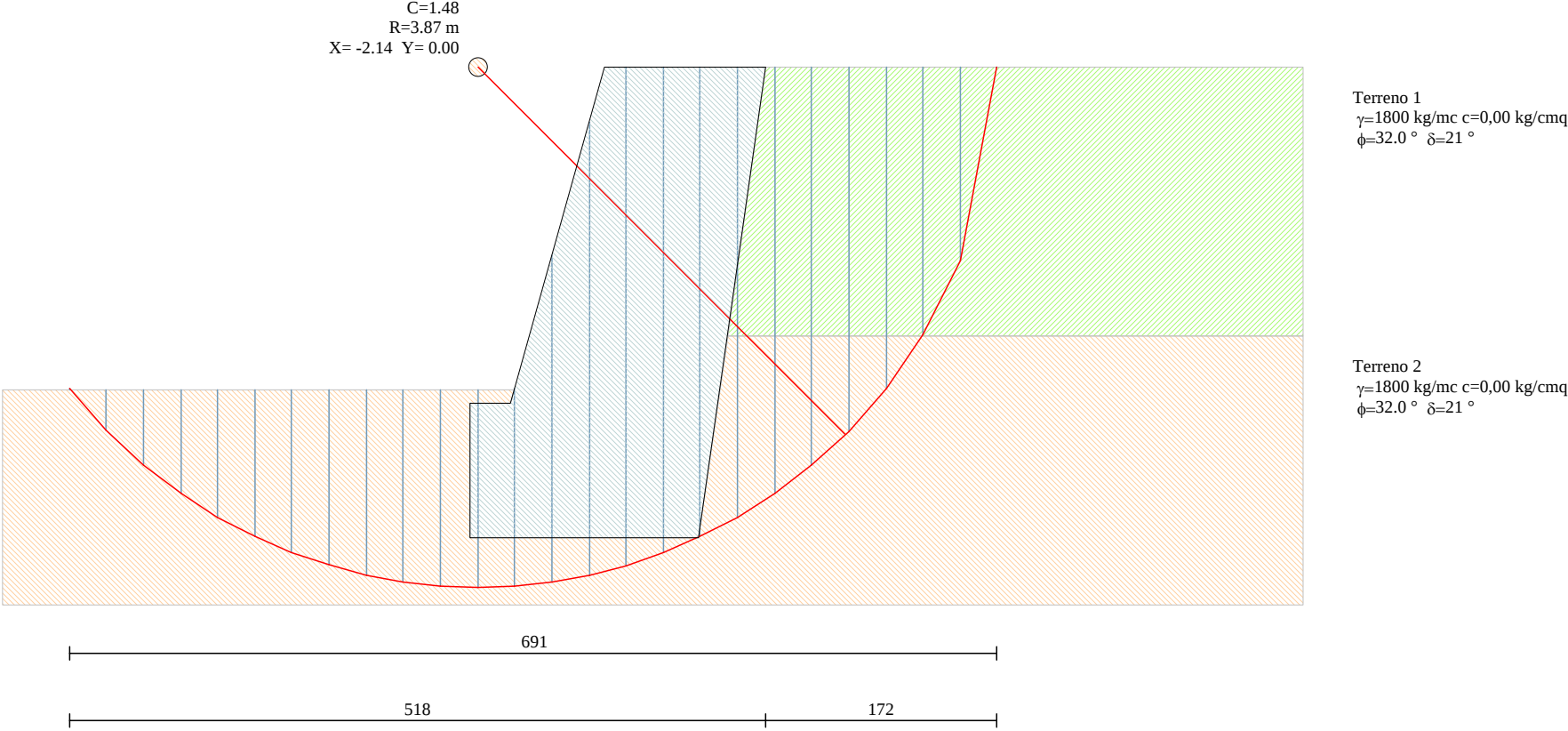
268,58

1771,35



Taglio

0,00



Progetto: Scogliera tratto 32-39
Ditta: Comune di Caprie
Comune: Comune di Caprie
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 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

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.

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 γ . 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 ρ 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 ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β 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, θ 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 θ .

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 η_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 δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ 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 η_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 δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \tan \delta_f + c_a B_f$$

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, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_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 η_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;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	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 θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

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

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

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

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_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 α_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 ϕ_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 η . 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

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c'	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	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:

Carichi	Effetto		EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0,90	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,10	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

Carichi	Effetto		EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Coefficienti parziali		
	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		1,00	

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	2,00 [m]
Spessore in sommità	1,00 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,20 [m]
Inclinazione paramento esterno	11,30 [°]
Inclinazione paramento interno	-4,00 [°]
Lunghezza del muro	20,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,40 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	1,60 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore estremità fondazione di valle	0,80 [m]
Spessore all'incastro fondazione di valle	0,80 [m]
Spessore all'incastro fondazione di monte	0,00 [m]
Spessore estremità fondazione di monte	0,00 [m]
Spessore magrone	0,00 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2200,0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	50,0 [kg/cm ²]
Angolo di attrito interno ϕ_p	60,00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	0,0 [kg/cm ²]

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	0,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Terreno 1	1800	2000	32.00	21.33	0,000	0,000
Terreno 2	1800	2000	32.00	21.33	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/cm²/cm
Ks Coefficiente di spinta
Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	2,00	0,00	1,04	0,50	Terreno 1
2	2,00	0,00	2,76	0,50	Terreno 2

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,30	1.00	1,30
Spinta terreno	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 3 EQU

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,10	1.00	1,10
Spinta terreno	1,10	1.00	1,10

Combinazione n° 4 STAB

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	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

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 9 EQU - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 10 EQU - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 11 STAB - Sisma Vert. positivo

γ	Ψ	C
----------	--------	---

Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 12 STAB - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 13 SLE (Quasi Permanente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 14 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 15 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 16 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 17 SLE (Quasi Permanente) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 18 SLE (Frequente) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 19 SLE (Frequente) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 20 SLE (Rara) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 21 SLE (Rara) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	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

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	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

C	Tipo	Sisma	CS_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	2,10	--	6,47	--
2	A2-M2 - [1]	--	1,57	--	3,08	--
3	EQU - [1]	--	--	4,10	--	--
4	STAB - [1]	--	--	--	--	1,45
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,93	--	6,80	--
6	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,93	--	6,54	--
7	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1,25	--	2,53	--
8	A2-M2 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1,26	--	2,61	--
9	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	3,27	--	--
10	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3,46	--	--
11	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,35
12	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,35
13	SLEQ - [1]	--	2,52	--	7,26	--
14	SLEF - [1]	--	2,52	--	7,26	--
15	SLER - [1]	--	2,52	--	7,26	--
16	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,32	--	7,05	--
17	SLEQ - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,32	--	7,14	--
18	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,32	--	7,05	--
19	SLEF - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,32	--	7,14	--
20	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale positivo	2,32	--	7,05	--
21	SLER - [1]	Orizzontale + Verticale negativo	2,32	--	7,14	--

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	1.12 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.60
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 4.38$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 2.19$

Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo a_g	0.43 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.60
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 1.26$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 0.63$

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

Partecipazione spinta passiva (percento)	50,0
Lunghezza del muro	20,00 [m]

Peso muro	7843,52 [kg]
Baricentro del muro	X=-0,77 Y=-1,54

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = -0,20	Y = -2,80
Punto superiore superficie di spinta	X = 0,00	Y = 0,00
Altezza della superficie di spinta	2,80 [m]	
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	-4,00 [°]	

COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	2203,77	[kg]
Componente orizzontale della spinta statica	2144,23	[kg]
Componente verticale della spinta statica	508,78	[kg]

Punto d'applicazione della spinta	X = -0,13	[m]	Y = -1,87	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,35	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	52,51	[°]		
Incremento sismico della spinta	256,96	[kg]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,13	[m]	Y = -1,87	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	50,26	[°]		
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	343,87	[kg]		
Inerzia verticale del muro	171,93	[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	2738,12	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	8583,56	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-753,85	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	8583,56	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	2738,12	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,04	[m]
Risultante in fondazione	9009,71	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,69	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	319,90	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	21674,44	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,6098	[kg/cm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,4606	[kg/cm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

N _c = 23.18	N' _c = 17.38
N _q = 12.59	N' _q = 8.78
N _γ = 8.79	N' _γ = 1.06

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.25
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.53

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]
 σ_p tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cm²]
 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	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	100,00	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,10	101,30	221	-1	13	0,41	0,02	114	1	30,05	195,13
3	0,20	102,60	446	-3	32	0,74	0,04	238	3	24,30	86,09
4	0,30	103,90	673	-7	57	0,97	0,06	370	7	20,44	51,77
5	0,40	105,20	902	-10	88	1,11	0,08	511	14	17,67	35,60
6	0,50	106,49	1135	-13	126	1,16	0,10	662	25	15,58	26,45
7	0,60	107,79	1370	-16	170	1,13	0,12	823	40	13,95	20,67
8	0,70	109,09	1609	-16	220	1,02	0,14	993	59	12,65	16,75
9	0,80	110,39	1850	-15	277	0,82	0,16	1173	84	11,58	13,95
10	0,90	111,69	2094	-11	339	0,54	0,18	1363	115	10,69	11,87
11	1,00	112,99	2340	-4	408	0,18	0,21	1564	152	9,93	10,28
12	1,10	114,29	2590	7	483	0,26	0,23	1774	197	9,28	9,02
13	1,20	115,59	2842	22	565	0,78	0,26	1996	249	8,72	8,01
14	1,30	116,89	3097	42	652	1,37	0,28	2228	310	8,22	7,19
15	1,40	118,19	3355	68	746	2,04	0,31	2471	380	7,79	6,51
16	1,50	119,48	3615	100	846	2,78	0,34	2725	459	7,40	5,93
17	1,60	120,78	3879	139	952	3,59	0,38	2990	549	7,05	5,45
18	1,70	122,08	4145	185	1065	4,47	0,41	3267	650	6,74	5,03
19	1,80	123,38	4414	239	1184	5,42	0,45	3556	762	6,46	4,66
20	1,90	124,68	4686	302	1309	6,44	0,49	3856	887	6,20	4,35
21	2,00	125,98	4961	373	1440	7,53	0,53	4168	1024	5,97	4,07
22	2,10	127,28	5238	455	1578	8,68	0,58	4492	1175	5,75	3,82
23	2,20	128,58	5518	546	1721	9,90	0,63	4829	1340	5,55	3,60
24	2,30	129,88	5801	649	1871	11,18	0,68	5178	1520	5,37	3,41
25	2,40	131,17	6087	762	2027	12,53	0,73	5539	1714	5,20	3,23
26	2,50	132,47	6376	888	2190	13,93	0,79	5914	1925	5,04	3,07
27	2,60	133,77	6667	1027	2358	15,40	0,84	6301	2153	4,90	2,93
28	2,70	135,07	6962	1178	2533	16,92	0,90	6701	2397	4,76	2,80
29	2,80	136,37	7259	1344	2712	18,51	0,97	7114	2659	4,64	2,68

COMBINAZIONE n° 9

Valore della spinta statica	2203,77	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	2144,23	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	508,78	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0,13	[m]	Y = -1,87	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,35	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	52,51	[°]		
Incremento sismico della spinta	160,83	[kg]		

Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = -0,13	[m]	Y = -1,87	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	50,13	[°]		
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	343,87	[kg]		
Inerzia verticale del muro	-171,93	[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	2644,58	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	8217,50	[kg]
Resistenza passiva a valle del muro	-753,85	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	2761,41	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	9019,70	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	8217,50	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	2644,58	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,04	[m]
Risultante in fondazione	8632,56	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,84	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	331,50	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.27
--	------

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]

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

ϕ 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]= -1,75 Y[m]= 0,00

Raggio del cerchio R[m]= 3,20

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -4,26

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 1,45

Larghezza della striscia dx[m]= 0,23

Coefficiente di sicurezza C= 1.35

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	244.29	79.11	239.89	1.21	26.56	0.000	0.000
2	583.31	63.61	522.55	0.51	26.56	0.000	0.000
3	746.19	55.40	614.25	0.40	26.56	0.000	0.000
4	867.82	48.70	651.97	0.35	26.56	0.000	0.000
5	964.85	42.81	655.72	0.31	26.56	0.000	0.000
6	1044.39	37.45	635.02	0.29	26.56	0.000	0.000
7	1171.31	32.45	628.43	0.27	26.56	0.000	0.000
8	1413.70	27.71	657.42	0.26	26.56	0.000	0.000
9	1465.57	23.18	576.81	0.25	26.56	0.000	0.000
10	1501.68	18.79	483.74	0.24	26.56	0.000	0.000
11	1509.92	14.52	378.53	0.24	26.56	0.000	0.000
12	1111.78	10.33	199.30	0.23	26.56	0.000	0.000
13	626.57	6.19	67.57	0.23	26.56	0.000	0.000
14	565.59	2.09	20.59	0.23	26.56	0.000	0.000
15	509.79	-2.01	-17.85	0.23	26.56	0.000	0.000
16	485.85	-6.11	-51.71	0.23	26.56	0.000	0.000
17	472.32	-10.25	-84.01	0.23	26.56	0.000	0.000
18	451.73	-14.44	-112.62	0.24	26.56	0.000	0.000
19	423.72	-18.71	-135.90	0.24	26.56	0.000	0.000
20	387.77	-23.09	-152.08	0.25	26.56	0.000	0.000
21	343.14	-27.62	-159.09	0.26	26.56	0.000	0.000
22	288.78	-32.35	-154.53	0.27	26.56	0.000	0.000
23	223.14	-37.35	-135.37	0.29	26.56	0.000	0.000
24	143.91	-42.70	-97.60	0.31	26.56	0.000	0.000
25	47.27	-48.58	-35.45	0.35	26.56	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 17594,38$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 5195,57$ [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 7551,69$ [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

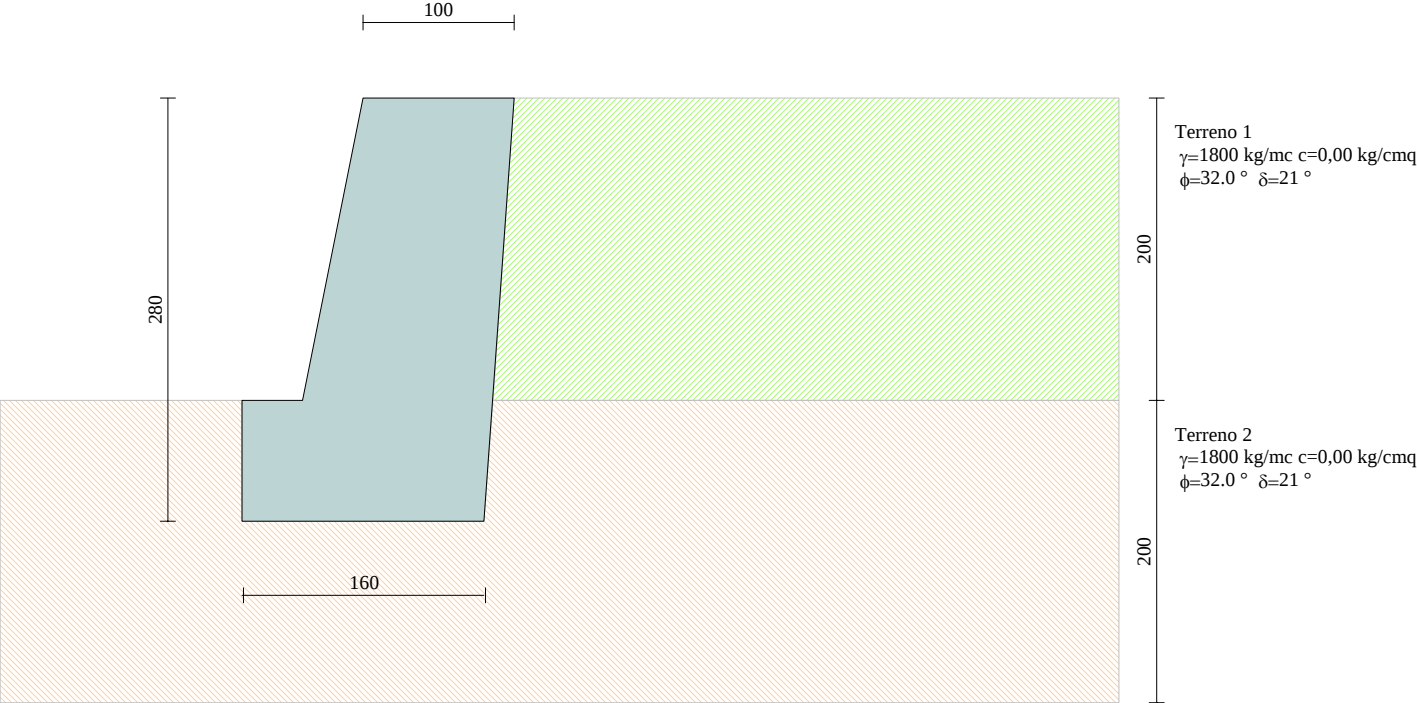
Le verifiche sono effettuate assumendo una base della sezione B=100 cm

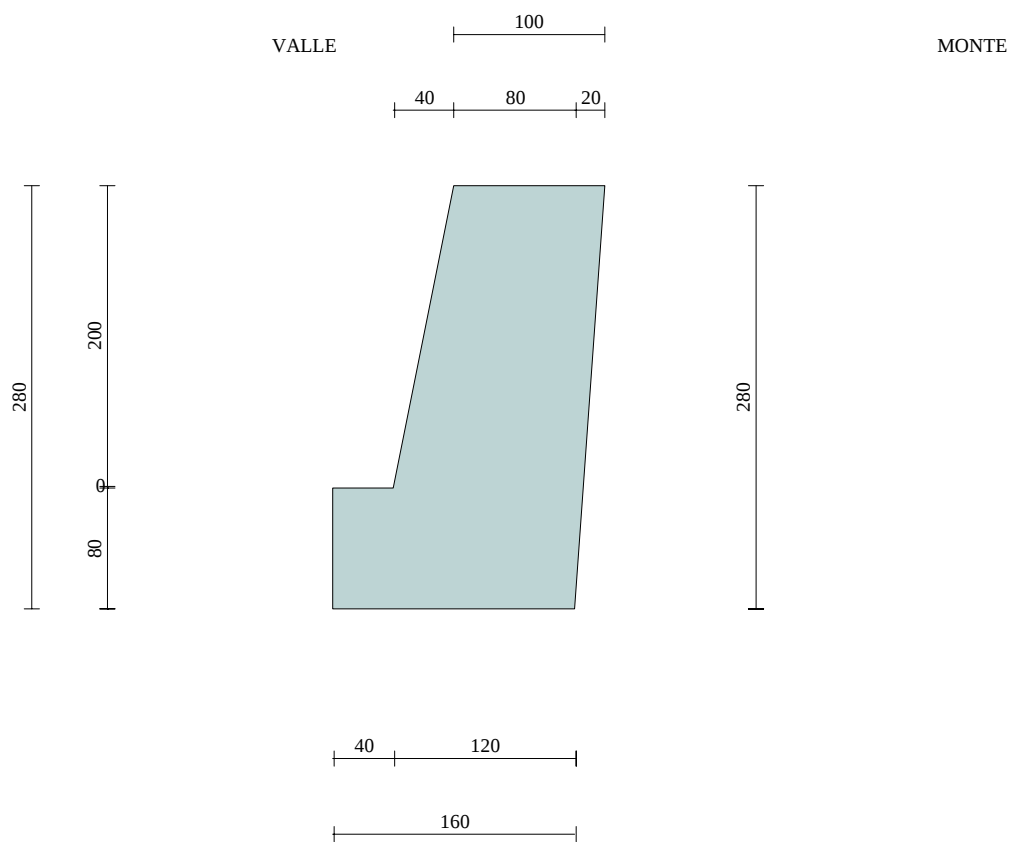
H	altezza della sezione espressa in [cm]
N	sforzo normale [kg]
M	momento flettente [kgm]
T	taglio [kg]
e	eccentricità dello sforzo rispetto al baricentro [cm]
σ_p	tensione di compressione massima nel pietrame in [kg/cm ²]
Ms	momento stabilizzante [kgm]
Mr	momento ribaltante [kgm]
Cs	coeff. di sicurezza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

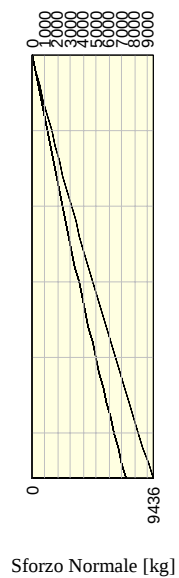
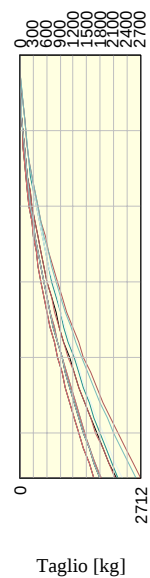
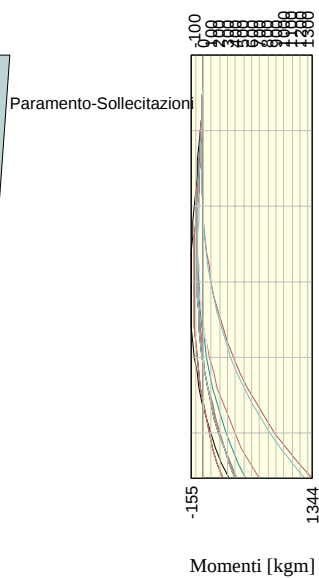
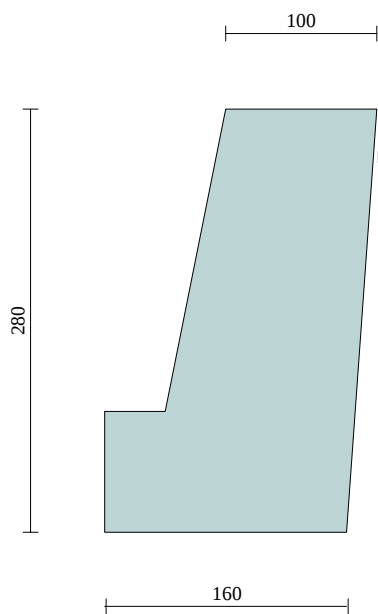
Nr.	Y	H	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	100,00	0	0	0	0	0	0
2	0,10	101,30	221	288	-2	-1	2	15
3	0,20	102,60	446	579	-7	-3	9	35
4	0,30	103,90	673	874	-15	-7	19	60
5	0,40	105,20	902	1173	-26	-10	34	90
6	0,50	106,49	1135	1476	-38	-13	53	126
7	0,60	107,79	1370	1782	-52	-16	77	170
8	0,70	109,09	1609	2091	-67	-16	104	220
9	0,80	110,39	1850	2405	-82	-15	136	277
10	0,90	111,69	2094	2722	-97	-11	172	339
11	1,00	112,99	2340	3042	-111	-4	213	408
12	1,10	114,29	2590	3366	-124	7	257	483
13	1,20	115,59	2842	3694	-136	22	306	565
14	1,30	116,89	3097	4026	-145	42	360	652
15	1,40	118,19	3355	4361	-152	68	417	746
16	1,50	119,48	3615	4700	-155	100	479	846
17	1,60	120,78	3879	5042	-155	139	545	952
18	1,70	122,08	4145	5389	-151	185	615	1065
19	1,80	123,38	4414	5738	-142	239	689	1184
20	1,90	124,68	4686	6092	-128	302	768	1309
21	2,00	125,98	4961	6449	-109	373	851	1440
22	2,10	127,28	5238	6809	-83	455	938	1578
23	2,20	128,58	5518	7174	-50	546	1030	1721
24	2,30	129,88	5801	7542	-11	649	1125	1871
25	2,40	131,17	6087	7913	28	762	1225	2027
26	2,50	132,47	6376	8289	71	888	1330	2190
27	2,60	133,77	6667	8668	120	1027	1438	2358
28	2,70	135,07	6962	9050	177	1178	1551	2533
29	2,80	136,37	7259	9436	241	1344	1666	2712

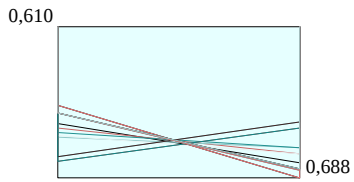
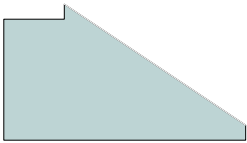
Nr.	Y	H	e	σ_p	Ms	Mr	Cs	Cr
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
2	0,10	101,30	0,58	0,02	149	1	77,14	539,35
3	0,20	102,60	1,10	0,04	309	3	53,86	208,21
4	0,30	103,90	1,55	0,06	480	8	41,50	114,61
5	0,40	105,20	1,94	0,08	664	15	33,83	73,99
6	0,50	106,49	2,26	0,09	859	26	28,60	52,42
7	0,60	107,79	2,52	0,11	1067	40	24,82	39,48
8	0,70	109,09	2,72	0,13	1287	59	21,95	31,06
9	0,80	110,39	2,86	0,14	1519	84	19,70	25,25
10	0,90	111,69	2,94	0,16	1765	115	17,89	21,05
11	1,00	112,99	2,96	0,17	2023	152	16,40	17,91
12	1,10	114,29	2,92	0,19	2295	197	15,15	15,49

13	1,20	115,59	2,83	0,21	2581	249	14,09	13,58
14	1,30	116,89	2,69	0,23	2880	310	13,18	12,05
15	1,40	118,19	2,49	0,25	3193	380	12,39	10,79
16	1,50	119,48	2,24	0,27	3520	459	11,70	9,75
17	1,60	120,78	1,93	0,29	3861	549	11,09	8,88
18	1,70	122,08	1,57	0,31	4218	650	10,54	8,14
19	1,80	123,38	1,17	0,34	4588	762	10,05	7,50
20	1,90	124,68	0,71	0,36	4974	887	9,61	6,95
21	2,00	125,98	0,21	0,39	5375	1024	9,21	6,47
22	2,10	127,28	0,35	0,42	5792	1175	8,84	6,05
23	2,20	128,58	0,94	0,45	6224	1340	8,51	5,67
24	2,30	129,88	1,59	0,48	6672	1520	8,21	5,34
25	2,40	131,17	2,28	0,51	7136	1714	7,93	5,04
26	2,50	132,47	3,02	0,55	7616	1925	7,67	4,78
27	2,60	133,77	3,80	0,58	8112	2153	7,43	4,54
28	2,70	135,07	4,62	0,62	8626	2397	7,20	4,32
29	2,80	136,37	5,48	0,66	9155	2659	7,00	4,12

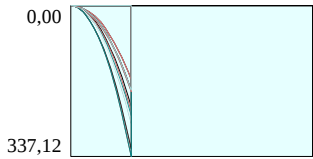




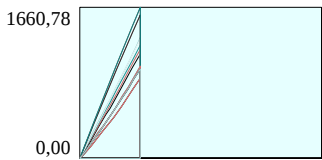




Pressioni sul terreno



Momento



Taglio

