CERVAROLO
GIUSEPPE
01.04.2022 10:47:57
GMT+00:00

# COMUNE DI BOLANO

PROVINCIA DI LA SPEZIA

## PROGETTO DEFINITIVO

# INTERVENTO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL CANALE VILLA NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE SU VIA PICARDA E LA PASSERELLA PEDONALE DI P.ZZA DELLE CORRIERE A CEPARANA

## RELAZIONE DI CALCOLO MURO DI SPONDA SEZIONE N. 2



COD. ELABORATO

PDST1501

### PROGETTISTA


DOTT. ING. GIUSEPPE CERVAROLO (CSP)
WWW.INGEGNERECERVAROLO.IT


ORDINE INGEGNERI COSENZA
Ingegnere
CERVAROLO
GIUSEPPE
Laurea Specialistica
Sezione: A n. 4572
Settori: Civile-Ambientale

### R.U.P.

GEOM. LORENZO BRAGAZZI

| REV. | DATA | DESCRIZIONE REVISIONE | ESEGUITO |
|---|---|---|---|
| A | LUGLIO 2021 | EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO | ING. CERVAROLO |
| B | SETTEMRE 2021 | INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO | ING. CERVAROLO |
| C | DICEMBRE 2021 | INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO | ING. CERVAROLO |
| D | FEBBRAIO 2022 | INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO | ING. CERVAROLO |

## Relazione di calcolo

Progetto:
Ditta:
Comune: Bolano
Progettista: Ing. Giuseppe Cervarolo
Direttore dei Lavori:
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 stabilitàdei 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)
- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

## Richiami teorici

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

Se il muro è in calcestruzzo armato: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
Se il muro è a gravità: 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 valodi 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 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 incrementati i soli carichi variabili.

#### *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 falda*

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

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

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

#### *Spinta in presenza di sisma*

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta $\varepsilon$ l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e $\beta$ l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta *S'* considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \qquad \beta' = \beta + \theta$$

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

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

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

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

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 $\eta_r$.
Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza:

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

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 $\eta_s$

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

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

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

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo $\rho$ (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta *N* la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione, *Q* l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo, $S_p$ la resistenza passiva, $L_c$ l'ampiezza del cuneo 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

$$F_r = \left(N - Q\right) \tan \delta_f S_p + c_a L_r$$

con

$$L_r = B_r - L_c$$

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 percento.
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 normaledella 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:

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

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

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

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
N fattori di capacità portante
d fattori di profondità del piano di posa
i fattori di inclinazione del carico

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fattori di capacità portante | | $N_c = \left(N_q - 1\right) \cot \varphi$ | $N_q = e^{\pi \tan \varphi} K_p$ | $N_\gamma = \left(N_q - 1\right) \tan(1.4\varphi)$ |
| Fattori di forma | $\varphi = 0$ | $s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$ | $s_q = 1$ | $s_\gamma = 1$ |
| | $\varphi > 0$ | $s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$ | $s_q = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$ | $s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$ |
| Fattori di profondità | $\varphi = 0$ | $d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$ | $d_q = 1$ | $d_\gamma = 1$ |
| | $\varphi > 0$ | $d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$ | $d_q = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$ | $d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$ |
| Fattori di inclinazione del carico | $\varphi = 0$ | $i_c = \left(1 - \frac{\theta°}{90°}\right)^2$ | $i_q = \left(1 - \frac{\theta°}{90°}\right)^2$ | $i_\gamma = 0$ |
| | $\varphi > 0$ | $i_c = \left(1 - \frac{\theta°}{90°}\right)^2$ | $i_q = \left(1 - \frac{\theta°}{90°}\right)^2$ | $i_g = \left(1 - \frac{\theta°}{\varphi°}\right)^2$ |

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

$$K_p = \tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Riduzione per eccentricità del carico

Nel caso in cui il carico al piano di posa della fondazione risulta eccentrico, Meyerhof propone di moltiplicare la capacità portante ultima per un fattore correttivo $R_e$

| | |
|---|---|
| $R_e = 1.0 - 2.0\frac{e}{B}$ | per terreni coesivi |
| $R_e = 1.0 - \sqrt{\frac{e}{B}}$ | per terreni incoerenti |

con e eccentricità del carico e B la dimensione minore della fondazione.

Riduzione per effetto piastra

Per valori elevati di B (dimensione minore della fondazione), Bowles propone di utilizzare un fattore correttivo $r_\gamma$ del solo termine sul peso di volume (0.5 B $\gamma$ $N_\gamma$) quando B supera i 2 m.

$$r_\gamma = 1.0 - 0.25 \log \frac{B}{2{,}0}$$

Il termine sul peso di volume diventa:

$$0.5 B \gamma N_\gamma r_\gamma$$

## Verifica alla stabilità globale

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

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.
Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^{n} \left[ \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i}{m} \right]}{\sum_{i=0}^{n} W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine *m* è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\tan \varphi_i \tan \alpha_i}{\eta}\right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione *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 $i_{esima}$ , $c_i$ e $\phi_i$ sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed $u_i$ è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di $\eta$. Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per $\eta$ da inserire nell'espressione di *m* ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

# Dati

## Materiali

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice materiale |
| Descr | Descrizione del materiale |

Calcestruzzo armato

| | |
|---|---|
| C | Classe di resistenza del cls |
| A | Classe di resistenza dell'acciaio |
| $\gamma$ | Peso specifico, espresso in [kg/mc] |
| $R_{ck}$ | Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kg/cmq] |
| E | Modulo elastico, espresso in [kg/cmq] |
| $\nu$ | Coeff. di Poisson |
| n | Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls |
| ntc | Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso |

### *Calcestruzzo armato*

| n° | Descr | C | A | $\gamma$ | $R_{ck}$ | E | $\nu$ | n | ntc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *[kg/mc]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | | | |
| 1 | C35/45 | C35/45 | B450C | 2500,00 | 458,86 | 353075 | 0.30 | 15.00 | 0.50 |

### *Acciai*

| Descr | $f_{yk}$ | $f_{uk}$ |
|---|---|---|
| | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* |
| B450C | 4588,65 | 5506,38 |

## Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata
(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 |
|---|---|---|---|
| | *[m]* | *[m]* | *[°]* |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0.000 |
| 2 | 8,00 | 0,00 | 0.000 |
| 3 | 10,00 | 0,00 | 0.000 |
| 4 | 12,00 | 0,00 | 0.000 |
| 5 | 14,00 | 0,00 | 0.000 |

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

## Geometria muro

### *Geometria paramento e fondazione*

| | | |
|---|---|---|
| Lunghezza muro | 6,50 | [m] |
| Paramento | | |
| Materiale | C35/45 | |
| Altezza paramento | 5,90 | [m] |
| Altezza paramento libero | 4,90 | [m] |
| Spessore in sommità | 0,80 | [m] |
| Spessore all'attacco con la fondazione | 0,80 | [m] |
| Inclinazione paramento esterno | 0,00 | [°] |
| Inclinazione paramento interno | 0,00 | [°] |
| Fondazione | | |
| Materiale | C35/45 | |
| Lunghezza mensola di valle | 2,00 | [m] |
| Lunghezza mensola di monte | 2,00 | [m] |
| Lunghezza totale | 4,80 | [m] |
| Inclinazione piano di posa | 0,00 | [°] |
| Spessore | 0,60 | [m] |
| Spessore magrone | 0,00 | [m] |

Sperone

| | | |
|---|---|---|
| Posizione | Definita | |
| Distanza dal tacco della fondazione | 2,50 | [m] |
| Altezza | 1,00 | [m] |
| Spessore | 0,70 | [m] |

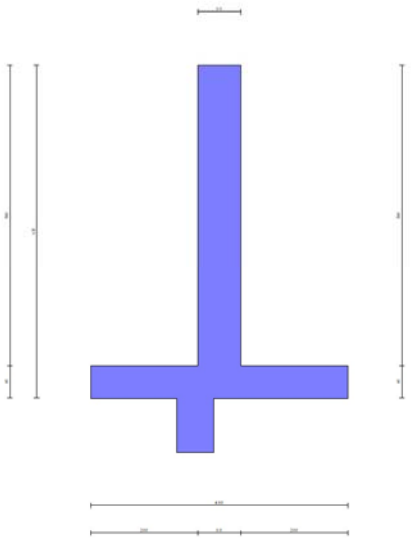


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

## Descrizione terreni

### Parametri di resistenza

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice del terreno |
| Descr | Descrizione terreno |
| $\gamma$ | Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\gamma_s$ | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc] |
| $\phi$ | Angolo d'attrito interno espresso in [°] |
| $\delta$ | Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°] |
| c | Coesione espressa in [kg/cmq] |
| $c_a$ | Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq] |

Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix

| | |
|---|---|
| Cesp | Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix) |
| $\tau$l | Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cmq] |

| n° | Descr | $\gamma$ [kg/mc] | $\gamma_{sat}$ [kg/mc] | $\phi$ [°] | $\delta$ [°] | c [kg/cmq] | ca [kg/cmq] | Cesp | $\tau$l [kg/cmq] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Terreni limo argilloso con sabbia e ghiaia | 1980,00 | 2380,00 | 25.570 | 17.050 | 0,00 | 0,00 | --- | --- | |

## Stratigrafia

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice dello strato |
| H | Spessore dello strato espresso in [m] |
| $\alpha$ | Inclinazione espressa in [°] |
| Terreno | Terreno dello strato |

Per calcolo pali (solo se presenti)

| | |
|---|---|
| Kw | Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm$^2$/cm |
| Ks | Coefficiente di spinta |
| Cesp | Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix) |

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')

| | |
|---|---|
| $Kst_{sta}$, $Kst_{sis}$ | Coeff. di spinta statico e sismico |

| n° | H [m] | $\alpha$ [°] | Terreno | Kw [Kg/cm$^3$] | Ks | Cesp | $Kst_{sta}$ | $Kst_{sis}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7,95 | 0.000 | Terreni limo argilloso con sabbia e ghiaia | --- | --- | --- | --- | --- |

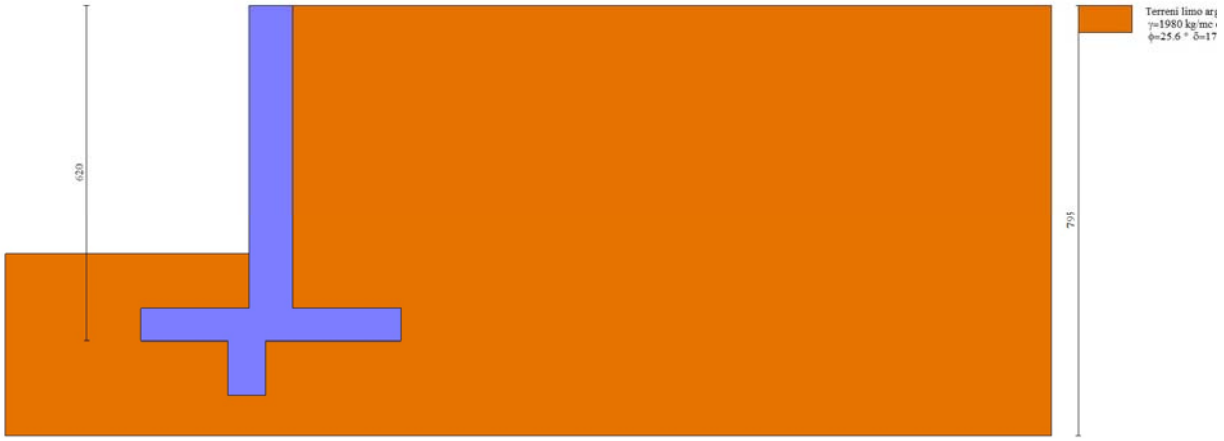



Fig. 2 - Stratigrafia

## Condizioni di carico

### Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

| | |
|---|---|
| X | Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m] |
| $F_x$ | Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg] |
| $F_y$ | Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg] |
| M | Momento espresso in [kgm] |
| $X_i$ | Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m] |
| $X_f$ | Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m] |
| $Q_i$ | Intensità del carico per x=$X_i$ espressa in [kg] |
| $Q_f$ | Intensità del carico per x=$X_f$ espressa in [kg] |

Condizione n° 1 (Condizione 1) - VARIABILE
Coeff. di combinazione $\Psi_0$=1.00 - $\Psi_1$=1.00 - $\Psi_2$=1.00

## Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018) + Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7**

Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

| Carichi | Effetto | | Combinazioni statiche | | | | Combinazioni sismiche | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | UPL | EQU | A1 | A2 | EQU | A1 | A2 |
| Permanenti strutturali | Favorevoli | $\gamma_{G1,fav}$ | 0.90 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti strutturali | Sfavorevoli | $\gamma_{G1,sfav}$ | 1.10 | 1.30 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti non strutturali | Favorevoli | $\gamma_{G2,fav}$ | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Permanenti non strutturali | Sfavorevoli | $\gamma_{G2,sfav}$ | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevoli | $\gamma_{Q,fav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevoli | $\gamma_{Q,sfav}$ | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili da traffico | Favorevoli | $\gamma_{QT,fav}$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili da traffico | Sfavorevoli | $\gamma_{QT,sfav}$ | 1.50 | 1.35 | 1.35 | 1.15 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

| Parametro | | Combinazioni statiche | | Combinazioni sismiche | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | M1 | M2 | M1 | M2 |
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan(\phi')}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00 |
| Resistenza non drenata | $\gamma_{cu}$ | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| Peso nell'unita di volume | $\gamma_{\gamma}$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

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

| Verifica | Combinazioni statiche | | | Combinazioni sismiche | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 |
| Capacità portante | -- | -- | 1.40 | -- | -- | 1.20 |
| Scorrimento | -- | -- | 1.10 | -- | -- | 1.00 |
| Resistenza terreno a valle | -- | -- | 1.40 | -- | -- | 1.20 |
| Ribaltameno | -- | -- | 1.15 | -- | -- | 1.00 |
| Stabilità fronte di scavo | -- | 1.10 | -- | -- | 1.20 | -- |

## Descrizione combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:
- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{0,2} Q_{k2} + \Psi_{0,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{1,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti di lungo periodo:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + ...$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni variabili.
I valori dei coeff. $\gamma_G$ e $\gamma_Q$, sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| $\gamma$ | Coefficiente di partecipazione della condizione |
| $\Psi$ | Coefficiente di combinazione della condizione |

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.30 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

| Condizione | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 7 - EQU (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 8 - EQU (A1-M1-R3) H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 9 - EQU (A1-M1-R3) H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 10 - SLER

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 11 - SLEF

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 12 - SLEQ

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 13 - SLEQ H + V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 14 - SLEQ H - V

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|---|---|---|---|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Condizione 1 | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

## Dati sismici

| | |
|---|---|
| Comune | Bolano |
| Provincia | La Spezia |
| Regione | Liguria |
| Latitudine | 44.187587 |
| Longitudine | 9.895017 |
| Indice punti di interpolazione | 18041 - 18042 - 17820 - 17819 |
| Vita nominale | 50 anni |
| Classe d'uso | III |
| Tipo costruzione | Normali affollamenti |
| Vita di riferimento | 75 anni |

| | Simbolo | U.M. | | SLU | SLE |
|---|---|---|---|---|---|
| Accelerazione al suolo | $a_g$ | [m/s$^2$] | | 1.723 | 0.719 |
| Accelerazione al suolo | $a_g/g$ | [%] | | 0.176 | 0.073 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale | F0 | | | 2.386 | 2.466 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante | Tc* | | | 0.293 | 0.261 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico | Ss | | B | 1.200 | 1.200 |
| Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica | St | | T2 | 1.200 | |

| Stato limite ... | Coeff. di riduzione $\beta_m$ | kh [%] | kv [%] |
|---|---|---|---|
| Ultimo | 0.380 | 9.612 | 4.806 |
| Ultimo - Ribaltamento | 0.570 | 14.418 | 7.209 |
| Esercizio | 0.470 | 4.963 | 2.482 |

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

## Opzioni di calcolo

Spinta
Metodo di calcolo della spinta Culmann
Tipo di spinta Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità NO
Superficie di spinta limitata NO

Capacità portante
Metodo di calcolo della portanza Meyerhof
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza Meyerhof
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) Nessuna
Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite ($0.5B\gamma N_\gamma$) Larghezza ridotta (B')
Fattori di forma e inclinazione del carico Solo i fattori di inclinazione
Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra
Stabilità globale
Metodo di calcolo della stabilità globale Bishop

Altro
Partecipazione spinta passiva terreno antistante 0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione 50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni NO
Considera terreno sulla fondazione di valle NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle NO

Spostamenti
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

Cedimenti
Non è stato richiesto il calcolo dei cedimenti

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

| | SLU | Eccezionale |
|---|---|---|
| Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione | 1.50 | 1.00 |
| Coefficiente di sicurezza acciaio | 1.15 | 1.00 |
| Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica | 0.83 | 0.83 |
| Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo | 0.85 | 0.85 |
| Coefficiente di sicurezza per la sezione | 1.00 | 1.00 |

Specifiche per le verifiche nelle combinazioni allo Stato Limite di Esercizio (SLE)
**Paramento e fondazione muro**

Verifiche strutturali nelle combinazioni SLD eseguite. Struttura in classe d'uso III o IV

Condizioni ambientali Ordinarie
Armatura ad aderenza migliorata SI

*Verifica a fessurazione*
Sensibilità armatura Poco sensibile
Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2018 - CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
Calcolo momento fessurazione Apertura
Resistenza a trazione per Flessione
Valori limite aperture delle fessure: $w_1$=0.20
$w_2$=0.30
$w_3$=0.40

*Verifica delle tensioni*
Valori limite delle tensioni nei materiali:

| Combinazione | Calcestruzzo | Acciaio |
|---|---|---|
| Rara | 0.60 $f_{ck}$ | 0.80 $f_{yk}$ |
| Frequente | 1.00 $f_{ck}$ | 1.00 $f_{yk}$ |
| Quasi permanente | 0.45 $f_{ck}$ | 1.00 $f_{yk}$ |

# Risultati

## Spinta e forze

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice della combinazione |
| A | Tipo azione |
| I | Inclinazione della spinta, espressa in [°] |
| V | Valore dell'azione, espressa in [kg] |
| $C_X$, $C_Y$ | Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg] |
| $P_X$, $P_Y$ | Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m] |

| Ic | A | V | I | $C_X$ | $C_Y$ | $P_X$ | $P_Y$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[kg]* | *[°]* | *[kg]* | *[kg]* | *[m]* | *[m]* |
| 1 | Spinta statica | 17461 | 17,05 | 16694 | 5120 | 2,00 | -4,13 |
| | Peso/Inerzia muro | | | 0 | 20150/0 | -0,44 | -4,25 |
| | Peso/Inerzia terrapieno | | | 0 | 22176/0 | 1,00 | -2,80 |
| | Resistenza passiva sperone | | | -9261 | | | |

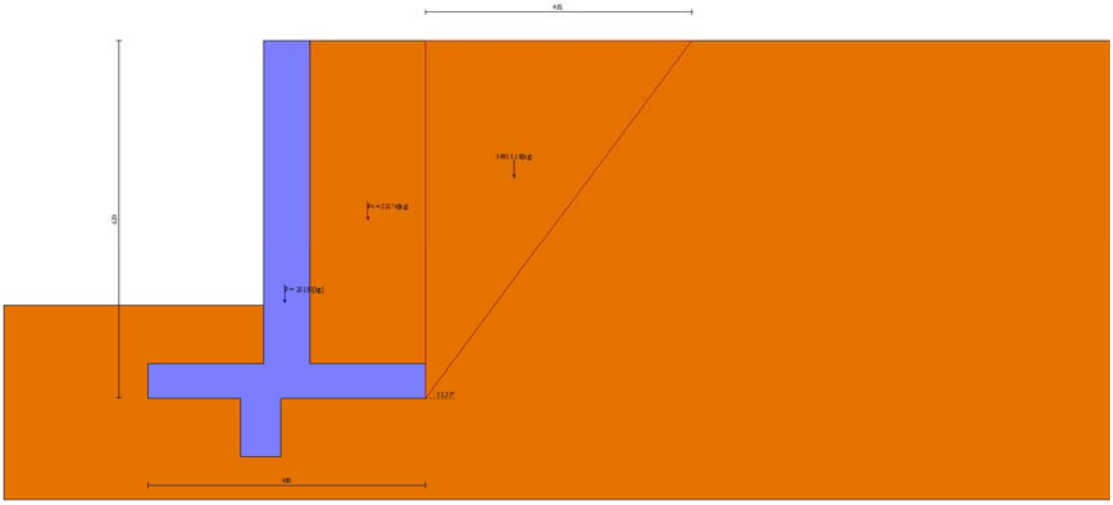


Fig. 3 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

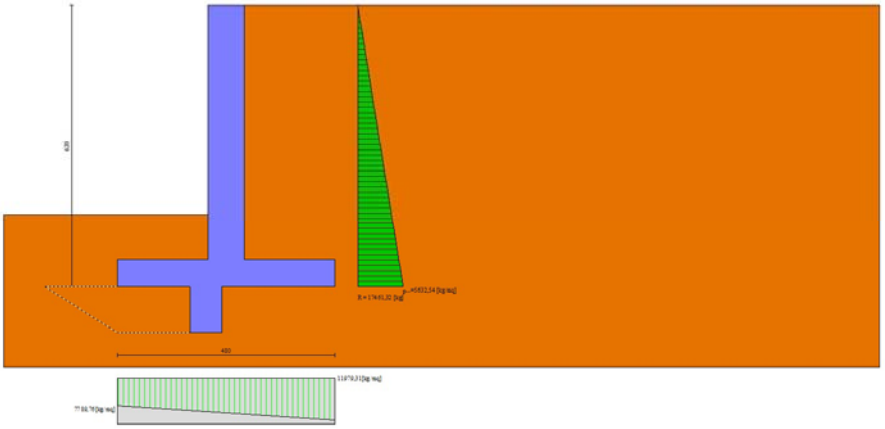


Fig. 4 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

## Verifiche geotecniche

## *Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Cmb | Indice/Tipo combinazione |
| S | Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale) |
| $FS_{SCO}$ | Coeff. di sicurezza allo scorrimento |
| $FS_{RIB}$ | Coeff. di sicurezza al ribaltamento |
| $FS_{QLIM}$ | Coeff. di sicurezza a carico limite |
| $FS_{STAB}$ | Coeff. di sicurezza a stabilità globale |
| $FS_{HYD}$ | Coeff. di sicurezza a sifonamento |
| $FS_{UPL}$ | Coeff. di sicurezza a sollevamento |

| Cmb | Sismica | $FS_{SCO}$ | $FS_{RIB}$ | $FS_{QLIM}$ | $FS_{STAB}$ | $FS_{HYD}$ | $FS_{UPL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 1.177 | | 2.684 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | H + V | 1.029 | | 2.653 | | | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H - V | 1.012 | | 2.712 | | | |
| 4 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.453 | | |
| 5 - GEO (A2-M2-R2) | H + V | | | | 1.488 | | |
| 6 - GEO (A2-M2-R2) | H - V | | | | 1.459 | | |
| 7 - EQU (A1-M1-R3) | | | 4.533 | | | | |
| 8 - EQU (A1-M1-R3) | H + V | | 3.129 | | | | |
| 9 - EQU (A1-M1-R3) | H - V | | 2.614 | | | | |

## *Verifica a scorrimento fondazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice combinazione |
| Rsa | Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg] |
| Rpt | Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg] |
| Rps | Resistenza passiva sperone, espresso in [kg] |
| Rp | Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg] |
| Rt | Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg] |
| R | Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg] |
| T | Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto R/T) |

| n° | Rsa | Rpt | Rps | Rp | Rt | R | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) H - V | 8998 | 0 | 10186 | -- | -- | 19184 | 18949 | 1.012 |

## Dettagli verifica a scorrimento

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice combinazione |
| Ncss | Carico sul cuneo di spinta passiva, espresso in [kg] |
| $\phi_{Rp}$ | Angolo di rottura passivo, espresso in [°] |
| Nrpp | Carico residuo sul piano di posa, espresso in [kg] |
| Lr | Lunghezza base residua, espresso in [m] |

| n° | Ncss | $\phi_{Rp}$ | Nrpp | Lr |
|---|---|---|---|---|
| | *[kg]* | | *[kg]* | *[m]* |
| 3 | 15515 | 32.215 | 29340 | 3,20 |

## *Verifica a carico limite*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice combinazione |
| N | Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg] |
| Qu | carico limite del terreno, espresso in [kg] |
| Qd | Portanza di progetto, espresso in [kg] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa) |

| n° | N | Qu | Qd | FS |
|---|---|---|---|---|
| | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) H + V | 49292 | 130751 | 108959 | 2.653 |

## Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | Indice combinazione |
| Nc, Nq, $N_\gamma$ | Fattori di capacità portante |
| ic, iq, $i_\gamma$ | Fattori di inclinazione del carico |
| dc, dq, $d_\gamma$ | Fattori di profondità del piano di posa |
| gc, gq, $g_\gamma$ | Fattori di inclinazione del profilo topografico |
| bc, bq, $b_\gamma$ | Fattori di inclinazione del piano di posa |
| sc, sq, $s_\gamma$ | Fattori di forma della fondazione |
| pc, pq, $p_\gamma$ | Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic |
| Re | Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof |
| Ir, Irc | Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic |

$r_\gamma$ Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore
D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
$\gamma$ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
$\phi$ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cmq]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

| n° | Nc<br>Nq<br>Nγ | ic<br>iq<br>iγ | dc<br>dq<br>dγ | gc<br>gq<br>gγ | bc<br>bq<br>bγ | sc<br>sq<br>sγ | pc<br>pq<br>pγ | Ir | Irc | Re | rγ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 21.577<br>11.324<br>7.445 | 0.567<br>0.567<br>0.017 | 1.137<br>1.069<br>1.069 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | -- | -- | 0.945 | 0.905 |

| n° | D<br>*[m]* | B'<br>*[m]* | H<br>*[m]* | γ<br>*[°]* | ϕ<br>*[kg/mc]* | c<br>*[kg/cmq]* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2,08 | 4,80 | 3,81 | 1980 | 25.57 | 0,00 |

## *Verifica a ribaltamento*

### Simbologia adottata
n° Indice combinazione
Ms Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

| n° | Ms<br>*[kgm]* | Mr<br>*[kgm]* | FS |
|---|---|---|---|
| 9 - EQU (A1-M1-R3) H - V | 155710 | 59561 | 2.614 |

## *Verifica stabilità globale muro + terreno*

### Simbologia adottata
Ic Indice/Tipo combinazione
C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R Raggio, espresso in [m]
FS Fattore di sicurezza

| Ic | C<br>*[m]* | R<br>*[m]* | FS |
|---|---|---|---|
| 4 - GEO (A2-M2-R2) | -2,00; 1,00 | 8,35 | 1.453 |

## Dettagli strisce verifiche stabilità

### Simbologia adottata
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]
Qy carico sulla striscia espresso in [kg]
Qf carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
$\alpha$ angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
$\phi$ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

| n° | W<br>*[kg]* | Qy<br>*[kg]* | Qf<br>*[kg]* | b<br>*[m]* | α<br>*[°]* | ϕ<br>*[°]* | c<br>*[kg/cmq]* | u<br>*[kg/cmq]* | Tx; Ty<br>*[kg]* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1252 | 0 | 0 | 6,30 - 0,58 | 75.110 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 2 | 3163 | 0 | 0 | 0,58 | 63.181 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 3 | 4301 | 0 | 0 | 0,58 | 55.269 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 4 | 5161 | 0 | 0 | 0,58 | 48.752 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 5 | 5851 | 0 | 0 | 0,58 | 43.009 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 6 | 6420 | 0 | 0 | 0,58 | 37.767 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 7 | 6893 | 0 | 0 | 0,58 | 32.878 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 8 | 7394 | 0 | 0 | 0,58 | 28.247 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 9 | 7793 | 0 | 0 | 0,58 | 23.811 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 10 | 8058 | 0 | 0 | 0,58 | 19.522 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 11 | 8087 | 0 | 0 | 0,58 | 15.345 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 12 | 10199 | 0 | 0 | 0,58 | 11.251 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 13 | 4367 | 0 | 0 | 0,58 | 7.214 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 14 | 3313 | 0 | 0 | 0,58 | 3.214 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 15 | 3327 | 0 | 0 | 0,58 | -0.771 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 16 | 3932 | 0 | 0 | 0,58 | -4.760 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 17 | 3035 | 0 | 0 | 0,58 | -8.772 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 18 | 2908 | 0 | 0 | 0,58 | -12.829 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 19 | 2731 | 0 | 0 | 0,58 | -16.952 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 20 | 2500 | 0 | 0 | 0,58 | -21.168 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |

| n° | W | Qy | Qf | b | α | ϕ | c | u | Tx; Ty |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[m]* | *[°]* | *[°]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg]* |
| 21 | 2212 | 0 | 0 | 0,58 | -25.509 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 22 | 1861 | 0 | 0 | 0,58 | -30.014 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 23 | 1438 | 0 | 0 | 0,58 | -34.736 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 24 | 930 | 0 | 0 | 0,58 | -39.749 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |
| 25 | 319 | 0 | 0 | -8,20 - 0,58 | -44.468 | 20.946 | 0,00 | 0,000 | |

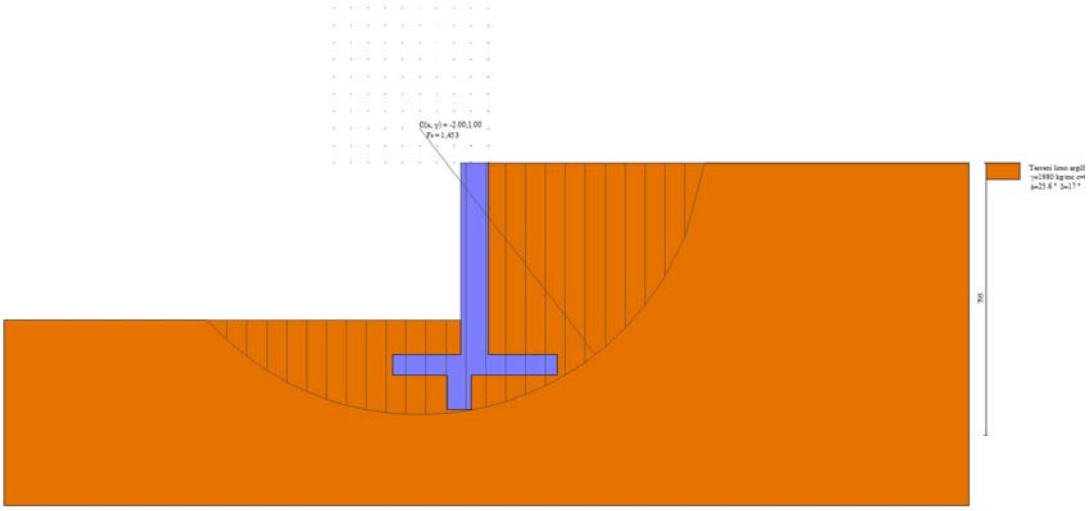


Fig. 5 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 4)

## Verifiche strutturali

### *Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| B | larghezza sezione espresso in [cm] |
| H | altezza sezione espressa in [cm] |
| Afi | area ferri inferiori espresso in [cmq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [cmq] |
| M | momento agente espressa in [kgm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kg] |
| Mrd | momento resistente espresso in [kgm] |
| Nrd | sforzo normale resistente espresso in [kg] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

| Oggetto | Is | B | H | Afi | Afs | M | N | Mu | Nu | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kgm]* | *[kg]* | *[kgm]* | *[kg]* | |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 12,72 | 25,45 | 27507 | 11738 | 87083 | 37162 | 3.166 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 12,72 | 17609 | 0 | 27459 | 0 | 1.559 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 10,18 | 13440 | 0 | 32481 | 0 | 2.417 |

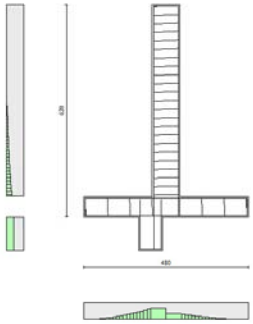


Fig. 6 - Paramento (Inviluppo)

## *Verifiche a taglio*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° (o Is) | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [cm] |
| H | altezza sezione espressa in [cm] |
| $A_{sw}$ | area ferri a taglio espresso in [cmq] |
| cotgθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| $V_{Rcd}$ | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg] |
| $V_{Rsd}$ | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg] |
| $V_{Rd}$ | resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ($A_{sw}$>0.0) $V_{Rd}$=min($V_{Rcd}$, $V_{Rsd}$). |
| T | taglio agente espressa in [kg] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

| Oggetto | Is | B | H | $A_{sw}$ | cotθ | $V_{Rcd}$ | $V_{Rsd}$ | $V_{Rd}$ | T | FS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | *[kg]* | |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 0,00 | | 0 | 0 | 39596 | 14197 | 2.789 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 0,00 | | 0 | 0 | 28579 | -16757 | 1.705 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 0,00 | | 0 | 0 | 29844 | 20151 | 1.481 |

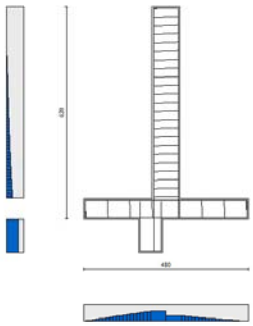


Fig. 7 - Paramento (Inviluppo)

## *Verifica delle tensioni*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espresso in [cm] |
| H | altezza sezione, espressa in [cm] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [cmq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [cmq] |
| M | momento agente, espressa in [kgm] |
| N | sforzo normale agente, espressa in [kg] |
| σc | tensione di compressione nel cls, espressa in [kg/cmq] |
| σfi | tensione nei ferri inferiori, espressa in [kg/cmq] |
| σfs | tensione nei ferri superiori, espressa in [kg/cmq] |

## Combinazioni SLER

| Oggetto | Is | B | H | Afi | Afs | $\sigma_c$ | $\sigma_{c,lim}$ | $\sigma_{fi}$ | $\sigma_{fs}$ | $\sigma_{f,lim}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 12,72 | 25,45 | 26,18 | 228,51 | 906,16 | 326,08 | 3670,92 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 12,72 | 29,72 | 228,51 | 1675,47 | 298,36 | 3670,92 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 10,18 | 18,09 | 228,51 | 1089,71 | 191,05 | 3670,92 |

## Combinazioni SLEF

| Oggetto | Is | B | H | Afi | Afs | $\sigma_c$ | $\sigma_{c,lim}$ | $\sigma_{fi}$ | $\sigma_{fs}$ | $\sigma_{f,lim}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 12,72 | 25,45 | 26,18 | 380,85 | 906,16 | 326,08 | 4588,65 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 12,72 | 29,72 | 380,85 | 1675,47 | 298,36 | 4588,65 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 10,18 | 18,09 | 380,85 | 1089,71 | 191,05 | 4588,65 |

## Combinazioni SLEQ

| Oggetto | Is | B | H | Afi | Afs | $\sigma_c$ | $\sigma_{c,lim}$ | $\sigma_{fi}$ | $\sigma_{fs}$ | $\sigma_{f,lim}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* | *[kg/cmq]* |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 12,72 | 25,45 | 31,34 | 171,38 | 1124,79 | 388,43 | 4588,65 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 12,72 | 38,55 | 171,38 | 2173,09 | 386,97 | 4588,65 |
| Fondazione | 22 | 100 | 60 | 12,72 | 12,72 | 11,14 | 171,38 | 111,81 | 627,88 | 4588,65 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 10,18 | 23,30 | 171,38 | 1403,81 | 246,12 | 4588,65 |

# *Verifica a fessurazione*

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espresso in [cm] |
| H | altezza sezione espressa in [cm] |
| Af | area ferri zona tesa espresso in [cmq] |
| Aeff | area efficace espressa in [cmq] |
| M | momento agente espressa in [kgm] |
| Mpf | momento di formazione/apertura fessure espressa in [kgm] |
| ε | deformazione espresso in % |
| Sm | spaziatura tra le fessure espressa in [mm] |
| w | apertura delle fessure espressa in [mm] |

## Combinazioni SLEF

| Oggetto | Is | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w | $w_{lim}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kgm]* | *[kgm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* | *[mm]* |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 25,45 | 975,00 | 19557 | 53977 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,400 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 975,00 | 11123 | 28165 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,400 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 975,00 | 8565 | 37562 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,400 |

## Combinazioni SLEQ

| Oggetto | Is | B | H | Af | Aeff | M | Mpf | ε | Sm | w | $w_{lim}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *[cm]* | *[cm]* | *[cmq]* | *[cmq]* | *[kgm]* | *[kgm]* | *[%]* | *[mm]* | *[mm]* | *[mm]* |
| Paramento | 57 | 100 | 80 | 25,45 | 975,00 | 23551 | 54016 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,300 |
| Fondazione | 21 | 100 | 60 | 12,72 | 975,00 | 14426 | 28165 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,300 |
| Sperone | 1 | 100 | 70 | 12,72 | 975,00 | 11034 | 37562 | 0.000000 | 0 | 0,000 | 0,300 |

## Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

**Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo**
Il sottoscritto Ing. Giuseppe Cervarolo, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

**Tipo di analisi svolta**
L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.
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, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del D.M. 17/01/2018.
La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

**Origine e caratteristiche dei codici di calcolo**

| | |
|---|---|
| Titolo | MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno |
| Versione | 16.0 |
| Produttore | Aztec Informatica srl, Casali del Manco - loc. Casole Bruzio (CS) |
| Utente | ING. CERVAROLO GIUSEPPE |
| Licenza | AILS0044A3 |

**Affidabilità dei codici di calcolo**
Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

**Modalità di presentazione dei risultati**
La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

**Informazioni generali sull'elaborazione**
Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

**Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.
In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

_____

Il progettista
( Ing. Giuseppe Cervarolo )

_____

## Indice


| | |
|---|---|
| Relazione di calcolo | 1 |
| Normative di riferimento | 2 |
| Richiami teorici | 3 |
| Calcolo della spinta sul muro | 3 |
| Valori caratteristici e valori di calcolo | 3 |
| Metodo di Culmann | 3 |
| Spinta in presenza di falda | 3 |
| Spinta in presenza di sisma | 3 |
| Verifica a ribaltamento | 4 |
| Verifica a scorrimento | 4 |
| Verifica al carico limite | 5 |
| Verifica alla stabilità globale | 6 |
| Dati | 7 |
| Materiali | 7 |
| Calcestruzzo armato | 7 |
| Acciai | 7 |
| Geometria profilo terreno a monte del muro | 7 |
| Geometria muro | 7 |
| Geometria paramento e fondazione | 7 |
| Descrizione terreni | 8 |
| Stratigrafia | 8 |
| Condizioni di carico | 9 |
| Normativa | 9 |
| Descrizione combinazioni di carico | 10 |
| Dati sismici | 11 |
| Opzioni di calcolo | 13 |
| Risultati | 14 |
| Spinta e forze | 14 |
| Verifiche geotecniche | 14 |
| Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati | 15 |
| Verifica a scorrimento fondazione | 15 |
| Dettagli verifica a scorrimento | 15 |
| Verifica a carico limite | 15 |
| Dettagli calcolo portanza | 15 |
| Verifica a ribaltamento | 16 |
| Verifica stabilità globale muro + terreno | 16 |
| Dettagli strisce verifiche stabilità | 16 |
| Verifiche strutturali | 17 |
| Verifiche a flessione | 17 |
| Verifiche a taglio | 18 |
| Verifica delle tensioni | 18 |
| Combinazioni SLER | 19 |
| Combinazioni SLEF | 19 |
| Combinazioni SLEQ | 19 |
| Verifica a fessurazione | 19 |
| Combinazioni SLEF | 19 |
| Combinazioni SLEQ | 19 |
| Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2) | 20 |