



**STUDIO MACRI'  
TECNICI ASSOCIATI**

Progetti integrati  
d' Ingegneria  
ed Architettura

RECAPITI e - mail:  
[studiomacriz@outlook.com](mailto:studiomacriz@outlook.com)  
[studiomacriassociati@hotmail.it](mailto:studiomacriassociati@hotmail.it)  
[pec: domenico.macri1@ingpec.eu](mailto:pec:domenico.macri1@ingpec.eu)

SEDE OPERATIVA ED  
AMM.VA  
Centro Lucrezia della Valle  
Via Lucrezia della Valle n.19/40

88100 CATANZARO (CZ)

Tel. e Fax 0961 753475

# COMUNE DI CARDINALE

(PROVINCIA DI CATANZARO)

## PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA

|               |                             |                              |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|
| DATA:         |                             |                              |
| FEBBRAIO 2026 | <b>PROGETTISTA :</b>        | <b>DIRETTORE DEI LAVORI:</b> |
|               | <b>ING. DOMENICO MACRI'</b> | <b>ING. DOMENICO MACRI'</b>  |
|               |                             |                              |
|               |                             |                              |
|               |                             |                              |

|  |                                                                                                                           |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>TITOLO DEL PROGETTO:</b>                                                                                               |
|  | <b>INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DELLE PENDICI SOVRASTANTI IL CENTRO STORICO DEL COMUNE DI CARDINALE – CODICE CZ042A/10.</b> |

|                |                                                                          |   |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|---|
| Prot. Dis.     | Modifiche:                                                               | 1 |
|                | Sostituisce il N.                                                        | 2 |
|                | Sostituito dal N.                                                        | 3 |
| <b>ALL. N.</b> | Oggetto del Disegno:                                                     |   |
| <b>A7.1.</b>   | <b>OPERE DI SOSTEGNO ZONA MARCHESE - RELAZIONI DI CALCOLO - VARIANTE</b> |   |
| <b>1.V</b>     |                                                                          |   |

|        |                                                                                                                                               |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SCALA: | ENTE APPALTANTE:                                                                                                                              |
|        | COMMISSARIO DEL GOVERNO per il contrasto dissesto R. Calabria- <a href="mailto:info@pec.dissestocalabria.it">info@pec.dissestocalabria.it</a> |
|        | RESPONSABILE U.P. – Geom. A. FALVO- e-mail: <a href="mailto:a.falvo@dissestocalabria.it">a.falvo@dissestocalabria.it</a>                      |

A TERMINI DI LEGGE – ART. 2578 DEL C.C. CI RISERVIAMO L'ESCLUSIVA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO TECNICO, CON DIVIETO DI COPIARLO O RIPRODURLO SENZA IL NOSTRO CONSENSO SCRITTO

# MURO DI SOSTEGNO in c.a. ANCORATO altezza 6.60 ml.

Progetto: Muro di sostegno altezza 6.6 m  
Ditta:  
Comune: Cardinale (CZ)  
Progettista: ing. Macrì  
Direttore dei Lavori: ing. Macrì  
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, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

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

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi 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 sisma

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

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

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

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

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

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

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

Terreno a bassa permeabilità

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

Terreno a permeabilità elevata

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

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

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

dove il coefficiente  $A$  vale

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

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

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

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

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

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

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

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

## Verifica a ribaltamento

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

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

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

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

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

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

## Verifica a scorrimento

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

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

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

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

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

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

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

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

## Verifica al carico limite

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

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

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

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

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c_i} + q N_q d_{q_i} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_{\gamma_i}$$

In questa espressione

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

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

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

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

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

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

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

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

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

#### Fattori di profondità

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

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

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

#### Fattori di inclinazione

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

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

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

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

## Verifica alla stabilità globale

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

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

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

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:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

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

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 viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

## Normativa

### N.T.C. 2018

#### Simbologia adottata

|                      |                                                                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_{Gs fav}$    | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti                                 |
| $\gamma_{G fav}$     | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti                                  |
| $\gamma_{Qs fav}$    | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili                                  |
| $\gamma_{Q fav}$     | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili                                   |
| $\gamma_{tan \phi'}$ | Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato                         |
| $\gamma_c'$          | Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata                                 |
| $\gamma_{cu}$        | Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata                             |
| $\gamma_{qu}$        | Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo                                      |
| $\gamma_\gamma$      | Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce |

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> |                   | <i>A1</i> | <i>A2</i> | <i>EQU</i> | <i>HYD</i> |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{G fav}$  | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gs fav}$ | 1,30      | 1,00      | 1,30       | 1,10       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Q fav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qs fav}$ | 1,50      | 1,30      | 1,50       | 1,50       |

##### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

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

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> |                   | <i>A1</i> | <i>A2</i> | <i>EQU</i> | <i>HYD</i> |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{G fav}$  | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gs fav}$ | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 1,10       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Q fav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qs fav}$ | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 1,50       |

##### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                |                      |  | <i>M1</i> | <i>M2</i> | <i>M2</i> | <i>M1</i> |
|---------------------------------|----------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan \phi'}$ |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |
| Coesione efficace               | $\gamma_c'$          |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |
| Resistenza non drenata          | $\gamma_{cu}$        |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |

|                                      |                 |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

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

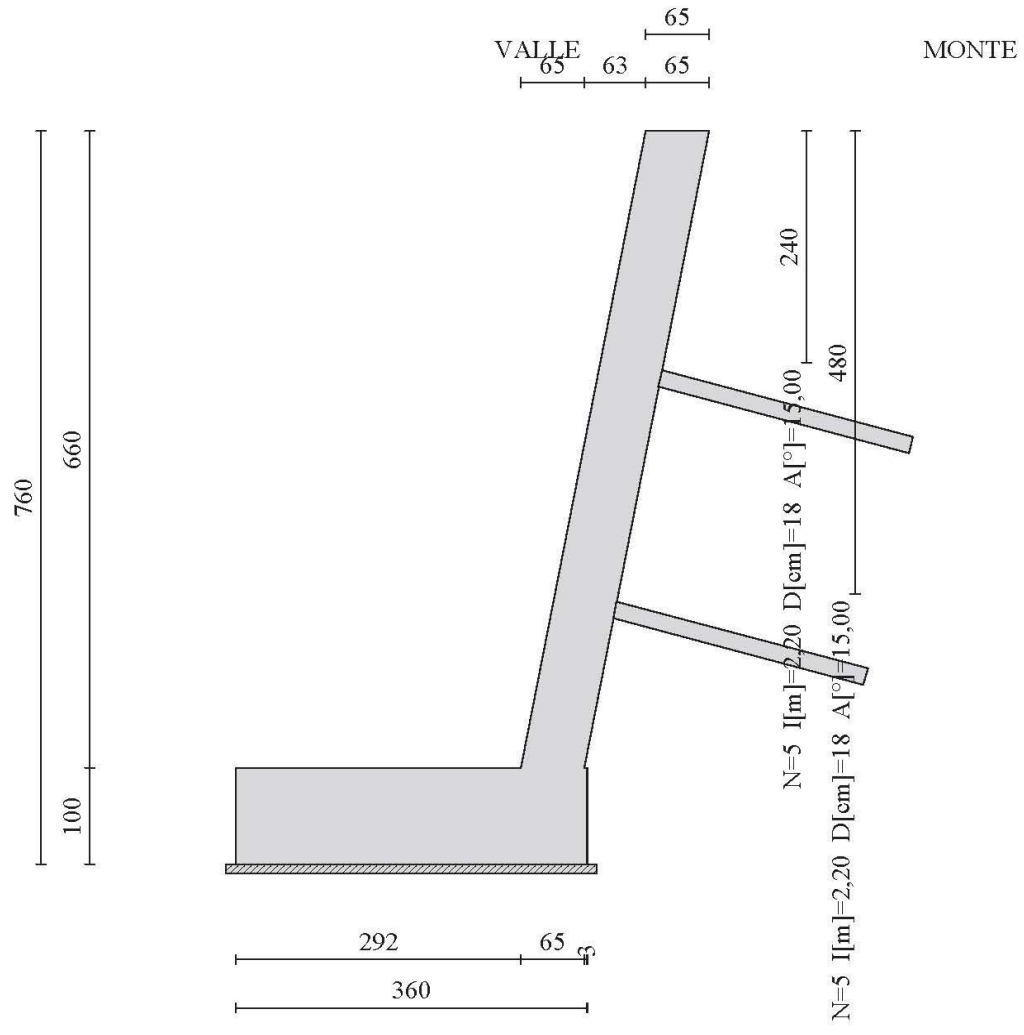
| <i>Verifica</i>                    | <i>Coefficienti parziali</i> |      |      |
|------------------------------------|------------------------------|------|------|
|                                    | R1                           | R2   | R3   |
| Capacità portante della fondazione | 1,00                         | 1,00 | 1,40 |
| Scorrimento                        | 1,00                         | 1,00 | 1,10 |
| Resistenza del terreno a valle     | 1,00                         | 1,00 | 1,40 |
| Stabilità globale                  |                              | 1,10 |      |

**TIRANTI DI ANCORAGGIO**Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei tiranti

| <b>Resistenza</b>      | <b>Tiranti</b> |
|------------------------|----------------|
| Laterale $\gamma_{st}$ | 1,20           |

Coefficienti di riduzione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

|                              |   |              |              |
|------------------------------|---|--------------|--------------|
| Numero di verticali indagate | 1 | $\xi_3=1,80$ | $\xi_4=1,80$ |
|------------------------------|---|--------------|--------------|



## Geometria muro e fondazione

| Descrizione                                 | Muro a mensola in c.a. |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Altezza del paramento                       | 6,60 [m]               |
| Spessore in sommità                         | 0,65 [m]               |
| Spessore all'attacco con la fondazione      | 0,65 [m]               |
| Inclinazione paramento esterno              | 11,00 [°]              |
| Inclinazione paramento interno              | -11,00 [°]             |
| Lunghezza del muro                          | 11,00 [m]              |
| <u>Fondazione</u>                           |                        |
| Lunghezza mensola fondazione di valle       | 2,92 [m]               |
| Lunghezza mensola fondazione di monte       | 0,03 [m]               |
| Lunghezza totale fondazione                 | 3,60 [m]               |
| Inclinazione piano di posa della fondazione | 0,00 [°]               |
| Spessore fondazione                         | 1,00 [m]               |
| Spessore magrone                            | 0,10 [m]               |

## Descrizione tiranti di ancoraggio

|                                      |                   |        |
|--------------------------------------|-------------------|--------|
| Numero di file di tiranti            | 2                 |        |
| Tiranti attivi armati con trefoli    |                   |        |
|                                      | MEDIO             | MINIMO |
| Angolo d'attrito tirante-terreno (°) | 30.00             | 30.00  |
| Aderenza tirante-terreno kPa         | 200               | 200    |
| Coefficiente di espansione laterale  | 1.00              |        |
| Superficie di ancoraggio:            | ANGOLO DI ROTTURA |        |
| Coefficiente di spinta:              | SPINTA PASSIVA    |        |
| Coefficiente di cadute di tensione   | 1.20              |        |

### Simbologia adottata

|      |                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------|
| N    | numero d'ordine della fila                                                   |
| Y    | ordinata della fila misurata dalla testa del muro espressa in [m]            |
| Nr.  | numero di tiranti della fila                                                 |
| D    | diametro della perforazione espresso in [cm]                                 |
| alfa | inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°] |
| ALL  | allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)                    |
| At   | area del singolo trefolo espressa in [cmq]                                   |
| nt   | numero di trefoli del tirante                                                |
| T    | tiro iniziale espresso in [kN]                                               |

| N | Y    | nr. | D     | alfa  | ALL      | At   | nt | T       |
|---|------|-----|-------|-------|----------|------|----|---------|
| 1 | 2,40 | 5   | 18,00 | 15,00 | Centrati | 1,39 | 5  | 550,000 |
| 2 | 4,80 | 5   | 18,00 | 15,00 | Centrati | 1,39 | 5  | 650,000 |

## Materiali utilizzati per la struttura

### *Calcestruzzo*

|                                                   |                |
|---------------------------------------------------|----------------|
| Peso specifico                                    | 24,517 [kN/mc] |
| Classe di Resistenza                              | C20/25         |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 25000 [kPa]    |
| Modulo elastico E                                 | 30200389 [kPa] |

### *Acciaio*

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Tipo                                  | B450C        |
| Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$ | 449936 [kPa] |

### *Malta utilizzata per i tiranti*

|                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| Classe di Resistenza                              | C20/25      |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 25000 [kPa] |
| Tensione tangenziale ammissibile $\tau_{c0}$      | 529 [kPa]   |
| Tensione tangenziale ammissibile $\tau_{c1}$      | 1667 [kPa]  |

### *Acciaio utilizzato per i tiranti*

|                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| Tipo                                  | Precomp       |
| Tensione ammissibile $\sigma_{fa}$    | 980681 [kPa]  |
| Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$ | 1569089 [kPa] |

## 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 | 1,00  | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 10,00 | 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] |

## Falda

|                                                                               |      |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| Quota della falda a monte del muro rispetto al piano di posa della fondazione | 2,00 | [m] |
| Quota della falda a valle del muro rispetto al piano di posa della fondazione | 0,00 | [m] |

## Descrizione terreni

### Simbologia adottata

|             |                                                       |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| Nr.         | Indice del terreno                                    |
| Descrizione | Descrizione terreno                                   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]        |
| $\gamma_s$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc] |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno espresso in [°]              |
| $\delta$    | Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]           |
| $c$         | Coesione espressa in [kPa]                            |
| $c_a$       | Adesione terra-muro espressa in [kPa]                 |
| $\sigma_d$  | Tensione di progetto espressa in [kPa]                |

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

### Parametri medi

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

### Parametri minimi

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

|          |                                                                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| N        | Indice dello strato                                                |
| H        | Spessore dello strato espresso in [m]                              |
| $\alpha$ | Inclinazione espressa in [°]                                       |
| Kw       | Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm |
| Ks       | Coefficiente di spinta                                             |
| Terreno  | Terreno dello strato                                               |

| Nr. | H     | $\alpha$ | Kw    | Ks   | Terreno   |
|-----|-------|----------|-------|------|-----------|
| 1   | 12,00 | 0,00     | 11,88 | 0,00 | Terreno 1 |

# MURO DI SOSTEGNO in c.a. ANCORATO altezza 6.60 ml.

Progetto: Muro di sostegno altezza 6.6 m  
Ditta:  
Comune: Cardinale (CZ)  
Progettista: ing. Macrì  
Direttore dei Lavori: ing. Macrì  
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, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

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

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi 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 sisma

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

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

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

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

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

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

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

Terreno a bassa permeabilità

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

Terreno a permeabilità elevata

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

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

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

dove il coefficiente  $A$  vale

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

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

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

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

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

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

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

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

## Verifica a ribaltamento

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

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

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

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

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

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

## Verifica a scorrimento

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

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

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

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

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

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

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

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

## Verifica al carico limite

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

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

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

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

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

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

In questa espressione

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

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

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

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

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

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

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

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

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

#### Fattori di profondità

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

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

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

#### Fattori di inclinazione

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

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

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

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

## Verifica alla stabilità globale

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

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

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

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:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

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

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 viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

## Normativa

### N.T.C. 2018

#### Simbologia adottata

|                      |                                                                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_{Gs fav}$    | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti                                 |
| $\gamma_{G fav}$     | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti                                  |
| $\gamma_{Qs fav}$    | Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili                                  |
| $\gamma_{Q fav}$     | Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili                                   |
| $\gamma_{tan \phi'}$ | Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato                         |
| $\gamma_{c'}$        | Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata                                 |
| $\gamma_{cu}$        | Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata                             |
| $\gamma_{qu}$        | Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo                                      |
| $\gamma_{\gamma}$    | Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce |

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> |                   | <i>A1</i> | <i>A2</i> | <i>EQU</i> | <i>HYD</i> |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{G fav}$  | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gs fav}$ | 1,30      | 1,00      | 1,30       | 1,10       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Q fav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qs fav}$ | 1,50      | 1,30      | 1,50       | 1,50       |

##### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

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

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> |                   | <i>A1</i> | <i>A2</i> | <i>EQU</i> | <i>HYD</i> |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{G fav}$  | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gs fav}$ | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 1,10       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Q fav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qs fav}$ | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 1,50       |

##### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                |                      |  | <i>M1</i> | <i>M2</i> | <i>M2</i> | <i>M1</i> |
|---------------------------------|----------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{tan \phi'}$ |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |
| Coesione efficace               | $\gamma_{c'}$        |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |
| Resistenza non drenata          | $\gamma_{cu}$        |  | 1,00      | 1,00      | 1,00      | 1,00      |

|                                      |                 |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

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

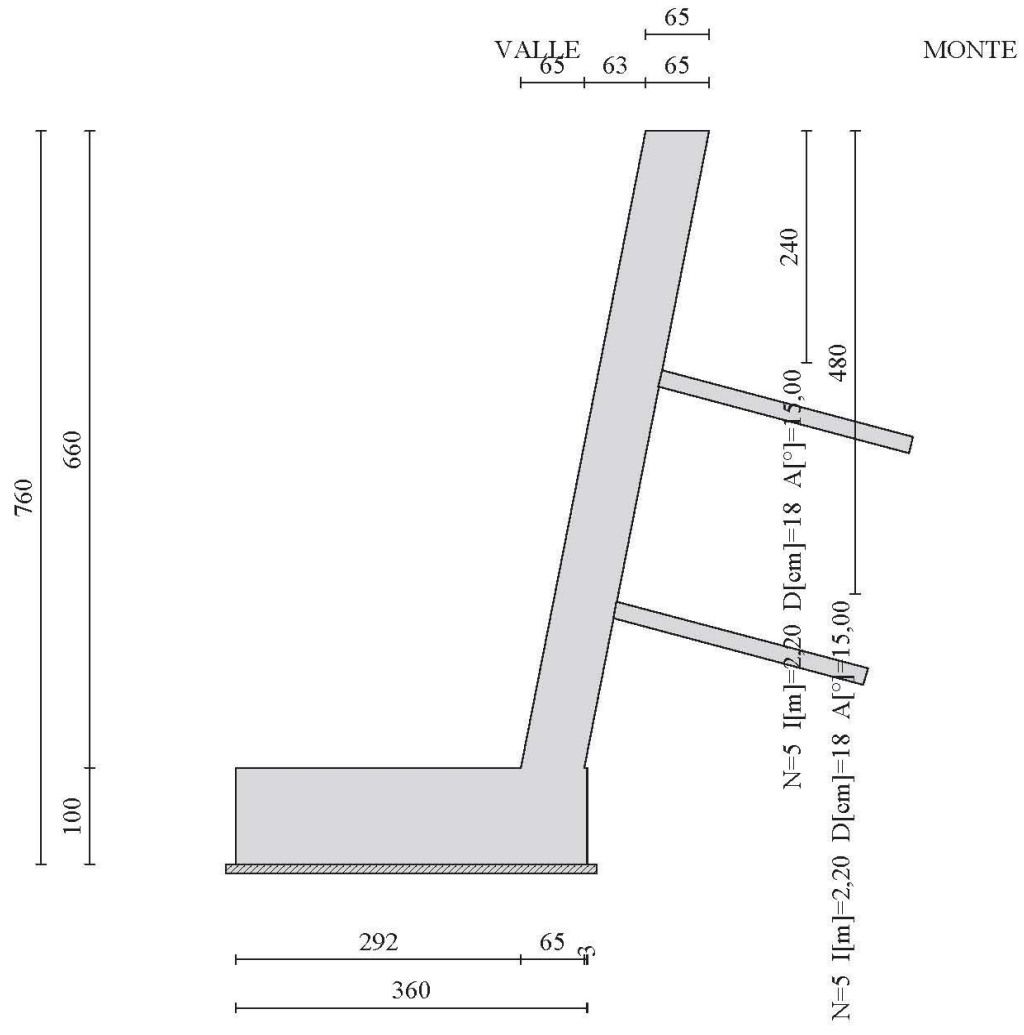
| <i>Verifica</i>                    | <i>Coefficienti parziali</i> |      |      |
|------------------------------------|------------------------------|------|------|
|                                    | R1                           | R2   | R3   |
| Capacità portante della fondazione | 1,00                         | 1,00 | 1,40 |
| Scorrimento                        | 1,00                         | 1,00 | 1,10 |
| Resistenza del terreno a valle     | 1,00                         | 1,00 | 1,40 |
| Stabilità globale                  |                              | 1,10 |      |

**TIRANTI DI ANCORAGGIO**Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei tiranti

| <b>Resistenza</b>      | <b>Tiranti</b> |
|------------------------|----------------|
| Laterale $\gamma_{st}$ | 1,20           |

Coefficienti di riduzione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

|                              |   |              |              |
|------------------------------|---|--------------|--------------|
| Numero di verticali indagate | 1 | $\xi_3=1,80$ | $\xi_4=1,80$ |
|------------------------------|---|--------------|--------------|



## Geometria muro e fondazione

| Descrizione                                 | Muro a mensola in c.a. |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Altezza del paramento                       | 6,60 [m]               |
| Spessore in sommità                         | 0,65 [m]               |
| Spessore all'attacco con la fondazione      | 0,65 [m]               |
| Inclinazione paramento esterno              | 11,00 [°]              |
| Inclinazione paramento interno              | -11,00 [°]             |
| Lunghezza del muro                          | 11,00 [m]              |
| <u>Fondazione</u>                           |                        |
| Lunghezza mensola fondazione di valle       | 2,92 [m]               |
| Lunghezza mensola fondazione di monte       | 0,03 [m]               |
| Lunghezza totale fondazione                 | 3,60 [m]               |
| Inclinazione piano di posa della fondazione | 0,00 [°]               |
| Spessore fondazione                         | 1,00 [m]               |
| Spessore magrone                            | 0,10 [m]               |

## Descrizione tiranti di ancoraggio

|                                      |                   |        |
|--------------------------------------|-------------------|--------|
| Numero di file di tiranti            | 2                 |        |
| Tiranti attivi armati con trefoli    |                   |        |
|                                      | MEDIO             | MINIMO |
| Angolo d'attrito tirante-terreno (°) | 30.00             | 30.00  |
| Aderenza tirante-terreno kPa         | 200               | 200    |
| Coefficiente di espansione laterale  | 1.00              |        |
| Superficie di ancoraggio:            | ANGOLO DI ROTTURA |        |
| Coefficiente di spinta:              | SPINTA PASSIVA    |        |
| Coefficiente di cadute di tensione   | 1.20              |        |

### Simbologia adottata

|      |                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------|
| N    | numero d'ordine della fila                                                   |
| Y    | ordinata della fila misurata dalla testa del muro espressa in [m]            |
| Nr.  | numero di tiranti della fila                                                 |
| D    | diametro della perforazione espresso in [cm]                                 |
| alfa | inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°] |
| ALL  | allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)                    |
| At   | area del singolo trefolo espressa in [cmq]                                   |
| nt   | numero di trefoli del tirante                                                |
| T    | tiro iniziale espresso in [kN]                                               |

| N | Y    | nr. | D     | alfa  | ALL      | At   | nt | T       |
|---|------|-----|-------|-------|----------|------|----|---------|
| 1 | 2,40 | 5   | 18,00 | 15,00 | Centrati | 1,39 | 5  | 550,000 |
| 2 | 4,80 | 5   | 18,00 | 15,00 | Centrati | 1,39 | 5  | 650,000 |

## Materiali utilizzati per la struttura

### *Calcestruzzo*

|                                                   |                |
|---------------------------------------------------|----------------|
| Peso specifico                                    | 24,517 [kN/mc] |
| Classe di Resistenza                              | C20/25         |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 25000 [kPa]    |
| Modulo elastico E                                 | 30200389 [kPa] |

### *Acciaio*

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Tipo                                  | B450C        |
| Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$ | 449936 [kPa] |

### *Malta utilizzata per i tiranti*

|                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| Classe di Resistenza                              | C20/25      |
| Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$ | 25000 [kPa] |
| Tensione tangenziale ammissibile $\tau_{c0}$      | 529 [kPa]   |
| Tensione tangenziale ammissibile $\tau_{c1}$      | 1667 [kPa]  |

### *Acciaio utilizzato per i tiranti*

|                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| Tipo                                  | Precomp       |
| Tensione ammissibile $\sigma_{fa}$    | 980681 [kPa]  |
| Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$ | 1569089 [kPa] |

## 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 | 1,00  | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 10,00 | 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] |

## Falda

|                                                                               |      |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| Quota della falda a monte del muro rispetto al piano di posa della fondazione | 2,00 | [m] |
| Quota della falda a valle del muro rispetto al piano di posa della fondazione | 0,00 | [m] |

## Descrizione terreni

### Simbologia adottata

|             |                                                       |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| Nr.         | Indice del terreno                                    |
| Descrizione | Descrizione terreno                                   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]        |
| $\gamma_s$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc] |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno espresso in [°]              |
| $\delta$    | Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]           |
| $c$         | Coesione espressa in [kPa]                            |
| $c_a$       | Adesione terra-muro espressa in [kPa]                 |
| $\sigma_d$  | Tensione di progetto espressa in [kPa]                |

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

### Parametri medi

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

### Parametri minimi

| Descrizione | $\gamma$ | $\gamma_s$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$ | $c_a$ | $\sigma_d$ |
|-------------|----------|------------|--------|----------|-----|-------|------------|
| Terreno 1   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 280        |
| Terreno 2   | 19,00    | 20,00      | 38,00  | 25,33    | 0,0 | 0,0   | 350        |

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

|          |                                                                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| N        | Indice dello strato                                                |
| H        | Spessore dello strato espresso in [m]                              |
| $\alpha$ | Inclinazione espressa in [°]                                       |
| Kw       | Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm |
| Ks       | Coefficiente di spinta                                             |
| Terreno  | Terreno dello strato                                               |

| Nr. | H     | $\alpha$ | Kw    | Ks   | Terreno   |
|-----|-------|----------|-------|------|-----------|
| 1   | 12,00 | 0,00     | 11,88 | 0,00 | Terreno 1 |



## Condizioni di carico

### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

$M$  Momento espresso in [kNm]

$X_i$  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 [kN/m]

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

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

### Condizione n° 1 (Condizione 1)

|   |         |            |            |               |               |
|---|---------|------------|------------|---------------|---------------|
| D | Profilo | $X_i=0,20$ | $X_f=2,30$ | $Q_i=10,0000$ | $Q_f=10,0000$ |
|---|---------|------------|------------|---------------|---------------|

## Descrizione combinazioni di carico

### Simbologia adottata

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

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

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |

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

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |

#### Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |

#### Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |

#### Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |

#### Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

#### Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,30     | 1.00   | 1,30            |
| Condizione 1            | SFAV | 1.50     | 1.00   | 1.50            |

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Peso proprio terrapieno | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Condizione 1            | SFAV       | 1.50                       | 1.00                     | 1.50                              |

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Peso proprio terrapieno | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Condizione 1            | SFAV       | 1.50                       | 1.00                     | 1.50                              |

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Peso proprio terrapieno | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Condizione 1            | SFAV       | 1.50                       | 1.00                     | 1.50                              |

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Peso proprio terrapieno | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,30                       | 1.00                     | 1,30                              |
| Condizione 1            | SFAV       | 1.50                       | 1.00                     | 1.50                              |

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Peso proprio terrapieno | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Condizione 1            | SFAV       | 1.30                       | 1.00                     | 1.30                              |

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

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Peso proprio terrapieno | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |

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

|                         | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro       | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Peso proprio terrapieno | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |
| Spinta terreno          | SFAV       | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |

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

|                   | <b>S/F</b> | <b><math>\gamma</math></b> | <b><math>\Psi</math></b> | <b><math>\gamma * \Psi</math></b> |
|-------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio muro | FAV        | 1,00                       | 1.00                     | 1,00                              |

|                         |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00 | 1.00 | 1,00 |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00 | 1.00 | 1,00 |

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

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

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

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

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

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 19 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | FAV  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

| S/F | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-----|----------|--------|-----------------|
|-----|----------|--------|-----------------|

|                         |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00 | 1.00 | 1,00 |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00 | 1.00 | 1,00 |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00 | 1.00 | 1,00 |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00 | 1.00 | 1,00 |

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 25 - Rara (SLE)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 26 - Frequente (SLE)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 27 - Quasi Permanente (SLE)

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 28 - Rara (SLE) - Sisma Vert. positivo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 29 - Rara (SLE) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

Combinazione n° 30 - Frequente (SLE) - Sisma Vert. positivo

|                         | S/F | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|-----|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --  | 1,00     | 1.00   | 1,00            |

|                |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|
| Spinta terreno | --   | 1,00 | 1.00 | 1,00 |
| Condizione 1   | SFAV | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Combinazione n° 31 - Frequente (SLE) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1.00     | 1.00   | 1.00            |

Combinazione n° 32 - Quasi Permanente (SLE) - Sisma Vert. positivo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1.00     | 1.00   | 1.00            |

Combinazione n° 33 - Quasi Permanente (SLE) - Sisma Vert. negativo

|                         | S/F  | $\gamma$ | $\Psi$ | $\gamma * \Psi$ |
|-------------------------|------|----------|--------|-----------------|
| Peso proprio muro       | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Peso proprio terrapieno | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Spinta terreno          | --   | 1,00     | 1.00   | 1,00            |
| Condizione 1            | SFAV | 1.00     | 1.00   | 1.00            |

## Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

**Stato limite*****Impostazioni verifiche SLU***Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

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

***Impostazioni verifiche SLE***

Condizioni ambientali

Ordinarie

Armatura ad aderenza migliorata

Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature

Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure

 $w_1 = 0.20$  $w_2 = 0.30$  $w_3 = 0.40$ 

Metodo di calcolo aperture delle fessure

Circ. Min. 252 (15/10/1996)

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico

Rara  $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$  -  $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$ Quasi permanente  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ Calcolo della portanza

metodo di Meyerhof

Coefficiente correttivo su  $N_\gamma$  per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00Coefficiente correttivo su  $N_\gamma$  per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00***Impostazioni avanzate***

Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni

Terreno a monte a elevata permeabilità

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

## Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### Simbologia adottata

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

| <b>C</b> | <b>Tipo</b> | <b>Sisma</b>                     | <b>CS<sub>sco</sub></b> | <b>CS<sub>rib</sub></b> | <b>CS<sub>qlim</sub></b> | <b>CS<sub>stab</sub></b> |
|----------|-------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1        | A1-M1 - [1] | --                               | 4,66                    | --                      | 1,99                     | --                       |
| 2        | A1-M1 - [1] | --                               | 4,89                    | --                      | 1,69                     | --                       |
| 3        | A1-M1 - [1] | --                               | 4,67                    | --                      | 1,97                     | --                       |
| 4        | A1-M1 - [1] | --                               | 4,87                    | --                      | 1,71                     | --                       |
| 5        | EQU - [1]   | --                               | --                      | 9,91                    | --                       | --                       |
| 6        | STAB - [1]  | --                               | --                      | --                      | --                       | 3,40                     |
| 7        | A1-M1 - [2] | --                               | 4,34                    | --                      | 1,95                     | --                       |
| 8        | A1-M1 - [2] | --                               | 4,53                    | --                      | 1,70                     | --                       |
| 9        | A1-M1 - [2] | --                               | 4,33                    | --                      | 1,97                     | --                       |
| 10       | A1-M1 - [2] | --                               | 4,54                    | --                      | 1,68                     | --                       |
| 11       | EQU - [2]   | --                               | --                      | 8,47                    | --                       | --                       |
| 12       | STAB - [2]  | --                               | --                      | --                      | --                       | 3,42                     |
| 13       | A1-M1 - [3] | Orizzontale + Verticale positivo | 1,49                    | --                      | 1,31                     | --                       |
| 14       | A1-M1 - [3] | Orizzontale + Verticale negativo | 1,23                    | --                      | 1,49                     | --                       |
| 15       | EQU - [3]   | Orizzontale + Verticale positivo | --                      | 2,30                    | --                       | --                       |
| 16       | EQU - [3]   | Orizzontale + Verticale negativo | --                      | 1,79                    | --                       | --                       |
| 17       | STAB - [3]  | Orizzontale + Verticale positivo | --                      | --                      | --                       | 1,84                     |
| 18       | STAB - [3]  | Orizzontale + Verticale negativo | --                      | --                      | --                       | 1,54                     |
| 19       | A1-M1 - [4] | Orizzontale + Verticale positivo | 1,46                    | --                      | 1,30                     | --                       |
| 20       | A1-M1 - [4] | Orizzontale + Verticale negativo | 1,21                    | --                      | 1,48                     | --                       |
| 21       | EQU - [4]   | Orizzontale + Verticale positivo | --                      | 2,24                    | --                       | --                       |
| 22       | EQU - [4]   | Orizzontale + Verticale negativo | --                      | 1,76                    | --                       | --                       |
| 23       | STAB - [4]  | Orizzontale + Verticale positivo | --                      | --                      | --                       | 1,84                     |
| 24       | STAB - [4]  | Orizzontale + Verticale negativo | --                      | --                      | --                       | 1,54                     |
| 25       | SLER - [2]  | --                               | 5,65                    | --                      | 1,44                     | --                       |
| 26       | SLEF - [2]  | --                               | 5,65                    | --                      | 1,44                     | --                       |
| 27       | SLEQ - [2]  | --                               | 5,65                    | --                      | 1,44                     | --                       |
| 28       | SLER - [2]  | Orizzontale + Verticale positivo | 3,07                    | --                      | 1,31                     | --                       |
| 29       | SLER - [2]  | Orizzontale + Verticale negativo | 3,15                    | --                      | 1,44                     | --                       |
| 30       | SLEF - [2]  | Orizzontale + Verticale positivo | 3,07                    | --                      | 1,31                     | --                       |
| 31       | SLEF - [2]  | Orizzontale + Verticale negativo | 3,15                    | --                      | 1,44                     | --                       |
| 32       | SLEQ - [2]  | Orizzontale + Verticale positivo | 3,07                    | --                      | 1,31                     | --                       |
| 33       | SLEQ - [2]  | Orizzontale + Verticale negativo | 3,15                    | --                      | 1,44                     | --                       |

## 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 Bishop   |
| Calcolo della spinta in condizioni di | Spinta attiva      |

### Sisma

#### **Identificazione del sito**

|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Latitudine                           | 38.650988                     |
| Longitudine                          | 16.385720                     |
| Comune                               | Cardinale                     |
| Provincia                            | Catanzaro                     |
| Regione                              | Calabria                      |
| Punti di interpolazione del reticolo | 42780 - 42781 - 42559 - 42558 |

#### **Tipo di opera**

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Tipo di costruzione | Opera ordinaria                              |
| Vita nominale       | 50 anni                                      |
| Classe d'uso        | III - Affollamenti significativi e industrie |
| non pericolose      |                                              |
| Vita di riferimento | 75 anni                                      |

#### **Combinazioni SLU**

|                                                           |                                            |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Accelerazione al suolo $a_g$                              | 2.67 [m/s <sup>2</sup> ]                   |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S) | 1.13                                       |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St)           | 1.20                                       |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )                      | 1.00                                       |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale          | 0.50                                       |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)  | $k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 37.03$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)    | $k_v = 0.50 * k_h = 18.51$                 |

#### **Combinazioni SLE**

|                                                           |                          |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|
| Accelerazione al suolo $a_g$                              | 0.97 [m/s <sup>2</sup> ] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S) | 1.20                     |

|                                                             |                                             |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ )        | 1.20                                        |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )                        | 1.00                                        |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale            | 0.50                                        |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)    | $k_h = (a_g/g * \beta_m * S_t * S) = 14.27$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)      | $k_v = 0.50 * k_h = 7.14$                   |
| Forma diagramma incremento sismico                          | Rettangolare                                |
| Partecipazione spinta passiva (percento)                    | 0,0                                         |
| Lunghezza del muro                                          | 11,00 [m]                                   |
| Peso muro                                                   | 193,4392 [kN]                               |
| Baricentro del muro                                         | X=-1,92 Y=-5,03                             |
| <u>Superficie di spinta</u>                                 |                                             |
| Punto inferiore superficie di spinta                        | X = -1,25 Y = -7,60                         |
| Punto superiore superficie di spinta                        | X = 0,00 Y = 0,00                           |
| Altezza della superficie di spinta                          | 7,60 [m]                                    |
| Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale) | -9,36 [°]                                   |

## Stabilità globale muro + terreno

### Combinazione n° 18

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 [kN]

$\alpha$  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 [kPa]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

### Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

### Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0,00 Y[m]= 5,15

Raggio del cerchio R[m]= 13,64

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6,95

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 12,64

Larghezza della striscia dx[m]= 0,78

Coefficiente di sicurezza C= 1.54

Le strisce sono numerate da monte verso valle

### Caratteristiche delle strisce

| Striscia | W        | $\alpha(^{\circ})$ | $W \sin \alpha$ | $b / \cos \alpha$ | $\phi$ | c | u  |
|----------|----------|--------------------|-----------------|-------------------|--------|---|----|
| 1        | 11,8861  | 63.87              | 10,6709         | 0,0174            | 38.00  | 0 | 0  |
| 2        | 32,8631  | 57.32              | 27,6609         | 0,0142            | 38.00  | 0 | 0  |
| 3        | 49,3169  | 51.62              | 38,6596         | 0,0124            | 38.00  | 0 | 0  |
| 4        | 62,8408  | 46.57              | 45,6382         | 0,0112            | 38.00  | 0 | 0  |
| 5        | 74,2462  | 41.96              | 49,6462         | 0,0103            | 38.00  | 0 | 0  |
| 6        | 84,0701  | 37.67              | 51,3774         | 0,0097            | 38.00  | 0 | 0  |
| 7        | 92,8466  | 33.61              | 51,4004         | 0,0092            | 38.00  | 0 | 6  |
| 8        | 100,4349 | 29.74              | 49,8259         | 0,0088            | 38.00  | 0 | 11 |
| 9        | 106,9383 | 26.02              | 46,9040         | 0,0085            | 38.00  | 0 | 15 |
| 10       | 112,4649 | 22.40              | 42,8628         | 0,0083            | 38.00  | 0 | 18 |
| 11       | 117,0952 | 18.88              | 37,8967         | 0,0081            | 38.00  | 0 | 21 |
| 12       | 120,8900 | 15.44              | 32,1763         | 0,0080            | 38.00  | 0 | 23 |
| 13       | 123,8949 | 12.05              | 25,8553         | 0,0079            | 38.00  | 0 | 25 |
| 14       | 126,1439 | 8.70               | 19,0748         | 0,0078            | 38.00  | 0 | 27 |
| 15       | 127,6609 | 5.38               | 11,9674         | 0,0077            | 38.00  | 0 | 28 |
| 16       | 128,4617 | 2.08               | 4,6597          | 0,0077            | 38.00  | 0 | 28 |
| 17       | 133,3801 | -1.21              | -2,8273         | 0,0077            | 38.00  | 0 | 9  |
| 18       | 108,8013 | -4.51              | -8,5592         | 0,0077            | 38.00  | 0 | 8  |
| 19       | 44,5568  | -7.82              | -6,0659         | 0,0078            | 38.00  | 0 | 7  |
| 20       | 28,7595  | -11.16             | -5,5682         | 0,0078            | 38.00  | 0 | 6  |
| 21       | 26,0151  | -14.54             | -6,5320         | 0,0079            | 38.00  | 0 | 4  |

---

|    |         |        |         |        |       |   |   |
|----|---------|--------|---------|--------|-------|---|---|
| 22 | 22,5326 | -17.97 | -6,9527 | 0,0081 | 38.00 | 0 | 2 |
| 23 | 15,4056 | -21.47 | -5,6391 | 0,0083 | 38.00 | 0 | 0 |
| 24 | 8,9727  | -25.06 | -3,8002 | 0,0085 | 38.00 | 0 | 0 |
| 25 | 3,0466  | -28.75 | -1,4655 | 0,0088 | 38.00 | 0 | 0 |

$\Sigma W_i = 1863,5249$  [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 498,8665$  [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 1455,9452$  [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 6.57$

## Analisi dei tiranti

### Combinazione n° 18

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| Nr.        | numero della fila                                   |
| Nt         | numero di tiranti della fila                        |
| D          | diametro dei tiranti della fila espresso in cm      |
| $\alpha$   | inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi  |
| N          | sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]  |
| $L_f$      | lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m] |
| L          | lunghezza totale del tirante espressa in [m]        |
| $\sigma_f$ | tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa] |

| Nr. | NT | D     | $\alpha$ | N      | $L_f$ | L     | $\sigma_f$ |
|-----|----|-------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 1   | 5  | 18,00 | 15.00    | 550,00 | 6,84  | 14,00 | 791367     |
| 2   | 5  | 18,00 | 15.00    | 650,00 | 8,08  | 12,20 | 935252     |

### COMBINAZIONE n° 19

#### **Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole**

|                                                              |           |      |               |
|--------------------------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Valore della spinta statica                                  | 90,8929   | [kN] |               |
| Componente orizzontale della spinta statica                  | 87,3856   | [kN] |               |
| Componente verticale della spinta statica                    | 25,0056   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta                            | X = -0,79 | [m]  | Y = -4,82 [m] |
| Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie | 25,33     | [°]  |               |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche         | 58,14     | [°]  |               |
| Incremento sismico della spinta                              | 277,4409  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta       | X = -0,63 | [m]  | Y = -3,80 [m] |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche         | 32,20     | [°]  |               |
| Spinta falda                                                 | 19,6136   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta della falda                | X = -1,25 | [m]  | Y = -6,93 [m] |
| Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte            | 13,7836   | [kN] |               |
| Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte      | X = -0,84 | [m]  | Y = -4,69 [m] |
| Inerzia del muro                                             | 71,6247   | [kN] |               |
| Inerzia verticale del muro                                   | 35,8124   | [kN] |               |
| Inerzia del terrapieno fondazione di monte                   | 5,1037    | [kN] |               |
| Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte         | 2,5518    | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione X                                | -439,0572 | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione Y                                | 117,6450  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti                | X = -1,37 | [m]  | Y = -3,70 [m] |

#### Risultanti

|                                                      |          |      |
|------------------------------------------------------|----------|------|
| Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale | 11,4056  | [kN] |
| Risultante dei carichi applicati in dir. verticale   | 464,5647 | [kN] |
| Sforzo normale sul piano di posa della fondazione    | 464,5647 | [kN] |

---

|                                                       |           |       |
|-------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione | 11,4056   | [kN]  |
| Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione  | -0,60     | [m]   |
| Lunghezza fondazione reagente                         | 3,60      | [m]   |
| Risultante in fondazione                              | 464,7047  | [kN]  |
| Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) | 1,41      | [°]   |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione       | -278,7388 | [kNm] |
| Carico ultimo della fondazione                        | 604,8000  | [kN]  |

*Tensioni sul terreno*

|                                        |        |       |
|----------------------------------------|--------|-------|
| Lunghezza fondazione reagente          | 3,60   | [m]   |
| Tensione terreno allo spigolo di valle | 0,00   | [kPa] |
| Tensione terreno allo spigolo di monte | 258,09 | [kPa] |

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Coefficiente di sicurezza a scorrimento   | 1.46 |
| Coefficiente di sicurezza a carico ultimo | 1.30 |

## Sollecitazioni fondazione di valle

### Combinazione n° 19

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

| Nr. | X    | M        | T        |
|-----|------|----------|----------|
| 1   | 0,29 | -0,7477  | -4,1026  |
| 2   | 1,17 | 2,3158   | 20,2662  |
| 3   | 2,04 | 50,8229  | 99,6497  |
| 4   | 2,92 | 192,9664 | 234,0480 |

## Sollecitazioni fondazione di monte

### Combinazione n° 19

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

| Nr. | X    | M      | T      |
|-----|------|--------|--------|
| 1   | 0,00 | 0,0010 | 0,6916 |
| 2   | 0,01 | 0,0166 | 2,7681 |
| 3   | 0,02 | 0,0509 | 4,8471 |
| 4   | 0,03 | 0,1039 | 6,9287 |

## Inviluppo sollecitazioni piastra paramento

### Combinazione n° 19

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 11.00 Altezza(m) = 6.60

Origine all'attacco con la fondazione all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra espressa in [m]

Ordinata Y positiva verso l'alto espressa in [m]

I momenti positivi tendono le fibre contro terra

Momento espresso in [kNm]

Taglio e Sforzo Normale espressi in [kN]

### Sollecitazioni in direzione Y

| Nr. | Y    | M <sub>ymin</sub> | M <sub>ymax</sub> | T <sub>ymin</sub> | T <sub>ymax</sub> | N        |
|-----|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1   | 0,00 | -170,8923         | 0,0000            | -15,8471          | 96,3432           | 165,3514 |
| 2   | 0,22 | -149,6541         | 0,0000            | -10,2055          | 114,6132          | 159,3432 |
| 3   | 0,45 | -126,6381         | 0,0000            | 0,0000            | 126,6486          | 153,3478 |
| 4   | 0,67 | -100,5719         | 0,0000            | 0,0000            | 147,5142          | 147,3656 |
| 5   | 0,90 | -71,1106          | 0,0000            | 0,0000            | 176,4585          | 141,4108 |
| 6   | 1,12 | -38,0507          | 0,0000            | 0,0000            | 219,4554          | 135,4719 |
| 7   | 1,35 | 0,0000            | 19,4944           | 0,0000            | 290,1417          | 129,5455 |
| 8   | 1,57 | 0,0000            | 73,0613           | 0,0000            | 434,1678          | 123,6312 |
| 9   | 1,80 | 0,0000            | 198,3654          | -293,0130         | 445,6142          | 117,7312 |
| 10  | 2,02 | 0,0000            | 106,2944          | -283,6606         | 85,6473           | 112,0243 |
| 11  | 2,24 | 0,0000            | 88,5061           | -141,7496         | 56,7217           | 106,3527 |
| 12  | 2,45 | 0,0000            | 85,7828           | -71,4862          | 31,8665           | 100,7143 |
| 13  | 2,67 | 0,0000            | 83,5190           | -28,8381          | 24,7985           | 95,1003  |
| 14  | 2,89 | 0,0000            | 84,6185           | -0,5893           | 27,4378           | 89,5291  |
| 15  | 3,11 | 0,0000            | 89,6439           | 0,0000            | 40,2749           | 83,9901  |
| 16  | 3,33 | 0,0000            | 98,5062           | 0,0000            | 68,1599           | 78,4756  |
| 17  | 3,55 | 0,0000            | 110,4531          | 0,0000            | 106,1241          | 73,0052  |
| 18  | 3,76 | 0,0000            | 123,0773          | 0,0000            | 166,7274          | 67,5658  |
| 19  | 3,98 | 0,0000            | 147,8836          | -20,0305          | 287,4448          | 62,1509  |
| 20  | 4,20 | 0,0000            | 235,4482          | -331,8094         | 295,8357          | 56,7815  |
| 21  | 4,42 | 0,0000            | 140,8256          | -323,1808         | 0,0000            | 51,4417  |
| 22  | 4,64 | 0,0000            | 108,0826          | -203,5344         | 0,0000            | 46,1266  |
| 23  | 4,85 | 0,0000            | 87,5241           | -145,1241         | 0,0000            | 40,8584  |
| 24  | 5,07 | 0,0000            | 67,0922           | -110,4083         | 0,0000            | 35,6188  |
| 25  | 5,29 | 0,0000            | 49,0172           | -86,4490          | 0,0000            | 30,4041  |
| 26  | 5,51 | 0,0000            | 33,9010           | -67,9248          | 0,0000            | 25,2385  |
| 27  | 5,73 | 0,0000            | 22,3038           | -52,1314          | 0,0000            | 20,1022  |
| 28  | 5,95 | 0,0000            | 13,3510           | -37,8285          | 0,0000            | 14,9927  |
| 29  | 6,16 | 0,0000            | 6,9227            | -24,8230          | 0,0000            | 9,9504   |
| 30  | 6,38 | 0,0000            | 2,8315            | -14,1431          | 0,0000            | 4,9535   |
| 31  | 6,60 | -0,3283           | 0,0000            | -6,5070           | 1,0504            | 0,0000   |

### Sollecitazioni in direzione X

| Nr. | X     | M <sub>xmin</sub> | M <sub>xmax</sub> | T <sub>xmin</sub> | T <sub>xmax</sub> |
|-----|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1   | 0,00  | -1,3042           | 0,0661            | -14,0489          | 69,8480           |
| 2   | 0,37  | -8,8507           | 9,7188            | -110,8157         | 53,8741           |
| 3   | 0,73  | -6,1590           | 29,3291           | -384,4385         | 44,7912           |
| 4   | 1,10  | 0,0000            | 132,8309          | -397,1136         | 378,1353          |
| 5   | 1,54  | -23,3639          | 16,7109           | -4,5054           | 364,0759          |
| 6   | 1,98  | -29,8252          | 6,9934            | -5,7312           | 95,0210           |
| 7   | 2,42  | -31,4944          | 6,5606            | -85,8169          | 13,1798           |
| 8   | 2,86  | -27,9039          | 11,4750           | -351,3673         | 10,3527           |
| 9   | 3,30  | 0,0000            | 116,1299          | -365,5252         | 370,3010          |
| 10  | 3,74  | -29,1455          | 9,8741            | -8,8317           | 356,0345          |
| 11  | 4,18  | -34,1626          | 4,7025            | -11,3660          | 90,6031           |
| 12  | 4,62  | -34,3611          | 4,3725            | -88,6753          | 11,6409           |
| 13  | 5,06  | -29,7702          | 8,6479            | -353,8650         | 9,0280            |
| 14  | 5,50  | 0,0000            | 114,9760          | -368,0746         | 368,0746          |
| 15  | 5,94  | -29,7702          | 8,6479            | -9,0280           | 353,8650          |
| 16  | 6,38  | -34,3611          | 4,3725            | -11,6409          | 88,6753           |
| 17  | 6,82  | -34,1626          | 4,7025            | -90,6031          | 11,3660           |
| 18  | 7,26  | -29,1455          | 9,8741            | -356,0345         | 8,8317            |
| 19  | 7,70  | 0,0000            | 116,1299          | -370,3010         | 365,5252          |
| 20  | 8,14  | -27,9039          | 11,4750           | -10,3527          | 351,3673          |
| 21  | 8,58  | -31,4944          | 6,5606            | -13,1798          | 85,8169           |
| 22  | 9,02  | -29,8252          | 6,9934            | -95,0210          | 5,7312            |
| 23  | 9,46  | -23,3639          | 16,7109           | -364,0759         | 4,5054            |
| 24  | 9,90  | 0,0000            | 132,8309          | -378,1353         | 397,1136          |
| 25  | 10,27 | -6,1590           | 29,3291           | -44,7912          | 384,4385          |
| 26  | 10,63 | -8,8507           | 9,7188            | -53,8741          | 110,8157          |
| 27  | 11,00 | -1,3042           | 0,0661            | -69,8480          | 14,0489           |

## Armature e tensioni nei materiali del muro

### Combinazione n° 19

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

|                  |                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------|
| B                | base della sezione espressa in [cm]                            |
| H                | altezza della sezione espressa in [cm]                         |
| A <sub>fs</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |
| A <sub>fi</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| N <sub>u</sub>   | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| M <sub>u</sub>   | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS               | coefficiente sicurezza sezione                                 |
| VR <sub>cd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]         |
| VR <sub>sd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]   |
| VR <sub>d</sub>  | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                         |

| Nr. | Y    | B, H    | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS      | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 496,37         | 1000,00 | 226,76          | --               | --               |
| 2   | 0,65 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 798,91         | -711,43        | 53,29   | 228,87          | --               | --               |

---

|    |      |        |       |       |         |         |       |        |    |    |
|----|------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|--------|----|----|
| 3  | 1,31 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 369,60  | -595,86 | 12,16 | 231,04 | -- | -- |
| 4  | 1,96 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 239,33  | -560,80 | 5,19  | 233,25 | -- | -- |
| 5  | 2,62 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 235,22  | -559,69 | 3,78  | 235,51 | -- | -- |
| 6  | 3,27 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 503,39  | -631,88 | 6,41  | 237,81 | -- | -- |
| 7  | 3,93 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 815,01  | -715,76 | 8,57  | 240,15 | -- | -- |
| 8  | 4,58 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 730,32  | -692,96 | 6,52  | 242,53 | -- | -- |
| 9  | 5,25 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 5625,06 | -846,48 | 43,42 | 245,00 | -- | -- |
| 10 | 5,92 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 1184,37 | 808,29  | 8,04  | 247,50 | -- | -- |
| 11 | 6,60 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 649,43  | 671,19  | 3,93  | 250,04 | -- | -- |

## Armature e tensioni nei materiali della fondazione

### Combinazione n° 19

Simbologia adottata

|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| B               | base della sezione espressa in [cm]                             |
| H               | altezza della sezione espressa in [cm]                          |
| A <sub>fi</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq] |
| A <sub>fs</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq] |
| N <sub>u</sub>  | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                          |
| M <sub>u</sub>  | momento ultimo espresso in [kNm]                                |
| CS              | coefficiente sicurezza sezione                                  |
| VRcd            | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]          |
| VRsd            | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]    |
| VRd             | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                          |

### Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS      | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,29 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | -794,21        | 1062,17 | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 1,17 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 342,95  | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 2,04 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 15,63   | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 2,92 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 4,12    | 284,14          | --               | --               |

### Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS        | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 765622,58 | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 0,01 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 47831,99  | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 0,02 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 15612,27  | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 0,03 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 7646,91   | 284,14          | --               | --               |

## Armature e tensioni piastre

### Combinazione n° 19

|                 |                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| X               | ascissa sezione espressa in [m]                                |
| A <sub>fs</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |

|          |                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| $A_{fi}$ | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| $N_u$    | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| $M_u$    | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS       | coefficiente sicurezza sezione                                 |

**Piastra paramento**

| Nr. | X     | $A_{fs}$ | $A_{fi}$ | $N_u$ | $M_u$   | CS     |
|-----|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| 1   | -5,50 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 113,58 |
| 2   | -5,13 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 15,24  |
| 3   | -4,77 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 5,05   |
| 4   | -4,40 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,12   |
| 5   | -3,96 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 6,34   |
| 6   | -3,52 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,97   |
| 7   | -3,08 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,70   |
| 8   | -2,64 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,31   |
| 9   | -2,20 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,28   |
| 10  | -1,76 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,08   |
| 11  | -1,32 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,34   |
| 12  | -0,88 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,31   |
| 13  | -0,44 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,98   |
| 14  | 0,00  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,29   |
| 15  | 0,44  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,98   |
| 16  | 0,88  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,31   |
| 17  | 1,32  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,34   |
| 18  | 1,76  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,08   |
| 19  | 2,20  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,28   |
| 20  | 2,64  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,31   |
| 21  | 3,08  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,70   |
| 22  | 3,52  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,97   |
| 23  | 3,96  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 6,34   |
| 24  | 4,40  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,12   |
| 25  | 4,77  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 5,05   |
| 26  | 5,13  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 15,24  |
| 27  | 5,50  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 113,58 |

## Analisi dei tiranti

### Combinazione n° 19

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| Nr.        | numero della fila                                   |
| Nt         | numero di tiranti della fila                        |
| D          | diametro dei tiranti della fila espresso in cm      |
| $\alpha$   | inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi  |
| N          | sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]  |
| $L_f$      | lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m] |
| L          | lunghezza totale del tirante espressa in [m]        |
| $\sigma_f$ | tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa] |

| Nr. | NT | D     | $\alpha$ | N      | $L_f$ | L     | $\sigma_f$ |
|-----|----|-------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 1   | 5  | 18,00 | 15.00    | 550,00 | 6,84  | 14,00 | 791367     |
| 2   | 5  | 18,00 | 15.00    | 650,00 | 8,08  | 12,20 | 935252     |

### COMBINAZIONE n° 20

|                                                              |           |      |               |
|--------------------------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Valore della spinta statica                                  | 90,8929   | [kN] |               |
| Componente orizzontale della spinta statica                  | 87,3856   | [kN] |               |
| Componente verticale della spinta statica                    | 25,0056   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta                            | X = -0,79 | [m]  | Y = -4,82 [m] |
| Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie | 25,33     | [°]  |               |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche         | 58,14     | [°]  |               |

|                                                        |           |      |               |
|--------------------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Incremento sismico della spinta                        | 351,2302  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta | X = -0,63 | [m]  | Y = -3,80 [m] |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche   | 25,89     | [°]  |               |

|                                               |           |      |               |
|-----------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Spinta falda                                  | 19,6136   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta della falda | X = -1,25 | [m]  | Y = -6,93 [m] |

|                                                         |           |      |               |
|---------------------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte       | 13,7836   | [kN] |               |
| Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte | X = -0,84 | [m]  | Y = -4,69 [m] |
| Inerzia del muro                                        | 71,6247   | [kN] |               |
| Inerzia verticale del muro                              | -35,8124  | [kN] |               |
| Inerzia del terrapieno fondazione di monte              | 5,1037    | [kN] |               |
| Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte    | -2,5518   | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione X                           | -439,0572 | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione Y                           | 117,6450  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti           | X = -1,37 | [m]  | Y = -3,70 [m] |

### Risultanti

|                                                       |          |      |
|-------------------------------------------------------|----------|------|
| Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale  | 82,3475  | [kN] |
| Risultante dei carichi applicati in dir. verticale    | 408,1365 | [kN] |
| Sforzo normale sul piano di posa della fondazione     | 408,1365 | [kN] |
| Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione | 82,3475  | [kN] |

---

|                                                       |           |       |
|-------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione  | -0,60     | [m]   |
| Lunghezza fondazione reagente                         | 3,60      | [m]   |
| Risultante in fondazione                              | 416,3611  | [kN]  |
| Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) | 11,41     | [°]   |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione       | -244,8819 | [kNm] |
| Carico ultimo della fondazione                        | 604,8000  | [kN]  |

*Tensioni sul terreno*

|                                        |        |       |
|----------------------------------------|--------|-------|
| Lunghezza fondazione reagente          | 3,60   | [m]   |
| Tensione terreno allo spigolo di valle | 0,00   | [kPa] |
| Tensione terreno allo spigolo di monte | 226,74 | [kPa] |

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Coefficiente di sicurezza a scorrimento   | 1.21 |
| Coefficiente di sicurezza a carico ultimo | 1.48 |

## Sollecitazioni fondazione di valle

### Combinazione n° 20

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

| Nr. | X    | M        | T        |
|-----|------|----------|----------|
| 1   | 0,29 | -0,7839  | -4,4738  |
| 2   | 1,17 | 0,0033   | 14,3263  |
| 3   | 2,04 | 38,4289  | 81,4589  |
| 4   | 2,92 | 156,8322 | 196,9238 |

## Sollecitazioni fondazione di monte

### Combinazione n° 20

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

| Nr. | X    | M      | T      |
|-----|------|--------|--------|
| 1   | 0,00 | 0,0009 | 0,5976 |
| 2   | 0,01 | 0,0143 | 2,3925 |
| 3   | 0,02 | 0,0440 | 4,1907 |
| 4   | 0,03 | 0,0898 | 5,9921 |

## Inviluppo sollecitazioni piastra paramento

### Combinazione n° 20

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 11.00 Altezza(m) = 6.60

Origine all'attacco con la fondazione all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra espressa in [m]

Ordinata Y positiva verso l'alto espressa in [m]

I momenti positivi tendono le fibre contro terra

Momento espresso in [kNm]

Taglio e Sforzo Normale espressi in [kN]

### Sollecitazioni in direzione Y

| Nr. | Y    | M <sub>ymin</sub> | M <sub>ymax</sub> | T <sub>ymin</sub> | T <sub>ymax</sub> | N        |
|-----|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1   | 0,00 | -253,3429         | 0,0000            | 0,0000            | 129,5887          | 175,0375 |
| 2   | 0,22 | -224,7592         | 0,0000            | 0,0000            | 146,6182          | 168,6991 |
| 3   | 0,45 | -194,8391         | 0,0000            | 0,0000            | 156,5107          | 162,3735 |
| 4   | 0,67 | -162,3013         | 0,0000            | 0,0000            | 175,2282          | 156,0611 |
| 5   | 0,90 | -126,7862         | 0,0000            | 0,0000            | 202,4114          | 149,7761 |
| 6   | 1,12 | -88,0737          | 0,0000            | 0,0000            | 243,5723          | 143,5069 |
| 7   | 1,35 | -44,5675          | 0,0000            | 0,0000            | 312,4318          | 137,2503 |
| 8   | 1,57 | 0,0000            | 33,1898           | 0,0000            | 454,6959          | 131,0059 |
| 9   | 1,80 | 0,0000            | 163,0161          | -273,9078         | 465,2794          | 124,7756 |
| 10  | 2,02 | 0,0000            | 74,9889           | -265,6307         | 104,1171          | 118,7485 |
| 11  | 2,24 | 0,0000            | 60,9469           | -125,3199         | 73,1767           | 112,7567 |
| 12  | 2,45 | 0,0000            | 61,6560           | -56,5850          | 47,0116           | 106,7981 |
| 13  | 2,67 | 0,0000            | 62,5337           | -15,6712          | 38,6689           | 100,8639 |
| 14  | 2,89 | 0,0000            | 66,4953           | 0,0000            | 40,0371           | 94,9725  |
| 15  | 3,11 | 0,0000            | 74,1199           | 0,0000            | 51,4182           | 89,1133  |
| 16  | 3,33 | 0,0000            | 85,3263           | 0,0000            | 78,2130           | 83,2786  |
| 17  | 3,55 | 0,0000            | 99,3764           | 0,0000            | 115,0953          | 77,4881  |
| 18  | 3,76 | 0,0000            | 113,8763          | 0,0000            | 174,6395          | 71,7284  |
| 19  | 3,98 | 0,0000            | 140,3407          | -12,6484          | 294,3436          | 65,9933  |
| 20  | 4,20 | 0,0000            | 229,3606          | -325,7223         | 302,2726          | 60,3037  |
| 21  | 4,42 | 0,0000            | 136,0019          | -317,6752         | 0,0000            | 54,6437  |
| 22  | 4,64 | 0,0000            | 104,3425          | -198,9037         | 0,0000            | 49,0084  |
| 23  | 4,85 | 0,0000            | 84,7005           | -141,2563         | 0,0000            | 43,4200  |
| 24  | 5,07 | 0,0000            | 65,0319           | -107,2294         | 0,0000            | 37,8602  |
| 25  | 5,29 | 0,0000            | 47,5774           | -83,9083          | 0,0000            | 32,3253  |
| 26  | 5,51 | 0,0000            | 32,9442           | -65,9387          | 0,0000            | 26,8395  |
| 27  | 5,73 | 0,0000            | 21,7251           | -50,6522          | 0,0000            | 21,3830  |
| 28  | 5,95 | 0,0000            | 13,0438           | -36,8127          | 0,0000            | 15,9533  |
| 29  | 6,16 | 0,0000            | 6,7956            | -24,1882          | 0,0000            | 10,5908  |
| 30  | 6,38 | 0,0000            | 2,8058            | -13,8435          | 0,0000            | 5,2737   |
| 31  | 6,60 | -0,3231           | 0,0000            | -6,4789           | 1,0483            | 0,0000   |

### Sollecitazioni in direzione X

| Nr. | X     | M <sub>xmin</sub> | M <sub>xmax</sub> | T <sub>xmin</sub> | T <sub>xmax</sub> |
|-----|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1   | 0,00  | -1,2182           | 0,1293            | -14,7334          | 67,8489           |
| 2   | 0,37  | -8,7915           | 9,7703            | -112,1919         | 52,6911           |
| 3   | 0,73  | -6,1190           | 29,3703           | -384,7500         | 46,2958           |
| 4   | 1,10  | 0,0000            | 132,8528          | -396,7389         | 377,8274          |
| 5   | 1,54  | -23,3264          | 16,7548           | -4,6998           | 364,4448          |
| 6   | 1,98  | -29,8008          | 7,0248            | -5,5040           | 96,3740           |
| 7   | 2,42  | -31,4789          | 6,5899            | -87,0673          | 12,7001           |
| 8   | 2,86  | -27,8938          | 11,5011           | -351,6832         | 10,8399           |
| 9   | 3,30  | 0,0000            | 116,1365          | -365,1841         | 369,9777          |
| 10  | 3,74  | -29,1411          | 9,8935            | -9,2749           | 356,3762          |
| 11  | 4,18  | -34,1596          | 4,7239            | -10,9222          | 91,9056           |
| 12  | 4,62  | -34,3588          | 4,3926            | -89,9590          | 11,1818           |
| 13  | 5,06  | -29,7684          | 8,6622            | -354,1948         | 9,4870            |
| 14  | 5,50  | 0,0000            | 114,9777          | -367,7432         | 367,7432          |
| 15  | 5,94  | -29,7684          | 8,6622            | -9,4870           | 354,1948          |
| 16  | 6,38  | -34,3588          | 4,3926            | -11,1818          | 89,9590           |
| 17  | 6,82  | -34,1596          | 4,7239            | -91,9056          | 10,9222           |
| 18  | 7,26  | -29,1411          | 9,8935            | -356,3762         | 9,2749            |
| 19  | 7,70  | 0,0000            | 116,1365          | -369,9777         | 365,1841          |
| 20  | 8,14  | -27,8938          | 11,5011           | -10,8399          | 351,6832          |
| 21  | 8,58  | -31,4789          | 6,5899            | -12,7001          | 87,0673           |
| 22  | 9,02  | -29,8008          | 7,0248            | -96,3740          | 5,5040            |
| 23  | 9,46  | -23,3264          | 16,7548           | -364,4448         | 4,6998            |
| 24  | 9,90  | 0,0000            | 132,8528          | -377,8274         | 396,7389          |
| 25  | 10,27 | -6,1190           | 29,3703           | -46,2958          | 384,7500          |
| 26  | 10,63 | -8,7915           | 9,7703            | -52,6911          | 112,1919          |
| 27  | 11,00 | -1,2182           | 0,1293            | -67,8489          | 14,7334           |

## Armature e tensioni nei materiali del muro

### Combinazione n° 20

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

|                  |                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------|
| B                | base della sezione espressa in [cm]                            |
| H                | altezza della sezione espressa in [cm]                         |
| A <sub>fs</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |
| A <sub>fi</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| N <sub>u</sub>   | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| M <sub>u</sub>   | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS               | coefficiente sicurezza sezione                                 |
| VR <sub>cd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]         |
| VR <sub>sd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]   |
| VR <sub>d</sub>  | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                         |

| Nr. | Y    | B, H    | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS      | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 496,37         | 1000,00 | 226,76          | --               | --               |
| 2   | 0,65 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 905,07         | -740,00        | 56,73   | 229,01          | --               | --               |

---

|    |      |        |       |       |         |         |       |        |    |    |
|----|------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|--------|----|----|
| 3  | 1,31 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 412,73  | -607,47 | 12,77 | 231,31 | -- | -- |
| 4  | 1,96 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 266,88  | -568,21 | 5,45  | 233,66 | -- | -- |
| 5  | 2,62 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 267,24  | -568,31 | 4,05  | 236,05 | -- | -- |
| 6  | 3,27 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 657,10  | -673,25 | 7,89  | 238,48 | -- | -- |
| 7  | 3,93 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 1369,30 | -848,94 | 13,58 | 240,96 | -- | -- |
| 8  | 4,58 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 1331,01 | -840,52 | 11,21 | 243,48 | -- | -- |
| 9  | 5,25 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 3343,46 | 1085,68 | 24,36 | 246,08 | -- | -- |
| 10 | 5,92 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 643,97  | 669,72  | 4,13  | 248,73 | -- | -- |
| 11 | 6,60 | 100,65 | 21,99 | 21,99 | 421,30  | 609,78  | 2,41  | 251,40 | -- | -- |

## Armature e tensioni nei materiali della fondazione

### Combinazione n° 20

Simbologia adottata

|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| B               | base della sezione espressa in [cm]                             |
| H               | altezza della sezione espressa in [cm]                          |
| A <sub>fi</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq] |
| A <sub>fs</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq] |
| N <sub>u</sub>  | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                          |
| M <sub>u</sub>  | momento ultimo espresso in [kNm]                                |
| CS              | coefficiente sicurezza sezione                                  |
| VRcd            | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]          |
| VRsd            | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]    |
| VRd             | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                          |

### Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS        | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,29 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | -794,21        | 1013,21   | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 1,17 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 244151,89 | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 2,04 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 20,67     | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 2,92 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 5,06      | 284,14          | --               | --               |

### Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS       | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 86091,41 | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 0,01 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 5347,45  | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 0,02 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 18061,79 | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 0,03 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 8844,96  | 284,14          | --               | --               |

## Armature e tensioni piastre

### Combinazione n° 20

|                 |                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| X               | ascissa sezione espressa in [m]                                |
| A <sub>fs</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |

|          |                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| $A_{fi}$ | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| $N_u$    | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| $M_u$    | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS       | coefficiente sicurezza sezione                                 |

**Piastra paramento**

| Nr. | X     | $A_{fs}$ | $A_{fi}$ | $N_u$ | $M_u$   | CS     |
|-----|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| 1   | -5,50 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 121,60 |
| 2   | -5,13 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 15,16  |
| 3   | -4,77 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 5,04   |
| 4   | -4,40 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,11   |
| 5   | -3,96 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 6,35   |
| 6   | -3,52 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,97   |
| 7   | -3,08 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,71   |
| 8   | -2,64 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,31   |
| 9   | -2,20 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,28   |
| 10  | -1,76 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,08   |
| 11  | -1,32 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,34   |
| 12  | -0,88 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,31   |
| 13  | -0,44 | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,98   |
| 14  | 0,00  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,29   |
| 15  | 0,44  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,98   |
| 16  | 0,88  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,31   |
| 17  | 1,32  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,34   |
| 18  | 1,76  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,08   |
| 19  | 2,20  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,28   |
| 20  | 2,64  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 5,31   |
| 21  | 3,08  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,71   |
| 22  | 3,52  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 4,97   |
| 23  | 3,96  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 6,35   |
| 24  | 4,40  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 1,11   |
| 25  | 4,77  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 5,04   |
| 26  | 5,13  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | -148,13 | 15,16  |
| 27  | 5,50  | 6,41     | 6,41     | 0,00  | 148,13  | 121,60 |

## Analisi dei tiranti

### Combinazione n° 20

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| Nr.        | numero della fila                                   |
| Nt         | numero di tiranti della fila                        |
| D          | diametro dei tiranti della fila espresso in cm      |
| $\alpha$   | inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi  |
| N          | sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]  |
| $L_f$      | lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m] |
| L          | lunghezza totale del tirante espressa in [m]        |
| $\sigma_f$ | tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa] |

| Nr. | NT | D     | $\alpha$ | N      | $L_f$ | L     | $\sigma_f$ |
|-----|----|-------|----------|--------|-------|-------|------------|
| 1   | 5  | 18,00 | 15.00    | 550,00 | 6,84  | 14,00 | 791367     |
| 2   | 5  | 18,00 | 15.00    | 650,00 | 8,08  | 12,20 | 935252     |

### COMBINAZIONE n° 22

|                                                              |           |      |               |
|--------------------------------------------------------------|-----------|------|---------------|
| Valore della spinta statica                                  | 90,8929   | [kN] |               |
| Componente orizzontale della spinta statica                  | 87,3856   | [kN] |               |
| Componente verticale della spinta statica                    | 25,0056   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta                            | X = -0,79 | [m]  | Y = -4,82 [m] |
| Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie | 25,33     | [°]  |               |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche         | 58,14     | [°]  |               |
| Incremento sismico della spinta                              | 351,2302  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta       | X = -0,63 | [m]  | Y = -3,80 [m] |
| Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche         | 25,89     | [°]  |               |
| Spinta falda                                                 | 19,6136   | [kN] |               |
| Punto d'applicazione della spinta della falda                | X = -1,25 | [m]  | Y = -6,93 [m] |
| Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte            | 13,7836   | [kN] |               |
| Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte      | X = -0,84 | [m]  | Y = -4,69 [m] |
| Inerzia del muro                                             | 71,6247   | [kN] |               |
| Inerzia verticale del muro                                   | -35,8124  | [kN] |               |
| Inerzia del terrapieno fondazione di monte                   | 5,1037    | [kN] |               |
| Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte         | -2,5518   | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione X                                | -439,0572 | [kN] |               |
| Sforzo tiranti in direzione Y                                | 117,6450  | [kN] |               |
| Punto d'applicazione dello sforzo dei tiranti                | X = -1,37 | [m]  | Y = -3,70 [m] |

### Risultanti

|                                                      |           |       |
|------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale | 82,3475   | [kN]  |
| Risultante dei carichi applicati in dir. verticale   | 408,1365  | [kN]  |
| Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle     | 1853,3841 | [kNm] |
| Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle  | 3255,0424 | [kNm] |

---

|                                                       |           |       |
|-------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Sforzo normale sul piano di posa della fondazione     | 408,1365  | [kN]  |
| Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione | 82,3475   | [kN]  |
| Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione  | -0,60     | [m]   |
| Lunghezza fondazione reagente                         | 3,60      | [m]   |
| Risultante in fondazione                              | 416,3611  | [kN]  |
| Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) | 11,41     | [°]   |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione       | -244,8819 | [kNm] |

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| Coefficiente di sicurezza a ribaltamento | 1.76 |
|------------------------------------------|------|

## Analisi dei tiranti

### Combinazione n° 22

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| Nr.        | numero della fila                                   |
| Nt         | numero di tiranti della fila                        |
| D          | diametro dei tiranti della fila espresso in cm      |
| $\alpha$   | inclinazione dei tiranti della fila espressa gradi  |
| N          | sforzo in ogni tirante della fila espresso in [kN]  |
| $L_f$      | lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m] |
| L          | lunghezza totale del tirante espressa in [m]        |
| $\sigma_f$ | tensione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa] |

| <b>Nr.</b> | <b>NT</b> | <b>D</b> | <b><math>\alpha</math></b> | <b>N</b> | <b><math>L_f</math></b> | <b>L</b> | <b><math>\sigma_f</math></b> |
|------------|-----------|----------|----------------------------|----------|-------------------------|----------|------------------------------|
| 1          | 5         | 18,00    | 15.00                      | 550,00   | 6,84                    | 14,00    | 791367                       |
| 2          | 5         | 18,00    | 15.00                      | 650,00   | 8,08                    | 12,20    | 935252                       |

## Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

### Inviluppo combinazioni SLU

| <b>Nr.</b> | <b>X</b> | <b>Mmin</b> | <b>Mmax</b> | <b>Tmin</b> | <b>Tmax</b> |
|------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1          | 0,29     | -1,0944     | -0,7477     | -6,5903     | -4,1026     |
| 2          | 1,17     | -4,8193     | 2,3158      | 6,2351      | 20,2662     |
| 3          | 2,04     | 24,1067     | 50,8229     | 64,2810     | 99,6497     |
| 4          | 2,92     | 122,7102    | 192,9664    | 161,8670    | 234,0480    |

### Inviluppo combinazioni SLE

| <b>Nr.</b> | <b>X</b> | <b>Mmin</b> | <b>Mmax</b> | <b>Tmin</b> | <b>Tmax</b> |
|------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1          | 0,29     | -0,8212     | -0,7996     | -4,8571     | -4,6360     |
| 2          | 1,17     | -2,3845     | -1,0070     | 8,1933      | 11,7313     |
| 3          | 2,04     | 25,6318     | 33,0143     | 62,6765     | 73,5118     |
| 4          | 2,92     | 119,5231    | 141,0463    | 158,5925    | 180,7054    |

## Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

### Inviluppo combinazioni SLU

| <b>Nr.</b> | <b>X</b> | <b>Mmin</b> | <b>Mmax</b> | <b>Tmin</b> | <b>Tmax</b> |
|------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1          | 0,00     | 0,0008      | 0,0010      | 0,5062      | 0,6916      |
| 2          | 0,01     | 0,0122      | 0,0166      | 2,0290      | 2,7681      |
| 3          | 0,02     | 0,0373      | 0,0509      | 3,5582      | 4,8471      |
| 4          | 0,03     | 0,0762      | 0,1039      | 5,0938      | 6,9287      |

### Inviluppo combinazioni SLE

| <b>Nr.</b> | <b>X</b> | <b>Mmin</b> | <b>Mmax</b> | <b>Tmin</b> | <b>Tmax</b> |
|------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1          | 0,00     | 0,0008      | 0,0008      | 0,5005      | 0,5565      |
| 2          | 0,01     | 0,0120      | 0,0134      | 2,0048      | 2,2285      |

|   |      |        |        |        |        |
|---|------|--------|--------|--------|--------|
| 3 | 0,02 | 0,0368 | 0,0410 | 3,5130 | 3,9039 |
| 4 | 0,03 | 0,0753 | 0,0836 | 5,0251 | 5,5830 |

## Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

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

|                  |                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------|
| B                | base della sezione espressa in [cm]                            |
| H                | altezza della sezione espressa in [cm]                         |
| A <sub>fs</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |
| A <sub>fi</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| $\sigma_c$       | tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]                    |
| $\tau_c$         | tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]        |
| $\sigma_{fs}$    | tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]    |
| $\sigma_{fi}$    | tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]    |
| N <sub>u</sub>   | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| M <sub>u</sub>   | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS               | coefficiente sicurezza sezione                                 |
| V <sub>Rcd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]         |
| V <sub>Rsd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]   |
| VRd              | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                         |

### Inviluppo SLU

| Nr. | Y    | B, H    | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS      | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 496,37         | 1000,00 | 226,76          | --               | --               |
| 2   | 0,65 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 563,99         | -648,19        | 52,90   | 228,28          | --               | --               |
| 3   | 1,31 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 273,41         | -569,97        | 12,16   | 229,81          | --               | --               |
| 4   | 1,96 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 177,92         | -544,27        | 5,19    | 233,57          | --               | --               |
| 5   | 2,62 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 175,40         | -543,59        | 3,78    | 235,93          | --               | --               |
| 6   | 3,27 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 377,74         | -598,05        | 6,41    | 234,79          | --               | --               |
| 7   | 3,93 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 557,14         | -646,35        | 7,53    | 240,76          | --               | --               |
| 8   | 4,58 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 445,93         | -616,41        | 5,03    | 238,38          | --               | --               |
| 9   | 5,25 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 1832,96        | 0,00           | 14,80   | 240,30          | --               | --               |
| 10  | 5,92 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 623,95         | 664,33         | 4,05    | 242,29          | --               | --               |
| 11  | 6,60 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 413,91         | 607,79         | 2,39    | 251,14          | --               | --               |

### Inviluppo SLE

| Nr. | Y    | B, H    | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | $\sigma_c$ | $\tau_c$ | $\sigma_{fs}$ | $\sigma_{fi}$ |
|-----|------|---------|-----------------|-----------------|------------|----------|---------------|---------------|
| 1   | 0,00 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 6          | 0        | -62           | 255           |
| 2   | 0,65 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 240        | 0        | 7905          | -2848         |
| 3   | 1,31 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 870        | 0        | 33154         | -10017        |
| 4   | 1,96 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 1921       | 0        | 77456         | -21846        |
| 5   | 2,62 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 2649       | -231     | 107085        | -30111        |
| 6   | 3,27 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 1820       | -86      | 66329         | -21163        |
| 7   | 3,93 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 1656       | -6       | 55789         | -19559        |
| 8   | 4,58 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 2245       | -91      | 79308         | -26300        |
| 9   | 5,25 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 959        | -320     | 21745         | -12013        |
| 10  | 5,92 | 100, 65 | 21,99           | 21,99           | 1242       | -195     | -15487        | 29342         |

---

|    |      |         |       |       |      |     |        |       |
|----|------|---------|-------|-------|------|-----|--------|-------|
| 11 | 6,60 | 100, 65 | 21,99 | 21,99 | 2086 | -66 | -25159 | 62279 |
|----|------|---------|-------|-------|------|-----|--------|-------|

## Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

### Simbologia adottata

|                  |                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| B                | base della sezione espressa in [cm]                                            |
| H                | altezza della sezione espressa in [cm]                                         |
| A <sub>fi</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]                |
| A <sub>fs</sub>  | area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]                |
| $\sigma_c$       | tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]                                    |
| $\tau_c$         | tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]                        |
| $\sigma_{fi}$    | tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [kPa] |
| $\sigma_{fs}$    | tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [kPa] |
| N <sub>u</sub>   | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                                         |
| M <sub>u</sub>   | momento ultimo espresso in [kNm]                                               |
| CS               | coefficiente sicurezza sezione                                                 |
| V <sub>Rcd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]                         |
| V <sub>Rsd</sub> | Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]                   |
| V <sub>Rd</sub>  | Resistenza al taglio, espresso in [kN]                                         |

### Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

#### Inviluppo SLU

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS     | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,29 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | -794,21        | 725,71 | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 1,17 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | -794,21        | 164,80 | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 2,04 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 15,63  | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 2,92 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 4,12   | 284,14          | --               | --               |

#### Inviluppo SLE

| Nr. | X    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | $\sigma_c$ | $\tau_c$ | $\sigma_{fi}$ | $\sigma_{fs}$ |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|------------|----------|---------------|---------------|
| 5   | 0,29 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 7          | -6       | -87           | 415           |
| 6   | 1,17 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 21         | 14       | -252          | 1206          |
| 7   | 2,04 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 291        | 90       | 16697         | -3494         |
| 8   | 2,92 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 1245       | 221      | 71334         | -14929        |

### Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

#### Inviluppo SLU

| Nr. | Y    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS        | V <sub>Rd</sub> | V <sub>Rcd</sub> | V <sub>Rsd</sub> |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|
| 1   | 0,00 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 765622,58 | 284,14          | --               | --               |
| 2   | 0,01 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 47831,99  | 284,14          | --               | --               |
| 3   | 0,02 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 15612,27  | 284,14          | --               | --               |
| 4   | 0,03 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0,00           | 794,21         | 7646,91   | 284,14          | --               | --               |

Inviluppo SLE

| Nr. | X    | B, H     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | $\sigma_c$ | $\tau_c$ | $\sigma_{fi}$ | $\sigma_{fs}$ |
|-----|------|----------|-----------------|-----------------|------------|----------|---------------|---------------|
| 5   | 0,00 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0          | 1        | 0             | 0             |
| 6   | 0,01 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0          | 3        | 7             | -1            |
| 7   | 0,02 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 0          | 5        | 21            | -4            |
| 8   | 0,03 | 100, 100 | 21,99           | 21,99           | 1          | 7        | 42            | -9            |

## Inviluppo armature e tensioni piastre

|                 |                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| X               | ascissa sezione espressa in [m]                                |
| A <sub>fs</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq] |
| A <sub>fi</sub> | area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq] |
| N <sub>u</sub>  | sforzo normale ultimo espresso in [kN]                         |
| M <sub>u</sub>  | momento ultimo espresso in [kNm]                               |
| CS              | coefficiente sicurezza sezione                                 |

Piastra paramento

| Nr. | X     | A <sub>fs</sub> | A <sub>fi</sub> | N <sub>u</sub> | M <sub>u</sub> | CS    |
|-----|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|
| 1   | -5,50 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 94,22 |
| 2   | -5,13 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 15,16 |
| 3   | -4,77 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 5,04  |
| 4   | -4,40 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 1,11  |
| 5   | -3,96 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 6,32  |
| 6   | -3,52 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,96  |
| 7   | -3,08 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,70  |
| 8   | -2,64 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 5,31  |
| 9   | -2,20 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 1,28  |
| 10  | -1,76 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 5,08  |
| 11  | -1,32 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,34  |
| 12  | -0,88 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,31  |
| 13  | -0,44 | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,98  |
| 14  | 0,00  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 1,29  |
| 15  | 0,44  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,98  |
| 16  | 0,88  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,31  |
| 17  | 1,32  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,34  |
| 18  | 1,76  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 5,08  |
| 19  | 2,20  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 1,28  |
| 20  | 2,64  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 5,31  |
| 21  | 3,08  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,70  |
| 22  | 3,52  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | 148,13         | 4,96  |
| 23  | 3,96  | 6,41            | 6,41            | 0,00           | -148,13        | 6,32  |

---

|    |      |      |      |      |         |       |
|----|------|------|------|------|---------|-------|
| 24 | 4,40 | 6,41 | 6,41 | 0,00 | -148,13 | 1,11  |
| 25 | 4,77 | 6,41 | 6,41 | 0,00 | -148,13 | 5,04  |
| 26 | 5,13 | 6,41 | 6,41 | 0,00 | -148,13 | 15,16 |
| 27 | 5,50 | 6,41 | 6,41 | 0,00 | 148,13  | 94,22 |

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

### **Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo**

Il sottoscritto ing. Macri, 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.
- Progetto e verifica della lunghezza di ancoraggio dei tiranti.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 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   | 14.00                                     |
| Produttore | Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS) |
| Utente     | Studio Macri' Tecnici Associati           |
| Licenza    | AIU3843ZI                                 |

### **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. Macrì )

---