

**Variante alla S.S. 45 "Val di Trebbia"**  
**Comuni di Torriglia e Montebruno**  
**dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno)**  
**2° stralcio funzionale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

**I PROGETTISTI:**

*Ing. Vincenzo Marzi*  
*Ordine Ing. di Bari n. 3594*  
  
*Ing. Giuseppe Danilo Malgeri*  
*Ordine Ing. di Roma n. A34610*  
  
*Geol. Serena Majetta*  
*Ordine Geologi del Lazio n. 928*

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Geom. Fabio Quondam*

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :**

*Ing. Giancarlo Luongo*

PROTOCOLLO

DATA

**OPERE D'ARTE MINORI**

**OM21 – Muro di sottoscarpa da pk 0+060 km a 0+139 km**

**Relazione Geotecnica e di Calcolo**

| CODICE PROGETTO |             |          | NOME FILE       |                  |                 |                 | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-------------|----------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------|--------|
| PROGETTO        | LIV. PROC.  | N. PROG. | S01OM21GETRE01A |                  |                 |                 |           |        |
| DPGE03          | D           | 1701     | CODICE ELAB.    | S01              | OM21            | GETRE01         | A         | -      |
| C               |             |          |                 |                  |                 |                 |           |        |
| B               |             |          |                 |                  |                 |                 |           |        |
| A               | EMISSIONE   |          | .....           | Ing. A. Mangiola | Ing. E. Mittiga | Ing. A. Micheli |           |        |
| REV.            | DESCRIZIONE |          | DATA            | REDATTO          | VERIFICATO      | APPROVATO       |           |        |

## **OPERE DI SOSTEGNO**

**Muro di sottoscarpa OM21 da prog. 0+060km a prog. 0+139km**

***RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO***

## Sommario

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>1</b>    | <b><i>Premessa</i></b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2</b>    | <b><i>Normative</i></b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>4</b>    | <b><i>Bibliografia</i></b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>3</b>    | <b><i>Materiali utilizzati</i></b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>4</b>    | <b><i>Carpenteria del muro</i></b> .....   | <b>10</b> |
| <b>5</b>    | <b><i>Analisi dei carichi</i></b> .....  | <b>13</b> |
| <b>6</b>    | <b><i>Contesto geologico</i></b> .....   | <b>13</b> |
| <b>7</b>    | <b><i>Modello geotecnico</i></b> .....   | <b>14</b> |
| <b>8</b>    | <b><i>Azione Sismica</i></b> .....   | <b>16</b> |
| <b>9</b>    | <b><i>Criteri di calcolo</i></b> .....   | <b>17</b> |
| <b>10</b>   | <b><i>Verifiche strutturali</i></b> .....  | <b>20</b> |
| <b>11</b>   | <b><i>Armatatura del Muro</i></b> .....  | <b>21</b> |
| <b>12</b>   | <b><i>Verifica della forza d'urto da traffico veicolare</i></b> .....                    | <b>22</b> |
| <b>13</b>   | <b><i>Allegato A: verifica del muro tipo A</i></b> .....                                 | <b>23</b> |
| <b>13.1</b> | <b>Calcolo delle sollecitazioni</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>13.2</b> | <b>Verifiche del muro</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>13.3</b> | <b>Verifica di stabilità globale</b> .....   | <b>35</b> |
| 13.3.1      | Risultati dell'analisi di stabilità.....   | 37        |
| <b>13.4</b> | <b>Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione</b> .....                   | <b>38</b> |
| 13.4.1      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 39        |
| <b>13.5</b> | <b>Verifica strutturale del palo</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>14</b>   | <b><i>Allegato B: verifica del muro tipo B</i></b> .....                                 | <b>42</b> |
| <b>14.1</b> | <b>Calcolo delle sollecitazioni</b> .....  | <b>48</b> |
| <b>14.2</b> | <b>Verifiche del muro</b> .....  | <b>50</b> |
| <b>14.3</b> | <b>Verifica di stabilità globale</b> .....   | <b>54</b> |
| 14.3.1      | Risultati dell'analisi di stabilità.....   | 56        |
| <b>14.4</b> | <b>Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione</b> .....                   | <b>57</b> |
| 14.4.1      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 58        |
| 14.4.2      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione.....                      | 59        |
| <b>14.5</b> | <b>Verifica strutturale del palo</b> .....   | <b>60</b> |
| <b>15</b>   | <b><i>Allegato C: verifiche nel caso di forza d'urto da traffico veicolare</i></b> ..... | <b>62</b> |
| <b>15.1</b> | <b>Muro tipo A</b> .....   | <b>63</b> |
| 15.1.1      | Calcolo delle sollecitazioni.....  | 65        |

---

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 15.1.2      | Verifiche del muro .....   | 66        |
| 15.1.3      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione ..... | 68        |
| 15.1.4      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....     | 69        |
| <b>15.2</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>                               | <b>70</b> |
| <b>15.3</b> | <b>Muro tipo B.....</b>  | <b>71</b> |
| 15.3.1      | Calcolo delle sollecitazioni.....  | 73        |
| 15.3.2      | Verifiche del muro .....   | 74        |
| 15.3.3      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione ..... | 76        |
| 15.3.4      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....     | 77        |
| <b>15.4</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>                               | <b>78</b> |
| <b>16</b>   | <b>Monitoraggio.....</b>   | <b>79</b> |

---

## 1 Premessa

La presente relazione ha per oggetto il calcolo strutturale del muro in c.a. da prog. 0+060.00 a prog. 0+139.20, nell'ambito del progetto definitivo dei lavori di "Val Trebbia" Comuni di Torriglia e Montebruno dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno) 2° Stralcio funzionale".

L'opera di sostegno è un'opera di sottoscarpa, in un tratto stradale a mezzacosta, in cui la SS 45 costeggia il fianco di un versante, delimitato inferiormente dal fiume Trebbia. In particolare, l'opera inizia alla progressiva km 0+060.00, con un'altezza di 5.36 m, e termina al km 0+139.20, con un'altezza di 2.38 m. Complessivamente, l'opera misura 77.30 m circa, e raggiunge un'altezza massima totale (paramento e fondazione) di 5.36 m.

È stata scelta una fondazione su micropali  $\varnothing 240$  mm armati con tubolare in acciaio.

---

## 2 Normative

Sono state osservate le seguenti norme in vigore per la valutazione delle condizioni di carico, il calcolo delle sollecitazioni, il dimensionamento delle sezioni e dei collegamenti e per le altre considerazioni progettuali in genere:

- Testo Unico: Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018;
- Circ. Min. LL. PP. N°617 del 02/02/2009 – Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008;
- Legge 5/11/1971 n°1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- D.M. 14/02/1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche";
- D.M. 09/01/1996 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche";
- Circolare Min. 15/10/1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- D.M. 16/01/1996 "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi";
- Circolare Min. 04/07/1996 n°156AA.GG./STC. "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi";
- D.M. 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n° 30483 – L. 02/02/1974, n° 64 – art. 1 D.M. 11/03/1988 "Istruzioni 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- UNI 9858 ENV 206 "Calcestruzzo: Prestazioni Procedure Posa in opera e Criteri di Conformità";

## 4 Bibliografia

Nella tabella successiva, sono riportati i principali testi consultati per la redazione della presente relazione.

| <b>Autore</b>                                 | <b>Titolo</b>   | <b>Editore</b>          | <b>Anno</b> |
|---|---|-------------------------|-------------|
| AA. VV.                                       | Ingegneria Antisismica.   | Liguori                 | 1985        |
| AA. VV.                                       | Il modello geotecnico del sottosuolo nella progettazione delle opere di sostegno e degli scavi.   | Hevelius                | 1997        |
| Aicap   | Dettagli costruttivi di strutture in calcestruzzo armato.   | Pubblicimento           | 2011        |
| Aicap   | Commentario alle norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008 - Costruzioni in Calcestruzzo, Costruzioni composte in acciaio-calcestruzzo. | Pubblicimento           | 2011        |
| Aicap - AGI                                   | Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni   | AGI                     | 2012        |
| Annunziata F. et al.                          | Progettazione Stradale Integrata.   | Zanichelli              | 2004        |
| Associazione Geotecnica Italiana              | Aspetti geotecnici della Progettazione in zona sismica.   | Patron Editore          | 2005        |
| Belluzzi O.                                   | Scienza delle Costruzioni.  | Zanichelli              | 1941        |
| Boscolo Bielo M.                              | Progettazione Strutturale.  | Legislazione<br>Tecnica | 2010        |
| Bowles E. B.                                  | Fondazioni - progetto e analisi.  | McGraw-Hill             | 1998        |
| Bruschi A.                                    | Meccanica delle Rocce.  | Flaccovio               | 2004        |
| Capurso M.                                    | Introduzione al calcolo automatico delle strutture.   | ESAC                    | 1986        |
| Clayton C.R.I.,<br>Milititsky J. e Woods R.I. | La spinta delle terre e le opere di sostegno.   | Hevelius                | 1993        |
| Collotta T.                                   | Prontuario Interattivo di Geotecnica.   | Flaccovio               | 1951        |
| Desideri A.,<br>Miliziano S. e<br>Rampello S. | Drenaggi a gravità per la stabilizzazione dei pendii.   | Hevelius                | 1997        |
| Di Francesco R.                               | Geotecnica - guida pratica alle nuove norme   | Flaccovio               | 2010        |

| <b>Autore</b>   | <b>Titolo</b>  | <b>Editore</b>                             | <b>Anno</b> |
|---|--|--|-------------|
|   | tecniche.  |  |             |
| <i>Ferrari P. e Giannini F.</i>                         | Ingegneria Stradale.   | <i>ISED</i>                                | 1979        |
| <i>Garbin F. e Storoni Ridolfi S.</i>                   | Geologia e geotecnica stradale.  | <i>Flaccovio</i>                           | 2010        |
| <i>Gherzi A.</i>  | Il cemento armato.   | <i>Flaccovio</i>                           | 2010        |
| <i>Giangreco E.</i>                                     | Teoria e tecnica delle costruzioni.  | <i>Liguori</i>                             | 1963        |
| <i>Lai C. G., Foti S. e Rota M.</i>                     | Input Sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti di Costruzione.              | <i>IUSS Press</i>                          | 2009        |
| <i>Lancellotta R.</i>                                   | Meccanica dei Terreni e Fondazioni - Resistenza al taglio e deformabilità. | <i>Levrotto e Bella</i>                    | 1983        |
| <i>Lancellotta R.</i>                                   | Geotecnica.  | <i>Zanichelli</i>                          | 1987        |
| <i>Lancellotta R. e Cavalera J.</i>                     | Fondazioni.  | <i>McGraw-Hill</i>                         | 1999        |
| <i>Leonhardt F.</i>                                     | Calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso.                    | <i>ETS</i>                                 | 1977        |
| <i>Mancina M., Nori R. e Iasiello P.</i>                | Progetti e calcoli di geotecnica con excel - Vol. I e II.                  | <i>DEI</i>                                 | 2006        |
| <i>Pane V. e Tamagnini C.</i>                           | Analisi dei diaframmi multiancorati.                                       | <i>Hevelius</i>                            | 2004        |
| <i>Pasqualini E</i>                                     | Standard Penetration Test SPT  | <i>Atti delle C.G. di Torino, XI ciclo</i> | 1983        |
| <i>Perretti A., Gherzi A., Sattamino P. e Brenna A.</i> | La validazione del calcolo strutturale eseguito con il computer.           | <i>Maggioli Editore</i>                    | 2007        |
| <i>Poulos H.G. and Davis E. H.</i>                      | Analisi e Progettazione di fondazioni su pali.                             | <i>Flaccovio</i>                           | 2002        |
| <i>Tamagnini C.</i>                                     | Analisi limite in ingegneria geotecnica.                                   | <i>Hevelius</i>                            | 2005        |
| <i>Tanzini M.</i>                                       | Micropali e pali di piccolo diametro.                                      | <i>Flaccovio</i>                           | 2004        |
| <i>Tanzini M.</i>                                       | L'indagine geotecnica.   | <i>Flaccovio</i>                           | 2002        |
| <i>Tesoriere G.</i>                                     | Strade, Ferrovie e Aeroporti.  | <i>UTET</i>                                | 1996        |
| <i>Viggiani C.</i>                                      | Fondazioni.  | <i>Hevelius</i>                            | 1999        |
| <i>William Lambe T. e Whitman V.</i>                    | Meccanica dei Terreni.   | <i>Flaccovio</i>                           | 1997        |



### 3 Materiali utilizzati

I calcoli statici sono stati eseguiti prevedendo l'impiego dei seguenti materiali.

#### Calcestruzzo Magro:

Classe di resistenza minima 12/15

#### Calcestruzzo per fondazione ed elevazione muro:

Classe 28/35

- Resistenza caratteristica a compressione:  $R_{ck} > 35 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 29,05 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza a compressione di calcolo:  $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 16,46 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza media a trazione semplice assiale:  $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,83 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza caratteristica a trazione:  $f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,98 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza di calcolo a trazione:  $f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1,5} = 1,32 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza:  $f_{bk} = 2,25 \cdot f_{ctk} = 4,46 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo:  $f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1,5} = 2,97 \frac{N}{mm^2}$

#### Acciaio per armature muro:

B450C - ad aderenza migliorata controllato in stabilimento

- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione di snervamento di calcolo:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 391 \frac{N}{mm^2}$

#### Copriferro Muro 5 cm

Miscela Cementizia per Micropali:

Classe 25/30

- Resistenza caratteristica a compressione:  $R_{ck} > 30 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza a compressione di calcolo:  $f_{cd} = 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} = 14.11 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza media a trazione semplice assiale:  $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.56 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza caratteristica a trazione:  $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza di calcolo a trazione:  $f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.5} = 1.19 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza:  $f_{bk} = 2.25 \cdot f_{ctk} = 4.02 \frac{N}{mm^2}$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo:  $f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1.5} = 2.68 \frac{N}{mm^2}$

Acciaio per armatura micropali:S355 – Profilo a sezione cava laminato a caldo con spessore  $t \leq 40$  mm

- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 510 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 355 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione di snervamento di calcolo:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 308.7 \frac{N}{mm^2}$

Copriferro Micropali 3.5 cm

## 4 Carpenteria del muro

L'opera di sostegno oggetto della presente relazione è un muro in c.a. a mensola, fondato su micropali, la cui carpenteria tipo è rappresentata in Figura 1.

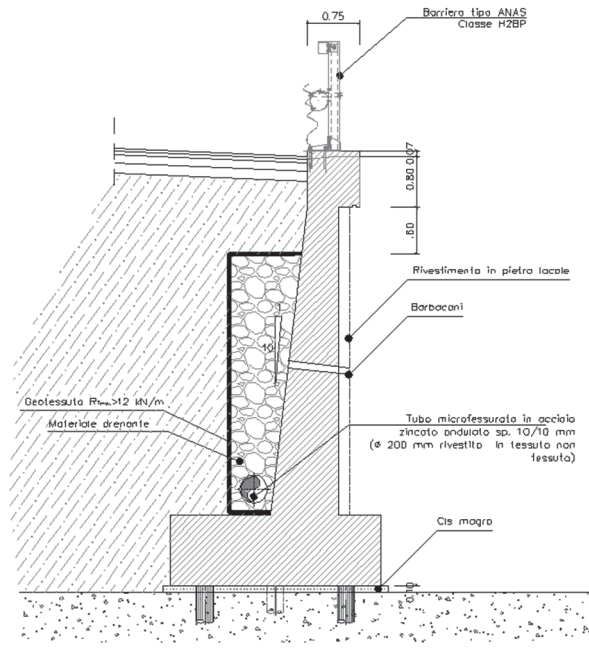


Figura 1: sezione tipologica del muro

CARPENTERIA MURO OM 21

CONCI 1, 2  
SCALA 1:50

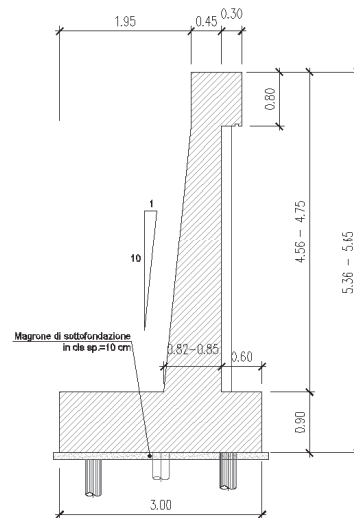
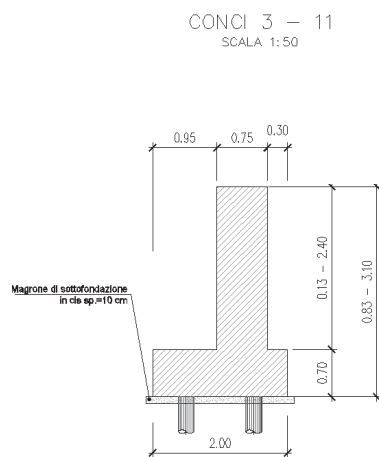


Figura 2: carpenteria del muro

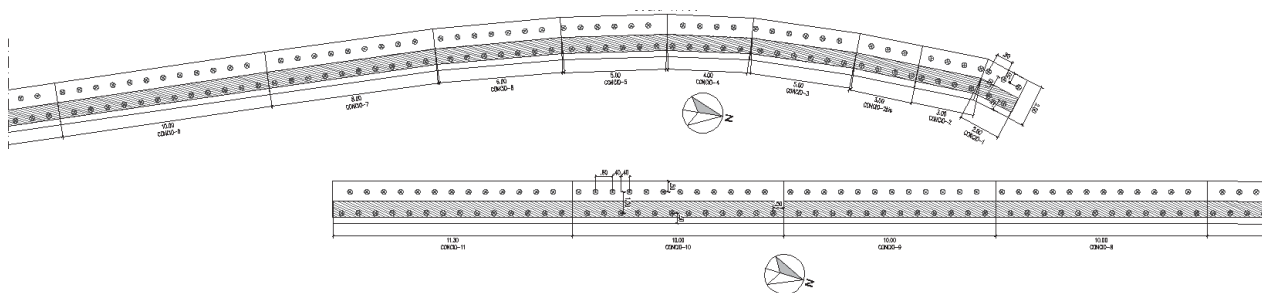


Figura 3: pianta del muro

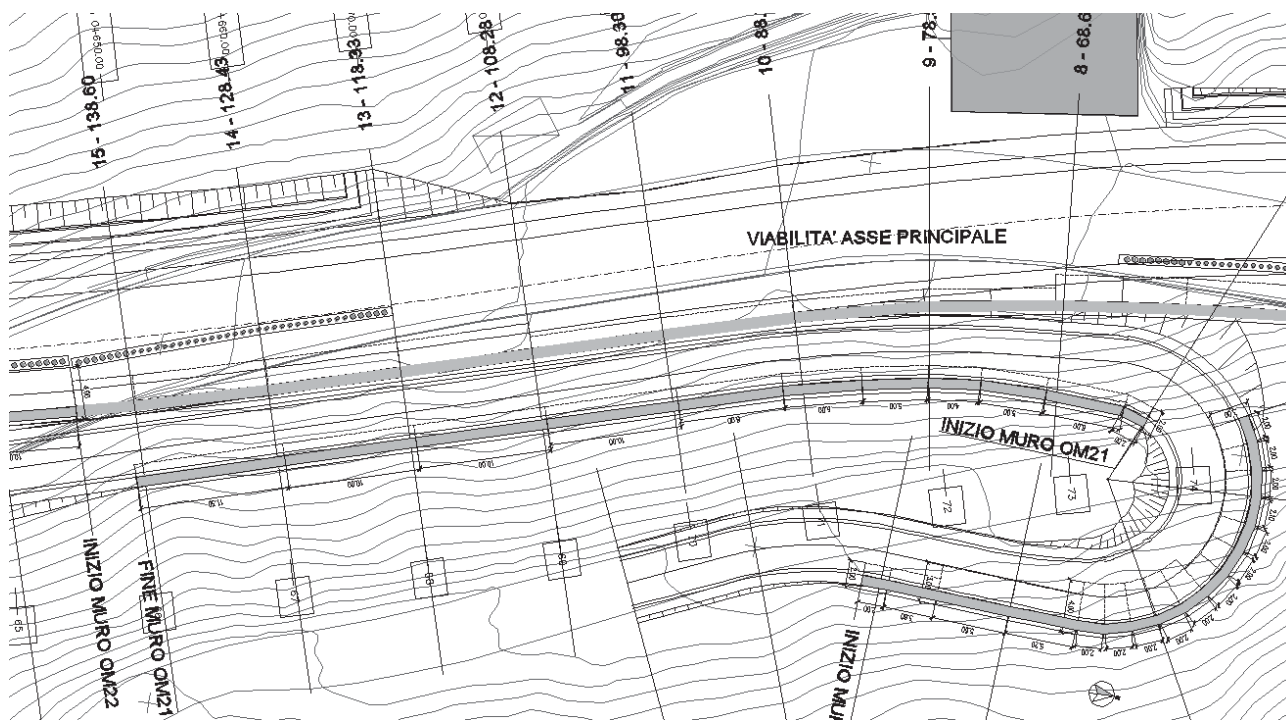


Figura 4: planimetria del muro

Il cordolo di sommità è largo 0.75 m, per tutto lo sviluppo del muro. Per i primi 3 conci, questo è munito di una mensola esterna di 0.30 m di spessore e 0.80 m di altezza, pensata per consentire l’installazione della barriera stradale in sommità. La cavità che in tal modo si forma sul lato esterno del paramento, è utilizzata per l’alloggiamento del rivestimento in pietra locale, come prescritto dall’ente competente, Regione Liguria. Al fine di agevolare la costipazione del terreno di riempimento, la pendenza dell’intradosso del paramento è del 10%.

Per la restante parte dei conci, data la modesta altezza del paramento, è stata utilizzata una tipologia differente da quella descritta in precedenza: in particolare non è presente la mensola esterna di 30 cm, che ospita il rivestimento in pietra, e l’intradosso del paramento

non ha inclinazione del 10% ma segue un andamento verticale. Questa distinzione si può osservare nella "Figura 2: carpenteria del muro".

Il muro è stato diviso in varie tipologie in base ai seguenti parametri: altezza del muro, altezza della mensola di fondazione, larghezza della piastra di fondazione.

La tabella seguente mostra le specifiche dimensionali per le sezioni di muro geometricamente differenti, nonché i diversi conci di muro (reperibili nelle tavole di carpenteria e planimetria cod.: S01OM21GETDI01A).

| <b>Conci di applicazione</b> | <b>Tipologia</b> | <b>Altezza min del muro</b><br>[m] | <b>Altezza max del muro</b><br>[m] | <b>Altezza della piastra di fondazione</b><br>[m] | <b>Larghezza della piastra di fondazione</b><br>[m] | <b>Lunghezza Micropali di Fondazione</b><br>[m] |
|------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| <b>Da 3 a 11</b>             | A                | 0.83                               | 3.10                               | 0.70  | 2.00  | 4   |
| <b>1, 2</b>                  | B                | 5.36                               | 5.65                               | 0.90  | 3.00  | 8   |

Tabella 1 Tipologie di muro e specifiche dimensionali relative

La tipologia di fondazione indiretta adottata è costituita da micropali  $\varnothing 240$  mm armati con tubolare in acciaio diametro  $\varnothing 168.3$  mm spessore 10 mm, disposti a quinconce con interasse 1.00 m in direzione trasversale e 0.80 m in direzione longitudinale. I micropali, di lunghezza 4m e 8m, sono iniettati secondo il metodo IGU – Iniezione Globale Unica, stante il loro ammorsamento nel massivo calcareo descritto nei paragrafi inerenti il sito fondale.

---

## 5 Analisi dei carichi

I carichi permanenti sono rappresentati dai pesi propri del terreno e del calcestruzzo, definiti nei paragrafi relativi.

Il carico accidentale è rappresentato dal traffico stradale, che è stato simulato da un carico variabile verticale di 20 kPa agente sulla piattaforma stradale, per un'estensione di 10 m, a partire dal vertice interno più alto del paramento del muro.

Inoltre, essendo sulla testa del paramento del muro ubicata la barriera stradale, il muro è gravato da una forza che simula l'urto da traffico veicolare. La forza è orizzontale di 100 kN ed una coppia di 100 kNm in sommità al paramento e diretta verso il lato esterno al nastro stradale. I dettagli, al paragrafo: "Verifica della forza d'urto da traffico veicolare".

## 6 Contesto geologico

Ai fini della redazione del presente progetto, è stata svolta una campagna d'indagine geognostica, nel 2014. I sondaggi che interessano tale stralcio sono cinque ed in particolare i sondaggi: S4\_pz, S5\_DH, S6\_h, S7\_DH, S8\_DH.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda all'apposito elaborato T00GE00GETRE01A.

## 7 Modello geotecnico

Come illustrato nel modello geologico, il sito fondale del progetto mostra la presenza di uno strato di coltre superficiale costituita da sabbie limose e talvolta riporti, che sovrasta un substrato lapideo di marne e calcare, con grado di fratturazione che si riduce rapidamente con la profondità.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni suddetti è stata basata sui risultati sia delle prove in sito, sia delle prove di laboratorio.

Al fine di eseguire il dimensionamento della presente opera, è stata scelta la successione stratigrafica riportata nella Tabella 2, dove sono anche catalogati i parametri di resistenza al taglio identificati per ciascun litotipo:

| Litotipo            | Codice litotipo | Profondità Iniziale ÷ Prof. finale [m] | $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\varphi'_k$ [°] | $(c')_k$ [kPa] | $E_{vc}$ [Mpa] | $E_{ur}$ [Mpa] |
|---------------------|-----------------|--|---------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Coltre superficiale | e-c             | 0 ÷ 2.0                                | 18                              | 30               | 0              | 20             | 180            |
| Roccia Fratturata   | Rf              | 2.0 ÷ 5.0                              | 26                              | 30               | 44             | 280            | 840            |
| Roccia Integra      | Ri              | > 5.0                                  | 26                              | 38               | 55             | 350            | 1050           |

Tabella 2 stratigrafia di progetto e caratteristiche meccaniche dei litotipi

Dove:

$\gamma_k$  rappresenta il valore del peso dell'unità di volume del terreno;

$\varphi'_k$  rappresenta il valore dell'angolo di resistenza al taglio del terreno;

$(c')_k$  rappresenta il valore della coesione drenata del terreno;

$E_{vc}$  rappresenta il valore del modulo di elasticità longitudinale in un ciclo di carico vergine;

$E_{ur}$  rappresenta il valore del modulo di elasticità longitudinale in un ciclo di scarico ricarico.

Per ogni strato il valore del modulo di Poisson è scelto pari a 0.3.

Per quanto riguarda i coefficienti di spinta del terreno sono stati adottati i seguenti criteri:

– il coefficiente di spinta a riposo, dipende dall'OCR. Nel caso in essere, terreno normal consolidato, è stato valutato mediante la formula di Jaky (1944);

- 
- il coefficiente di spinta attiva dipende dall'angolo di resistenza al taglio del terreno, dall'angolo di attrito muro terreno, ed all'inclinazione del terreno a tergo della paratia. Sono state utilizzate le formule di Coulomb, che ipotizzano una superficie di rottura piana;
  - il coefficiente di spinta passiva dipende anch'esso dall'angolo di resistenza al taglio del terreno, dall'angolo di attrito muro terreno e dall'inclinazione del pendio. Il valore scelto è stato determinato mediante le relazioni proposte da Caquot – Kerisel. In tal caso la superficie di rottura ipotizzata è curvilinea.

In tutti i casi l'angolo di attrito terreno–muro è assunto pari al 50% dell'angolo di resistenza al taglio del terreno, per ciascun litotipo.

In Tabella 3 si riportano i valori dei coefficienti di spinta attiva (formulazione di Coulomb assumendo  $\delta=2\cdot\phi'/3$ ) e passiva (formulazione di Caquot-Kerisel assumendo  $\delta=2\cdot\phi'/3$ ) utilizzati nel modello di calcolo.

| Litotipo            | $k_{Ah}$ | $k_{ph}$ |
|---------------------|----------|----------|
| Coltre superficiale | 0.291    | 4.622    |
| Roccia Fratturata   | 0.291    | 4.622    |
| Roccia Intera       | 0.205    | 8.273    |

Tabella 3 Coefficienti di Spinta attiva e passiva per ciascun litotipo, utilizzati nel modello di calcolo.



## 8 Azione Sismica

I parametri scelti per la definizione dell'azione sismica sono di seguito riportati:

|  |   |         |                 |
|--|---|---------|-----------------|
| Opera sita in località                       | : |         | Torriglia (GE)  |
| Categoria del suolo di fondazione            | : |         | B               |
| Condizione topografiche                      | : |         | T2              |
| Categoria opera – Classe d'uso               | : |         | III             |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica | : | $S_s =$ | 1.20            |
| Coefficiente di amplificazione topografica   | : | $S_T =$ | 1.08            |
| Vita nominale dell'opera                     | : | $V_N =$ | $\geq 100$ anni |
| Coefficiente d'uso                           | : | $C_U =$ | 1.5             |
| Periodo di riferimento                       | : | $V_R =$ | 150 anni        |
| Tempo di ritorno                             | : | $T_R =$ | 1988 anni       |

Utilizzando il foglio di calcolo della Normativa vigente, sono stati determinati i seguenti parametri sismici allo SLE ed allo SLU utilizzati per il calcolo.

| SLU               | SLE              |
|-------------------|------------------|
| $a_g = 0.143$ [g] | $a_g = 0.60$ [g] |
| $F_0 = 2.465$     | $F_0 = 2.527$    |
| $T_C^* = 0.289$   | $T_C^* = 0.264$  |

Tabella 4 Parametri dell'azione sismica di progetto

---

## 9 Criteri di calcolo

Ai fini del dimensionamento strutturale della presente opera di sostegno, è stato scelto lo schema statico di un muro a mensola in c.a., fondato anche su pali.

Ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 17/01/2018, paragrafo 6.5.3.1.1, vengono effettuate le seguenti verifiche:

*SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)*

- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- ribaltamento

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Tutte le verifiche suddette sono state eseguite secondo l'Approccio 1 previsto dalle suddette norme.

I calcoli di verifica, facendo riferimento alla normativa vigente suddetta, sono espressi adottando la seguente simbologia:

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

Di seguito sono riportati i valori utilizzati per i coefficienti di partecipazione nelle diverse combinazioni previste.

**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     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      | 1,00      | 0,90       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,30      | 1,00      | 1,10       | 1,30       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 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     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 0,90       |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00      | 1,00      | 1,00       | 1,30       |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 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      | 1,25      | 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 parziali per le verifiche dei pali di fondazione:**

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei pali

Pali trivellati

|                       |               | R1   | R2   | R3   |
|-----------------------|---------------|------|------|------|
| Punta                 | $\gamma_b$    | 1,00 | 1,70 | 1,35 |
| Laterale compressione | $\gamma_s$    | 1,00 | 1,45 | 1,15 |
| Totale compressione   | $\gamma_t$    | 1,00 | 1,60 | 1,30 |
| Laterale trazione     | $\gamma_{st}$ | 1,00 | 1,60 | 1,25 |

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche dei pali.

|  |            | R1   | R2   | R3   |
|--|------------|------|------|------|
|  | $\gamma_T$ | 1,00 | 1,60 | 1,30 |

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

|                              |   |              |              |
|------------------------------|---|--------------|--------------|
| Numero di verticali indagate | 1 | $\xi_3=1,70$ | $\xi_4=1,70$ |
|------------------------------|---|--------------|--------------|

---

## 10 Verifiche strutturali

Come mostrato nel paragrafo sulla carpenteria, il muro è stato diviso in varie tipologie, pertanto sono stati eseguiti differenti modelli di calcolo, uno per ciascuna tipologia di muro, riportati negli allegati. Tali modelli definiscono le armature del muro nonché i pali di fondazione, che vengono riportati nelle tavole di carpenteria e armatura suddette.

Nell'Allegato C: verifiche nel caso di forza d'urto da traffico veicolare sono riportate le verifiche comprendenti il caso di forze d'urto da traffico veicolare. È stata eseguita una verifica specifica facendo agire la forza orizzontale di 100 kN in cima al paramento, diretta verso il lato del muro esterno alla piattaforma stadale, assieme ad una coppia di 100 kNm, agente in senso antiorario. Quest'azione eccezionale è applicata all'interno della combinazione eccezionale prevista dalla norma. L'esito positivo di tale verifica dimostra che il muro, così come definito ed armato secondo i modelli suddetti, soddisfa i criteri normativi anche in caso di azione eccezionale dovuta ad urto da traffico veicolare.

## 11 Armatura del Muro

L'esito delle verifiche di calcolo per i muri è rappresentato sinteticamente in Tabella 5, dove sono riportate le armature a flessione per paramento e fondazione:

| <b>Conci</b>  | <b>Dimensione fondazione</b> | <b>Fondazione lato inferiore</b> | <b>Fondazione lato superiore</b> | <b>Paramento lato interno (fibre tese)</b> | <b>Paramento lato esterno (fibre compresse)</b> |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---|
| <b>3 – 11</b> | 0.70x2.00                    | $\phi 20/40$                     | $\phi 20/40$                     | $\phi 18/20$                               | $\phi 20/20 + \phi 18/40$                       |
| <b>1, 2</b>   | 0.90x3.00                    | $\phi 20/40$                     | $\phi 22/25$                     | $\phi 18/20$                               | $\phi 22/20 + \phi 18/40$                       |

Tabella 5 Tipologie di muro e relative armature a flessione per paramento e fondazione

In fondazione, al fine di consentire un alloggiamento compatibile con la disposizione dei micropali, le armature a flessione disposte sul lato inferiore sono disposte secondo un passo di 0.40 m.

---

## 12 Verifica della forza d'urto da traffico veicolare

Il progetto dell'opera prevede l'installazione della barriera stradale in cima al paramento, pertanto, è stato previsto che questo abbia, nella parte sommitale, le seguenti caratteristiche geometriche:

- larghezza di 0.75 m;
- presenza di una mensola di valle di altezza di 0.80 m.

Tali dimensioni consentono, infatti:

- un agevole alloggiamento della piastra di fondazione della barriera sulla superficie superiore del cordolo del muro;
- la possibilità per il montaggio di altre eventuali opzioni progettuali, quali la rete di protezione.

La verifica strutturale è stata svolta ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, paragrafo 3.6.3.3.2 "Traffico Veicolare sopra i Ponti".

Pertanto, in sommità del muro, considerato per metro lineare, è applicata una forza orizzontale da 100 kN ed una coppia di 100 kNm aventi verso, rispettivamente, uscente dal piano viabile e antiorario.

Dato il carattere eccezionale dell'azione di urto veicolare, le norme NTC18, paragrafo 2.5.3, prevedono che sia considerata la combinazione eccezionale delle azioni:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{k1}$$

Dove:

$G_1$ : peso proprio degli elementi strutturali e del terreno - definito tramite i pesi per unità di volume di cui ai paragrafi precedenti;

$G_2$ : peso proprio degli elementi non strutturali – considerato nullo;

$P$ : carico di pretensione – considerato nullo;

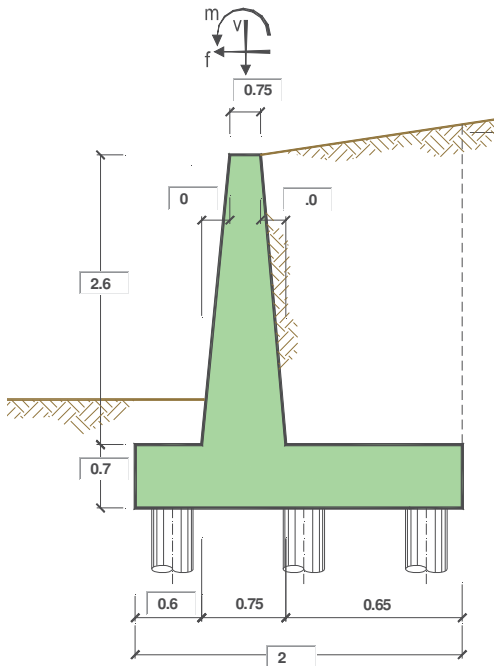
$A_d$ : carico eccezionale – considerato con una forza di 100 kN ed una coppia di 100 kNm agenti sulla sommità del muro, come sopra descritto;

$Q_{k1}$  : azioni variabili – traffico stradale.

$\psi_{21}$ : carico tandem

Gli esiti delle verifiche sono riportati, per tutte le classi di muro, nell'Allegato E. La combinazione di carico significativa è quella A1-M1, che è l'unica riportata nell'output di calcolo. Per la condizione di carico suddetta, l'opera, così come armata, soddisfa i criteri di stabilità e sicurezza prescritti dalla norma.

# 13 Allegato A: verifica del muro tipo A

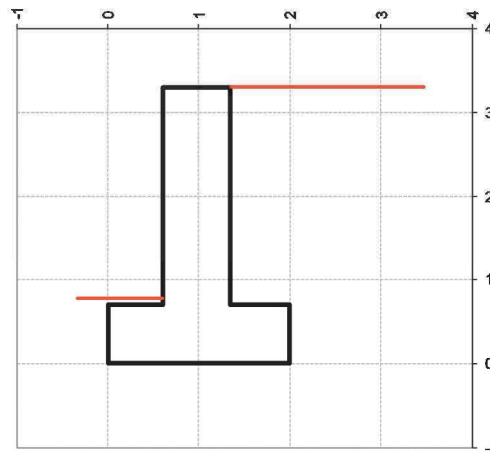


**OPERA** 0.70x2.00

**Combinazioni coefficienti parziali di verifica**

|            |       |                                  |
|------------|-------|----------------------------------|
| SLU        | A1+M1 | <input checked="" type="radio"/> |
|            | A2+M2 | <input type="radio"/>            |
| SLE (DM88) |       | <input type="radio"/>            |
| altro      |       | <input type="radio"/>            |

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25.00 \text{ (kN/m}^3\text{)}$



| Carichi    | Effetto     | Coeff. Parziale | A1 (STR) | A2 (GEO) | SLE  | altro |
|------------|-------------|-----------------|----------|----------|------|-------|
| Permanenti | favorevole  | $\gamma_G$      | 1.00     | 1.00     | 1.00 | 1.30  |
|            | sfavorevole |                 | 1.30     | 1.00     | 1.00 | 1.30  |
| Variabili  | favorevole  | $\gamma_Q$      | 0.00     | 0.00     | 0.00 | 0.00  |
|            | sfavorevole |                 | 1.50     | 1.30     | 1.00 | 1.50  |

| Parametro            |               | Coeff. Parziale | M1   | M2   | SLE  | altro |
|----------------------|---------------|-----------------|------|------|------|-------|
| angolo d'attrito     | $\tan \phi_k$ | $\gamma_\phi$   | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00  |
| peso unità di volume | $\gamma$      | $\gamma_r$      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00  |



|                        |   |                      |           | valori caratteristici | valori di progetto |
|------------------------|---|----------------------|-----------|-----------------------|--------------------|
|                        |   |                      |           | SLE                   | STR/GEO            |
| <b>Dati Geotecnici</b> |   |                      |           |                       |                    |
| Dati Terrapieno        | Angolo di attrito del terrapieno            | (°)                  | $\phi'$   | 33.00                 | 33.00              |
|                        | Peso Unità di Volume del terrapieno         | (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma'$ | 18.00                 | 18.00              |
|                        | Angolo di attrito terreno-superficie ideale | (°)                  | $\delta$  | 22.00                 | 22.00              |

|              |  |           |          |                          |
|--------------|--|-----------|----------|--------------------------|
| Dati Sismici | Accelerazione sismica                                | $a_g/g$   | 0.143    | (-)                      |
|              | Coefficiente Amplificazione Stratigrafico            | $S_s$     | 1.2      | (-)                      |
|              | Coefficiente Amplificazione Topografico              | $S_T$     | 1.08     | (-)                      |
|              | Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima | $\beta_m$ | 1        | (-)                      |
|              | Coefficiente sismico orizzontale                     | $k_h$     | 0.185328 | (-)                      |
|              | Coefficiente sismico verticale                       | $k_v$     | 0.0927   | (-)                      |
|              | Muro libero di traslare o ruotare                    |           |          | <input type="radio"/> si |

|                        |   | SLE       | STR/GEO |
|------------------------|---|-----------|---------|
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico         | $k_a$     | 0.264   |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma + | $k_{as+}$ | 0.383   |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma - | $k_{as-}$ | 0.415   |

|                       |   |  |       | valori caratteristici                | valori di progetto |
|-----------------------|---|--|-------|--------------------------------------|--------------------|
|                       |   |  |       | SLE - sisma                          | STR/GEO            |
| <b>Carichi Agenti</b> |   |  |       |                                      |                    |
| Carichi permanenti    | Sovraccarico permanente                                       | (kN/m <sup>2</sup> )   | $q_p$ | 0.00                                 | 0.00               |
|                       | Sovraccarico su zattera di monte                              | <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no |       |                                      |                    |
|                       | Forza Orizzontale in Testa permanente                         | (kN/m)   | $f_p$ | 0.00                                 | 0.00               |
|                       | Forza Verticale in Testa permanente                           | (kN/m)   | $v_p$ | 0.00                                 | 0.00               |
| Condizioni Statiche   | Momento in Testa permanente                                   | (kNm/m)  | $m_p$ | 0.00                                 | 0.00               |
|                       | Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche               | (kN/m <sup>2</sup> )   | $q$   | 20.00                                | 30.00              |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche | (kN/m)   | $f$   | 0.00                                 | 0.00               |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche   | (kN/m)   | $v$   | 0.00                                 | 0.00               |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni statiche           | (kNm/m)  | $m$   | 0.00                                 | 0.00               |
| Condizioni Sismiche   | Coefficienti di combinazione condizione frequente $\psi_1$    |  | 0.75  | condizione quasi permanente $\psi_2$ | 0.00               |
|                       | Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche               | (kN/m <sup>2</sup> )   | $q_s$ | 0.00                                 |                    |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche | (kN/m)   | $f_s$ | 0.00                                 |                    |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche   | (kN/m)   | $v_s$ | 0.00                                 |                    |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche           | (kNm/m)  | $m_s$ | 0.00                                 |                    |

**FORZE VERTICALI**

|                      |  | SLE    | STR/GEO |
|----------------------|--|--------|---------|
| - Peso del Muro (Pm) |  |        |         |
| Pm1 =                | $(B^2 \cdot H^3 \cdot \gamma_{cls})/2$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pm2 =                | $(B^3 \cdot H^3 \cdot \gamma_{cls})$   | (kN/m) | 48.75   |
| Pm3 =                | $(B^4 \cdot H^3 \cdot \gamma_{cls})/2$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pm4 =                | $(B \cdot H^2 \cdot \gamma_{cls})$     | (kN/m) | 35.00   |
| Pm =                 | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                | (kN/m) | 83.75   |

|  |   |        |       |
|--|---|--------|-------|
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |       |
| Pt1 =  | $(B^5 \cdot H^3 \cdot \gamma')$                   | (kN/m) | 30.42 |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B_4 + B_5) \cdot H^4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) | 0.00  |
| Pt3 =  | $(B^4 \cdot H^3 \cdot \gamma')/2$                 | (kN/m) | 0.00  |
| Sovr =   | $q_p \cdot (B_4 + B_5)$                           | (kN/m) | 0.00  |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                          | (kN/m) | 30.42 |

|   |                         |        |    |
|---|-------------------------|--------|----|
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |                         |        |    |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B_4 + B_5)$   | (kN/m) | 13 |
| Sovr acc. Sism  | $q_s \cdot (B_4 + B_5)$ | (kN/m) | 0  |

**MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO**

|             |                             |        |      |
|-------------|-----------------------------|--------|------|
| - Muro (Mm) |                             |        |      |
| Mm1 =       | $Pm1 \cdot (B_1 + 2/3 B_2)$ | (kN/m) | 0.00 |

|       |                         |        |       |       |
|-------|-------------------------|--------|-------|-------|
| Mm2 = | $Pm2*(B1+B2+0,5*B3)$    | (kN/m) | 47.53 | 47.53 |
| Mm3 = | $Pm3*(B1+B2+B3+1/3 B4)$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mm4 = | $Pm4*(B/2)$             | (kN/m) | 35.00 | 35.00 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$ | (kN/m) | 82.53 | 82.53 |

- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro

|         |                               |        |       |       |
|---------|-------------------------------|--------|-------|-------|
| Mt1 =   | $Pt1*(B1+B2+B3+B4+0,5*B5)$    | (kN/m) | 50.95 | 50.95 |
| Mt2 =   | $Pt2*(B1+B2+B3+2/3*(B4+B5))$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mt3 =   | $Pt3*(B1+B2+B3+2/3*B4)$       | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Msovr = | $Sovr*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mt =    | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$     | (kN/m) | 50.95 | 50.95 |

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

|                |                           |         |       |       |
|----------------|---------------------------|---------|-------|-------|
| Sovr acc. Stat | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 21.78 | 32.66 |
| Sovr acc. Sism | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 0.00  |       |

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia del muro (Ps)

|        |         |        |  |       |
|--------|---------|--------|--|-------|
| Ps h = | $Pm*kh$ | (kN/m) |  | 15.52 |
| Ps v = | $Pm*kv$ | (kN/m) |  | 7.76  |

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

|        |         |        |  |      |
|--------|---------|--------|--|------|
| Ptsh = | $Pt*kh$ | (kN/m) |  | 5.64 |
| Ptsv = | $Pt*kv$ | (kN/m) |  | 2.82 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)

|         |                       |        |  |       |
|---------|-----------------------|--------|--|-------|
| MPs1 h= | $kh*Pm1*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 0.00  |
| MPs2 h= | $kh*Pm2*(H2 + H3/2)$  | (kN/m) |  | 18.07 |
| MPs3 h= | $kh*Pm3*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 0.00  |
| MPs4 h= | $kh*Pm4*(H2/2)$       | (kN/m) |  | 2.27  |
| MPs h=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$ | (kN/m) |  | 20.34 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

|         |                          |        |  |      |
|---------|--------------------------|--------|--|------|
| MPs1 v= | $kv*Pm1*(B1+2/3*B2)$     | (kN/m) |  | 0.00 |
| MPs2 v= | $kv*Pm2*(B1+B2+B3/2)$    | (kN/m) |  | 4.40 |
| MPs3 v= | $kv*Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)$ | (kN/m) |  | 0.00 |
| MPs4 v= | $kv*Pm4*(B/2)$           | (kN/m) |  | 3.24 |
| MPs v=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$    | (kN/m) |  | 7.65 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

|          |                           |         |  |       |
|----------|---------------------------|---------|--|-------|
| MPts1 h= | $kh*Pt1*(H2 + H3/2)$      | (kNm/m) |  | 11.28 |
| MPts2 h= | $kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) |  | 0.00  |
| MPts3 h= | $kh*Pt3*(H2+H3*2/3)$      | (kNm/m) |  | 0.00  |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$   | (kNm/m) |  | 11.28 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

|          |  |         |  |      |
|----------|--|---------|--|------|
| MPts1 v= | $kv*Pt1*((H2 + H3/2) - (B - B5/2)*0.5)$      | (kNm/m) |  | 4.72 |
| MPts2 v= | $kv*Pt2*((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3)*0.5)$ | (kNm/m) |  | 0.00 |
| MPts3 v= | $kv*Pt3*((H2+H3*2/3)-(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)$ | (kNm/m) |  | 0.00 |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                      | (kNm/m) |  | 4.72 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |  | SLE          | STR/GEO |
|-----------|--|--------------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$ | (kN/m) 25.92 | 33.70   |
| Sq perm = | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) 17.45 | 26.18   |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                                    |              |       |
|------------|------------------------------------|--------------|-------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$             | (kN/m) 24.03 | 31.24 |
| Sqh perm = | $perm \cdot \cos \delta$           | (kN/m) 0.00  | 0.00  |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) 16.18 | 24.28 |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                    |             |       |
|------------|------------------------------------|-------------|-------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$             | (kN/m) 9.71 | 12.62 |
| Sqv perm = | $perm \cdot \sin \delta$           | (kN/m) 0.00 | 0.00  |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) 6.54 | 9.81  |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   | SLE          | STR/GEO |
|-------------|---|--------------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$              | (kN/m) 26.44 | 34.37   |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                           | (kN/m) 19.42 | 25.25   |
| MSq1 perm = | $Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| MSq2 perm = | $Sqv \text{ perm} \cdot B$              | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$  | (kN/m) 26.70 | 40.05   |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$               | (kN/m) 13.08 | 19.62   |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|              |   |              |      |
|--------------|---|--------------|------|
| Mfext perm = | $mp + fp \cdot (H3 + H2) + vp \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) 0.00 | 0.00 |
| Mfext acc =  | $m + f \cdot (H3 + H2) + v \cdot (B1 + B2 + B3/2)$    | (kNm/m) 0.00 | 0.00 |

## AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

|             |   |               |        |
|-------------|---|---------------|--------|
| N perm =    | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv \text{ perm} + Sqv \text{ acc}$ | (kN/m) 123.88 | 126.79 |
| N acc min = | $v + Sqv \text{ acc}$                                     | (kN/m) 6.54   | 9.81   |
| N acc max = | $v + Sqv \text{ acc} + q \text{ acc}$                     | (kN/m) 19.54  | 29.31  |

Risultante forze orizzontali (T)

|          |                               |              |       |
|----------|-------------------------------|--------------|-------|
| T perm = | $Sth + Sqh \text{ perm} + fp$ | (kN/m) 24.03 | 31.24 |
| T acc =  | $Sqh \text{ acc} + f$         | (kN/m) 16.18 | 24.28 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|                 |            |                |        |
|-----------------|------------|----------------|--------|
| MM perm =       | $\Sigma M$ | (kNm/m) 126.47 | 124.36 |
| MM acc (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) -13.63 | -20.44 |

MM acc (Nmax) =  $\Sigma M$  (kNm/m) 8.15 12.22

**CONDIZIONE SISMICA +**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

|  |        | SLE   | STR/GEO |
|--|--------|-------|---------|
| - Spinta condizione sismica  |        |       |         |
| + Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$                         | (kN/m) | 25.92 | 25.92   |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1 stat$ | (kN/m) | 15.15 | 15.15   |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| - Componente orizzontale condizione sismica  |        |       |         |
| + Sst1h stat = $Sst1 stat \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 24.03 | 24.03   |
| Sst1h sism = $Sst1 sism \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 14.05 | 14.05   |
| Ssq1h perm = $Ssq1 perm \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1h acc = $Ssq1 acc \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| - Componente verticale condizione sismica +  |        |       |         |
| Sst1v stat = $Sst1 stat \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 9.71  | 9.71    |
| Sst1v sism = $Sst1 sism \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 5.68  | 5.68    |
| Ssq1v perm = $Ssq1 perm \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1v acc = $Ssq1 acc \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

|  |        | SLE   | STR/GEO |
|--|--------|-------|---------|
| - Condizione sismica +                         |        |       |         |
| MSst1 stat = $Sst1h stat \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) | 26.44 | 26.44   |
| MSst1 sism = $Sst1h sism \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 23.18 | 23.18   |
| MSst2 stat = $Sst1v stat \cdot B$              | (kN/m) | 19.42 | 19.42   |
| MSst2 sism = $Sst1v sism \cdot B$              | (kN/m) | 11.35 | 11.35   |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4)/2)$           | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$                        | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|  |           |      |
|--|-----------|------|
| Mfext1 = $mp+ms$                         | ( kNm/m ) | 0.00 |
| Mfext2 = $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$       | ( kNm/m ) | 0.00 |
| Mfext3 = $(vp+vs) \cdot (B1 +B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) | 0.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

|   |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|
| Risultante forze verticali (N)                          |        |        |        |
| Nmin = $Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv$ | (kN/m) | 140.13 | 140.13 |
| Nmax = $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q acc$        | (kN/m) | 140.13 | 140.13 |
| Risultante forze orizzontali (T)                        |        |        |        |
| T = $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh$              | (kN/m) | 59.24  | 59.24  |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |         |       |       |
|-------------|------------|---------|-------|-------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 95.40 | 95.40 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 95.40 | 95.40 |

**CONDIZIONE SISMICA -**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta condizione sismica -

|             |  | SLE    | STR/GEO |       |
|-------------|--|--------|---------|-------|
| Sst1 stat = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$                                   | (kN/m) | 25.92   | 25.92 |
| Sst1 sism = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 10.95   | 10.95 |
| Ssq1 perm = | $qp \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas$  | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |
| Ssq1 acc =  | $qs \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas$  | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|              |                                       |        |       |       |
|--------------|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = | $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 24.03 | 24.03 |
| Sst1h sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 10.15 | 10.15 |
| Ssq1h perm = | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc =  | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|              |                                       |        |      |      |
|--------------|---------------------------------------|--------|------|------|
| Sst1v stat = | $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 9.71 | 9.71 |
| Sst1v sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 4.10 | 4.10 |
| Ssq1v perm = | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Ssq1v acc =  | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione sismica -

|              |   | SLE    | STR/GEO |       |
|--------------|---|--------|---------|-------|
| MSst1 stat = | $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) | 26.44   | 26.44 |
| MSst1 sism = | $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 16.75   | 16.75 |
| MSst2 stat = | $Sst1v \text{ stat} \cdot B$              | (kN/m) | 19.42   | 19.42 |
| MSst2 sism = | $Sst1v \text{ sism} \cdot B$              | (kN/m) | 8.20    | 8.20  |
| MSsq1 =      | $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4)/2)$              | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |
| MSsq2 =      | $Ssq1v \cdot B$                           | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|          |                                 |           |  |      |
|----------|---------------------------------|-----------|--|------|
| Mfext1 = | $mp+ms$                         | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext2 = | $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$       | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext3 = | $(vp+vs) \cdot (B1 +B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) |  | 0.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

|        |   |        |        |        |
|--------|---|--------|--------|--------|
|        | $Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv$  |        |        |        |
| Nmin = | $Ptsv$  | (kN/m) | 117.40 | 117.40 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q \text{ acc}$ | (kN/m) | 117.40 | 117.40 |

Risultante forze orizzontali

|     |  |        |       |       |
|-----|--|--------|-------|-------|
| (T) |  |        |       |       |
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsv$ | (kN/m) | 55.34 | 55.34 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |         |       |       |
|-------------|------------|---------|-------|-------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 98.68 | 98.68 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 98.68 | 98.68 |

**Caratteristiche della Palificata**

|  |                                |      |         |                       |          |
|--|--------------------------------|------|---------|-----------------------|----------|
| Fila n° 1                                | distanza asse bordo valle (d1) | 0.50 | (m)     | interasse pali (i1) = | 0.80 (m) |
| Fila n° 2                                | distanza asse bordo valle (d2) | 1.50 | (m)     | interasse pali (i2) = | 0.80 (m) |
| Asse Baricentrico della Palificata (yGp) |                                |      | = 1.000 | (m)                   |          |

**13.1 Calcolo delle sollecitazioni**

Risultante forze verticali (Np = N)

Risultante forze orizzontali (Tp = T)

Momento rispetto al baricentro della palificata (Mp)  $Mp = yGp \cdot Np - MM$

Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata

SLU

| caso    | Np         |             | Mp         |             | Tp         |             |       |
|---------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------|
|         | [kN/m]     | [kN/m]      | [kNm/m]    | [kNm/m]     | [kN/m]     | [kN/m]      |       |
|         | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali |       |
| statico | Nmin       | 126.79      | 9.81       | 2.43        | 30.25      | 31.24       | 24.28 |
|         | Nmax       | 126.79      | 29.31      | 2.43        | 17.08      |             |       |
| sisma+  | Nmin       | 140.13      |            | 44.74       |            | 59.24       |       |
|         | Nmax       | 140.13      |            | 44.74       |            | 59.24       |       |
| sisma-  | Nmin       | 117.40      |            | 18.72       |            | 55.34       |       |
|         | Nmax       | 117.40      |            | 18.72       |            | 55.34       |       |

Sollecitazioni sui pali SLU

| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 80.78        | 28.50        | 22.21  |      |
|         | Nmax | 78.05        | 46.83        | 22.21  |      |
| sisma+  | Nmin | 91.84        | 20.26        | 23.70  |      |
|         | Nmax | 91.84        | 20.26        | 23.70  |      |
| sisma-  | Nmin | 61.94        | 31.98        | 22.14  |      |
|         | Nmax | 61.94        | 31.98        | 22.14  |      |

Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata

SLE / caratteristiche

| caso         | Np         |            |           | Mp        |            |           | Tp        |            |             |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|              | [kN/m]     | [kN/m]     | [kN/m]    | [kNm/m]   | [kNm/m]    | [kNm/m]   | [kN/m]    | [kN/m]     |             |
| statico<br>0 | rara       | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permanenti | Accidentali |
|              | freq.      | 123.88     | 6.54      | 19.54     | -2.59      | 15.12     | 8.15      | 24.03      | 16.18       |
|              | quasi perm |            | 4.90      | 14.653    |            | 0.00      | 6.11      |            | 12.14       |
| sisma +      | Nmin       | 140.13     |           |           | 44.74      |           |           | 59.24      |             |
|              | Nmax       | 140.13     |           |           | 44.74      |           |           | 59.24      |             |
| sisma -      | Nmin       | 117.40     |           |           | 18.72      |           |           | 55.34      |             |
|              | Nmax       | 117.40     |           |           | 18.72      |           |           | 55.34      |             |

Sollecitazioni sui pali SLE/ caratteristiche

| caso            | N pali all.1 |            | N pali all.2 |            | T pali      |            |             |
|-----------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                 | [kN]         | [kN]       | [kN]         | [kN]       | [kN]        | [kN]       |             |
| statico<br>Nmin | rara         | Permanenti | Accidentali  | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali |
|                 | freq.        | 47.48      | 18.75        | 51.62      | -13.52      | 9.61       | 6.47        |
|                 | quasi perm   |            | 14.06        |            | -10.14      |            | 4.86        |
| statico<br>Nmax | rara         | Permanenti | Accidentali  | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali |
|                 | freq.        | 47.48      | 14.33        | 51.62      | 1.30        | 9.61       | 6.47        |
|                 | quasi perm   |            | 10.75        |            | 0.97        |            | 4.86        |
| sisma+          | Nmin         | 91.84      |              | 20.26      |             | 23.70      |             |
|                 | Nmax         | 91.84      |              | 20.26      |             | 23.70      |             |
| sisma-          | Nmin         | 61.94      |              | 31.98      |             | 22.14      |             |
|                 | Nmax         | 61.94      |              | 31.98      |             | 22.14      |             |

Sollecitazioni massime sui pali

N max      **91.84** (compressione)

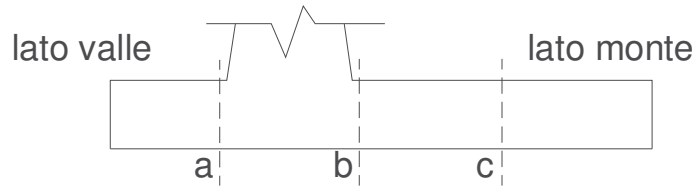
N min      **20.26** (compressione)

T max      **23.70**

## 13.2 Verifiche del muro

### Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE



#### Mensola Lato Valle

$$M_a = \sum N_i \cdot (B_1 - d_i) / i_i - PP \cdot (1 \pm kv) \cdot B_1^2 / 2$$

$$T_a = \sum N_i / i_i - PP \cdot (1 \pm kv)$$

$\Sigma$  estesa a tutti i pali presenti sulla mensola

#### Mensola Lato Monte

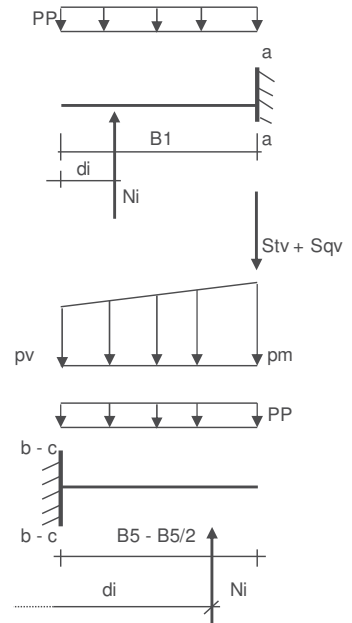
$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B_5^2 / 2 + p_{vb} \cdot B_5^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B_5^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5$$

$$M_c = \sum N_i \cdot (B_5 / 2 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + p_{vc} \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5 / 2$$

$$V_b = \sum N_i / i_i - [PP \cdot B_5 + p_{vb} \cdot B_5 + (p_m - p_{vb}) \cdot B_5] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv)$$

$$V_c = \sum N_i / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2) + p_{vc} \cdot (B_5 / 2) + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv)$$

$\Sigma$  estesa a tutti i pali presenti sulla mensola



|              |     |   |       |                      |
|--------------|-----|---|-------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 17.50 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 46.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 46.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvc | = | 46.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |

| caso    | Ma      | Va     | Mb      | Vb     | Mc      | Vc     |
|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m] |
| statico | 6.95    | 90.48  | -22.82  | -28.60 | -10.69  | -43.33 |
| sisma+  | 8.04    | 103.33 | -21.04  | -35.72 | -38.22  | -38.22 |
| sisma-  | 4.88    | 67.90  | -15.30  | -11.76 | -32.77  | -32.77 |



**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t\ sism} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a\ orizz.} \cdot (1 \pm kv) - K_{a\ orizz.}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad o \cdot h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

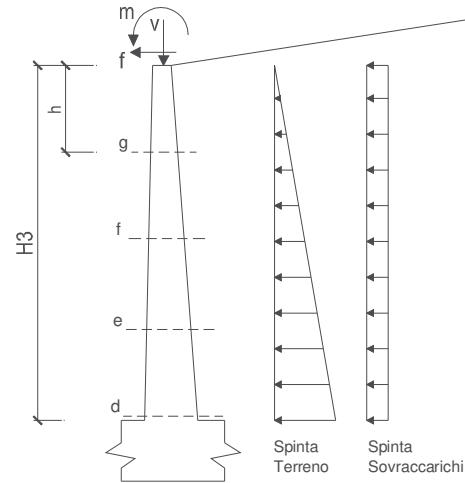
$$V_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t\ sism} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a\ orizz.} \cdot (1 \pm kv) - K_{a\ orizz.}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a\ orizz.} \cdot q \cdot h$$

$$V_{ext} = f$$

$$V_{inerzia} = \sum P m_i \cdot kh$$



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 16.81   | 24.86   | 0.00             | 41.67            | 0.00             | 48.75           | 48.75            |
| e-e     | 1.95 | 7.09    | 13.99   | 0.00             | 21.08            | 0.00             | 36.56           | 36.56            |
| f-f     | 1.30 | 2.10    | 6.22    | 0.00             | 8.32             | 0.00             | 24.38           | 24.38            |
| g-g     | 0.65 | 0.26    | 1.55    | 0.00             | 1.82             | 0.00             | 12.19           | 12.19            |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 19.39  | 19.13  | 0.00             | 38.52            |
| e-e     | 1.95 | 10.91  | 14.34  | 0.00             | 25.25            |
| f-f     | 1.30 | 4.85   | 9.56   | 0.00             | 14.41            |
| g-g     | 0.65 | 1.21   | 4.78   | 0.00             | 5.99             |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | M <sub>t stat</sub> | M <sub>t sism</sub> | M <sub>q</sub> | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]             | [kNm/m]             | [kNm/m]        | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 12.93               | 12.23               | 0.00           | 0.00             | 11.75                | 36.90            | 0.00             | 53.27                   | 53.27            |
| e-e     | 1.95 | 5.45                | 5.16                | 0.00           | 0.00             | 6.61                 | 17.22            | 0.00             | 39.95                   | 39.95            |
| f-f     | 1.30 | 1.62                | 1.53                | 0.00           | 0.00             | 2.94                 | 6.08             | 0.00             | 26.63                   | 26.63            |
| g-g     | 0.65 | 0.20                | 0.19                | 0.00           | 0.00             | 0.73                 | 1.13             | 0.00             | 13.32                   | 13.32            |

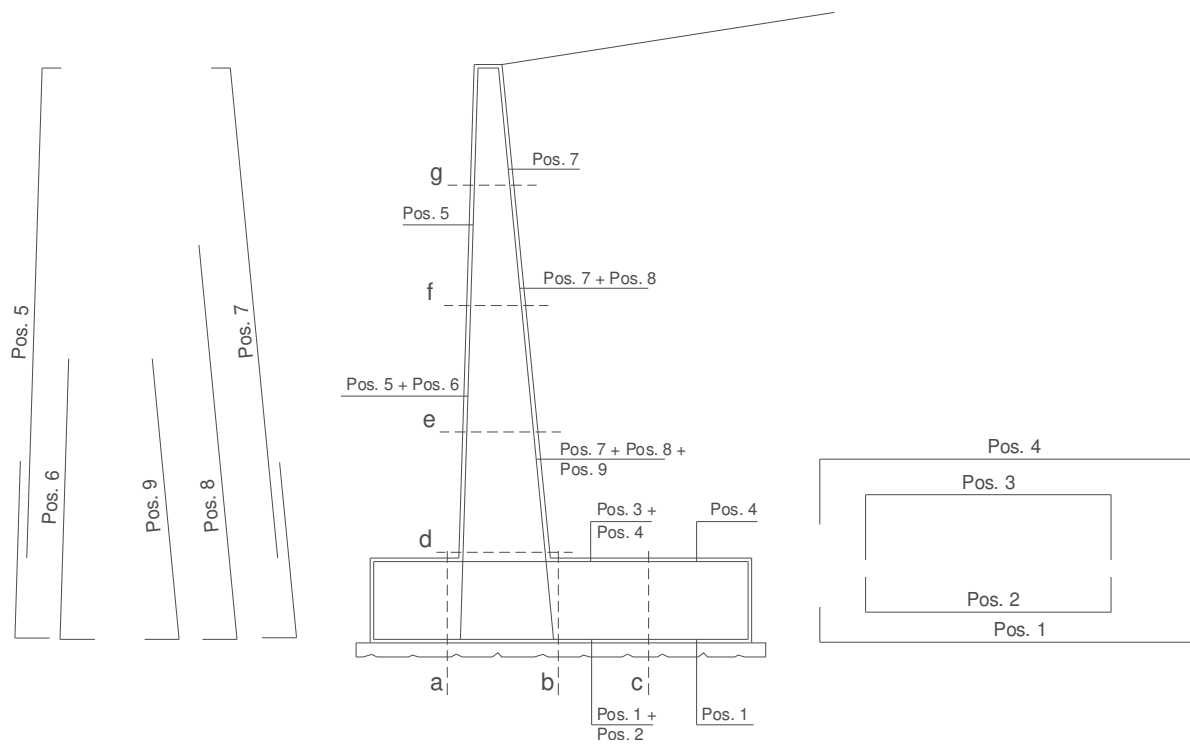
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m]         | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 14.92               | 9.40                | 0.00           | 0.00             | 9.03                 | 33.36            |
| e-e     | 1.95 | 8.39                | 5.29                | 0.00           | 0.00             | 6.78                 | 20.46            |
| f-f     | 1.30 | 3.73                | 2.35                | 0.00           | 0.00             | 4.52                 | 10.60            |
| g-g     | 0.65 | 0.93                | 0.59                | 0.00           | 0.00             | 2.26                 | 3.78             |

**condizione sismica -**

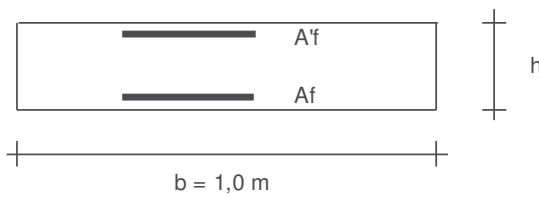
| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 12.93   | 8.83    | 0.00    | 0.00             | 11.75                | 33.51            | 0.00             | 44.23                   | 44.23            |
| e-e     | 1.95 | 5.45    | 3.73    | 0.00    | 0.00             | 6.61                 | 15.79            | 0.00             | 33.17                   | 33.17            |
| f-f     | 1.30 | 1.62    | 1.10    | 0.00    | 0.00             | 2.94                 | 5.66             | 0.00             | 22.12                   | 22.12            |
| g-g     | 0.65 | 0.20    | 0.14    | 0.00    | 0.00             | 0.73                 | 1.07             | 0.00             | 11.06                   | 11.06            |

| sezione | h    | Vt stat | Vt sism | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]  | [kN/m]  | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 14.92   | 6.80    | 0.00   | 0.00             | 9.03                 | 30.75            |
| e-e     | 1.95 | 8.39    | 3.82    | 0.00   | 0.00             | 6.78                 | 18.99            |
| f-f     | 1.30 | 3.73    | 1.70    | 0.00   | 0.00             | 4.52                 | 9.95             |
| g-g     | 0.65 | 0.93    | 0.42    | 0.00   | 0.00             | 2.26                 | 3.62             |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**



**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

---

| <b>Sez.</b> | <b>M</b> | <b>N</b> | <b>h</b> | <b>Af</b>          | <b>A'f</b>         | <b>Mu</b> | <b>Mu/M</b> |
|-------------|----------|----------|----------|--------------------|--------------------|-----------|-------------|
| (-)         | (kNm)    | (kN)     | (m)      | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)     | (-)         |
| a - a       | 8.04     | 0.00     | 0.70     | 7.85               | 7.85               | 199.06    | 24.76       |
| b - b       | -22.82   | 0.00     | 0.70     | 7.85               | 7.85               | 199.06    | 8.72        |
| c - c       | -38.22   | 0.00     | 0.70     | 7.85               | 7.85               | 199.06    | 5.21        |
| d - d       | 41.67    | 48.75    | 0.75     | 22.07              | 12.72              | 581.05    | 13.94       |
| e - e       | 21.08    | 36.56    | 0.75     | 22.07              | 12.72              | 577.11    | 27.38       |
| f - f       | 8.32     | 24.38    | 0.75     | 22.07              | 12.72              | 573.17    | 68.92       |
| g - g       | 1.82     | 12.19    | 0.75     | 15.71              | 12.72              | 419.65    | 231.01      |

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### 13.3 Verifica di stabilità globale

|             | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi$<br>[°] | $c$<br>[kPa] | Descrizione         |
|-------------|----------------------------------|---------------|--------------|---------------------|
| materiale 1 | 20                               | 24.8          | 0            | Coltre superficiale |
| materiale 2 | 26                               | 24.8          | 35.2         | Roccia fratturata   |
| materiale 3 | 26                               | 32.0          | 44           | Roccia integra      |

peso specifico acqua **9.81** [kN/m<sup>3</sup>]

azioni sismiche  $a_g/g$  0.143 (-)  $S_s$  1.2  $k_h$  0.0445 (-)  
 $\beta_s$  0.24  $S_T$  1.08  $k_v$  0.0222 (-)

| p.c. valle  |         |         | p.c. monte |         |         | superficie 1                        |             | superficie 2 |                                     |             |         |
|-------------|---------|---------|------------|---------|---------|-------------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------|-------------|---------|
| materiale 1 |         |         |            |         |         | <input checked="" type="checkbox"/> | materiale 2 |              | <input checked="" type="checkbox"/> | materiale 3 |         |
|             | x       | y       |            | x       | y       |                                     | x           | y            |                                     | x           | y       |
| 0           | 100.000 | 101.300 | 0          | 101.050 | 103.800 | 0                                   | 56.500      | 77.600       | 0                                   | 56.500      | 75.600  |
| 1           | 99.000  | 101.300 | 1          | 108.050 | 103.800 | 1                                   | 86.500      | 92.600       | 1                                   | 86.500      | 90.600  |
| 2           | 91.000  | 94.300  | 2          | 144.000 | 123.800 | 2                                   | 91.000      | 92.800       | 2                                   | 91.000      | 90.800  |
| 3           | 86.500  | 94.100  | 3          |         |         | 3                                   | 99.000      | 99.800       | 3                                   | 99.000      | 97.800  |
| 4           | 56.500  | 79.100  | 4          |         |         | 4                                   | 100.000     | 99.800       | 4                                   | 100.000     | 97.800  |
| 5           |         |         | 5          |         |         | 5                                   | 108.050     | 102.300      | 5                                   | 108.050     | 100.300 |
| 6           |         |         | 6          |         |         | 6                                   | 144.000     | 122.300      | 6                                   | 144.000     | 120.300 |
| 7           |         |         | 7          |         |         | 7                                   |             |              | 7                                   |             |         |
| 8           |         |         | 8          |         |         | 8                                   |             |              | 8                                   |             |         |
| 9           |         |         | 9          |         |         | 9                                   |             |              | 9                                   |             |         |
| 10          |         |         | 10         |         |         | 10                                  |             |              | 10                                  |             |         |

#### Sovraccarichi

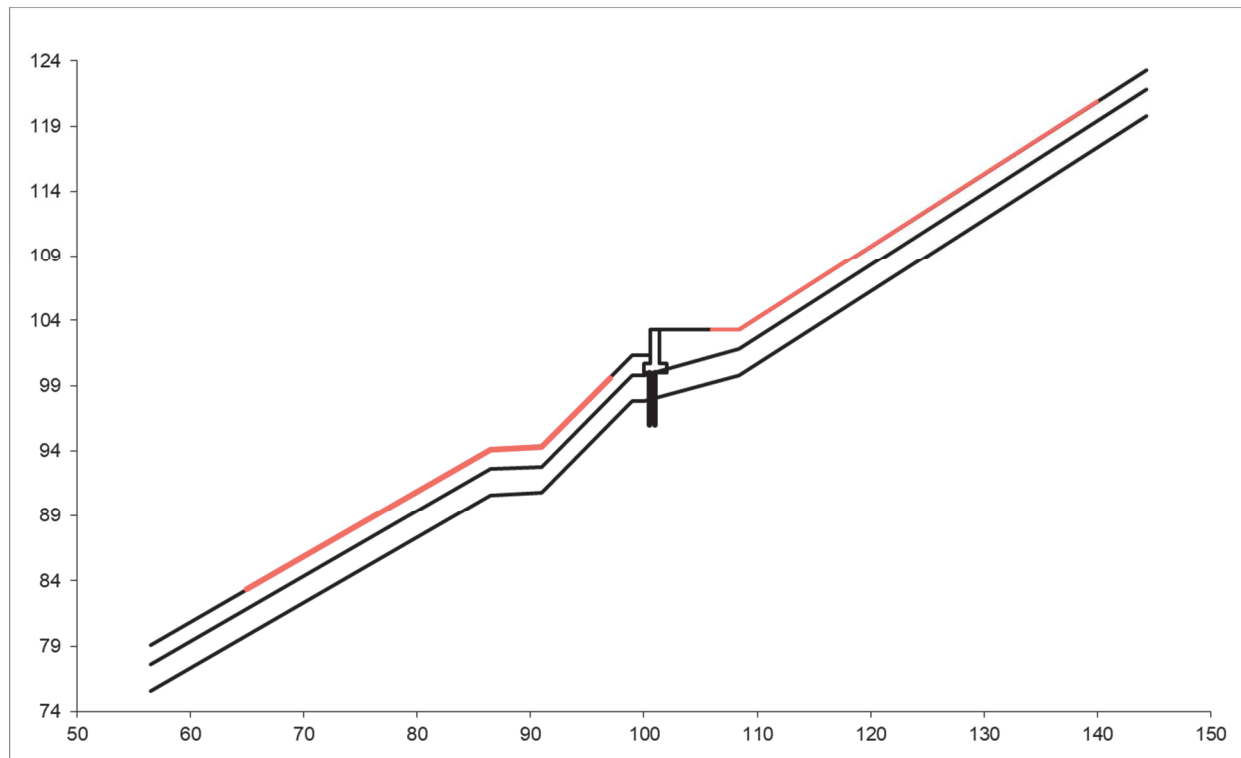
|  | $X_{in}$ | $q_{in}$ | $X_{fin}$ | $q_{fin}$ | % sisma |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------|
| sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/> | 102.050  | 26       | 107.050   | 26        | 38%     |
| sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>            |          |          |           |           |         |

#### Limiti ricerca superfici

|              |               |                    |                                |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>Xa</b> 65 | <b>Xc</b> 106 | <b>alfa min</b> 50 | <b># superfici massimo</b> 968 |
| <b>Xb</b> 97 | <b>Xd</b> 140 | <b>alfa max</b> 80 |                                |
| <b>n1</b> 10 | <b>n2</b> 10  | <b>n alfa</b> 7    |                                |

**Caratteristiche dei pali**

|                             |        |                   |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Lunghezza pali              | 4.00   | m                 |
| Diametro pali               | 0.24   | m                 |
| Rigidezza EI                | 3290   | kN m <sup>2</sup> |
| Momento di plasticizzazione | 84.84  | kN m              |
| Taglio ultimo pali          | 618.00 | kN                |



### 13.3.1 Risultati dell'analisi di stabilità

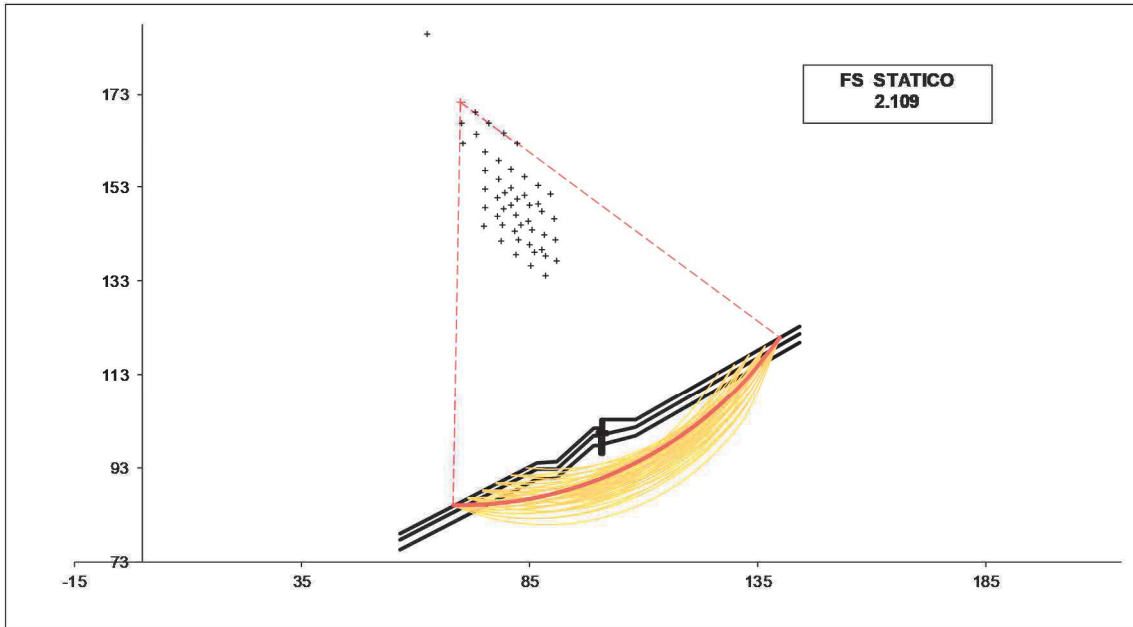
Condizione di Carico

STATICA

# superfici da disegnare

50

DISEGNO



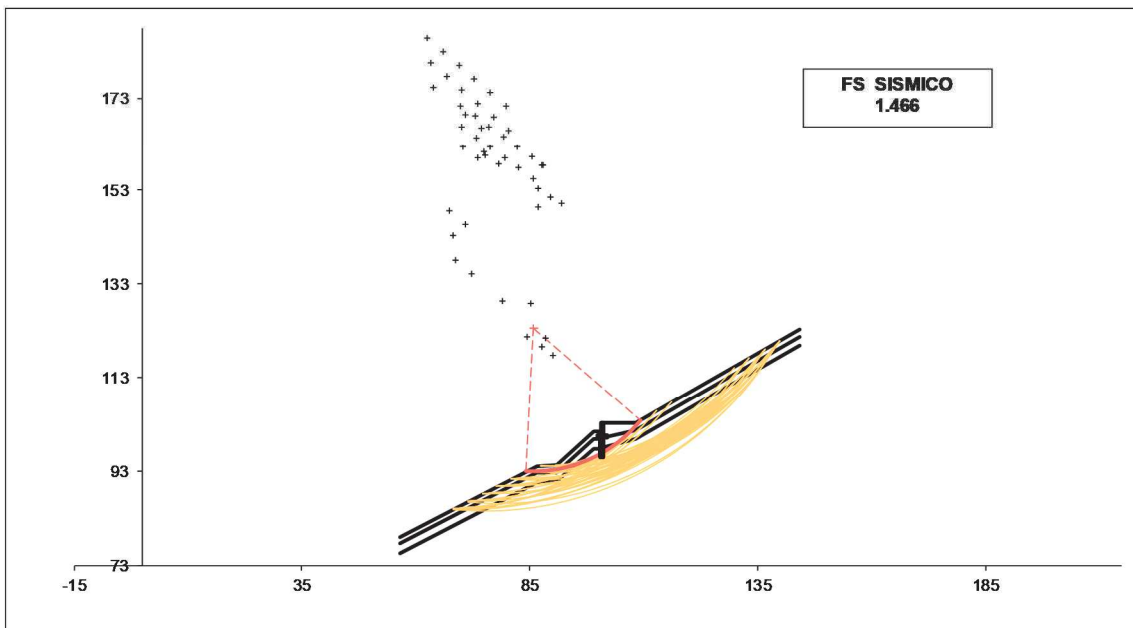
Condizione di Carico

SISMICA

# superfici da disegnare

50

DISEGNO



### 13.4 Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione

**Caratteristiche del micropalo:**

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0.24 (m)**

Lunghezza del micropalo (L): **4.00 (m)**

**Armatura:**

IPE   
  INP   
  HEA   
  HEB   
  HEM   
  Tubi   
  ALTRO

IPE 180    INP 160    HEA 300    HEB 160    HEM 200    **ø168,3 x 10,0**

### ø168,3 x 10,0

Area dell'armatura (A<sub>arm</sub>): **4973 (mm<sup>2</sup>)**

Area a taglio (A<sub>taglio</sub>): **((mm<sup>2</sup>))**

Momento di inerzia della sezione di armatura (J<sub>arm</sub>): **1.564E+07 (mm<sup>4</sup>)**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W<sub>arm</sub>): **185 857 (mm<sup>3</sup>)**

Dimensione Armatura (I<sub>arm</sub>): **((mm))**

Tipo di acciaio **S 355 (Fe 510)**

Tensione di snervamento dell'acciaio (f<sub>y</sub>): **355 (N/mm<sup>2</sup>)**

Coefficiente Parziale Acciaio γ<sub>M</sub>: **1.05**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ<sub>im</sub>): **338 (N/mm<sup>2</sup>)**

Modulo di elasticità dell'acciaio (E<sub>arm</sub>): **210 000 (N/mm<sup>2</sup>)**

**Coefficiente di Reazione Laterale:**

Coeff. di Winkler (k): **830 (MN/m<sup>3</sup>)**

| coefficienti parziali    |          |                                  | azioni         |                | resistenza laterale |                     |
|--------------------------|----------|----------------------------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Metodo di calcolo        |          |                                  | permanenti     | variabili      | γ <sub>s</sub>      | γ <sub>s</sub> traz |
|                          |          |                                  | γ <sub>G</sub> | γ <sub>Q</sub> |                     |                     |
| SLU                      | A1+M1+R1 | <input type="radio"/>            | 1.30           | 1.50           | 1.00                | 1.00                |
|                          | A2+M1+R2 | <input type="radio"/>            | 1.00           | 1.30           | 1.45                | 1.60                |
|                          | A1+M1+R3 | <input checked="" type="radio"/> | 1.30           | 1.50           | 1.15                | 1.25                |
|                          | SISMA    | <input type="radio"/>            | 1.00           | 1.00           | 1.15                | 1.25                |
| DM88                     |          |                                  | 1.00           | 1.00           | 1.00                | 1.00                |
| definiti dal progettista |          |                                  | 1.10           | 1.20           | 1.30                | 1.30                |

| n              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | DM88 | prog. |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ξ <sub>3</sub> | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| ξ <sub>4</sub> | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

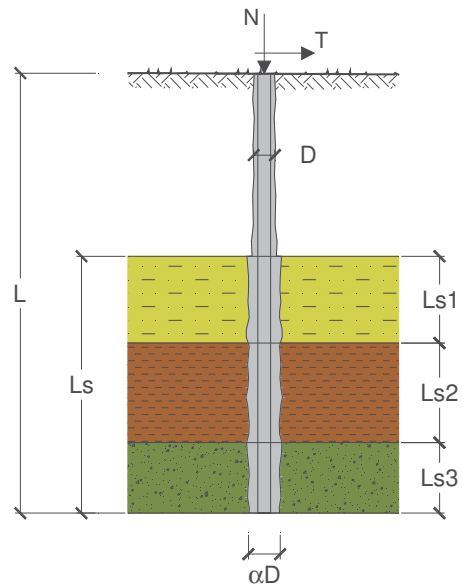
### 13.4.1 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

*Sollecitazioni Agenti:*

|               | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---------------|------------|------------|---------|
| <b>N (kN)</b> |            |            | 91.84   |
| <b>T (kN)</b> |            |            | 23.70   |



#### CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

| Tipo di Terreno   | Spessore $ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$ media<br>(MPa) | $s_i$ minima<br>(MPa) | $s_i$ calcolo<br>(MPa) | $Qs_i$<br>(kN) |
|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| roccia fratturata | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                | 0.150                 | 0.077                  | 127.27         |
| roccia integra    | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                | 0.150                 | 0.077                  | 127.27         |
|                   |                        |                 | 0.00                           |                      |                       | 0.000                  | 0.00           |

$Ls = 4.00 \text{ (m)}$

$Ql = 254.54 \text{ (kN)}$

Capacità portante di punta

$Qp = \%Punta \cdot Ql$

(consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$

$Qp = 0.00 \text{ (kN)}$

#### CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 254.54 \text{ (kN)}$

#### COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$Fs = Qlim / N \text{ (Fs > 1)}$

$Fs = 2.77$

#### CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{am}$ ):  $139.69 \text{ (N/mm}^2)$

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot Earm \cdot Jarm)^{0.5}$

$\eta = Pk / N \text{ (consigliato } \eta > 10)$

$Pk = 42838.76 \text{ (MN)}$

$\eta = 466.43$



**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

**b = 1.973 (1/m)**

Momento Massimo (M):

**M = 6.00 (kN m)**

**13.5 Verifica strutturale del palo**

**Calcolo delle caratteristiche meccaniche dei profili tubolari e verifica secondo DM 2008**

|                           |   |        |      |
|---------------------------|---|--------|------|
| Diametro esterno nominale | D | 168.30 | [mm] |
| Spessore nominale         | t | 10.00  | [mm] |
| Diametro interno nominale | d | 148.30 | [mm] |

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

|  |                    |      |                    |
|--|--------------------|------|--------------------|
| Area della sezione trasversale                       | A                  | 49.7 | [cm <sup>2</sup> ] |
| Momento d'inerzia                                    | I                  | 1564 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Raggio d'inerzia                                     | i                  | 5.61 | [cm]               |
| Modulo di resistenza elastico                        | W <sub>el,yy</sub> | 186  | [cm <sup>3</sup> ] |
| Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte | W <sub>p,yy</sub>  | 251  | [cm <sup>3</sup> ] |
| Momento d'inerzia torsionale                         | I <sub>t</sub>     | 3128 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Modulo di torsione                                   | C <sub>t</sub>     | 372  | [cm <sup>3</sup> ] |

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

|                                    |                 |        |       |
|------------------------------------|-----------------|--------|-------|
| Valore di snervamento dell'acciaio | f <sub>yk</sub> | 355    | [MPa] |
| Coefficiente e                     | ε               | 0.81   | [-]   |
| <b>Classificazione</b>             |                 |        |       |
| Diametro                           | d               | 168.30 | [mm]  |
| Spessore                           | t               | 10.00  | [mm]  |
| Rapporto tra diametro e spessore   | d/t             | 16.83  | [-]   |
| Classificazione della sezione      | <b>CLASSE 1</b> |        |       |

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

|  |      |                    |                              |
|--|------|--------------------|------------------------------|
| V <sub>Ed</sub>  | 24   | [kN]               |                              |
| A <sub>v</sub>   | 31.7 | [cm <sup>2</sup> ] | Area a taglio                |
| γ <sub>M0</sub>  | 1.05 |                    |                              |
| V <sub>c,Rd</sub>  | 618  | [kN]               | Resistenza a taglio del tubo |
| <b>nessuna riduzione delle tensione di snervamento per la verifica a flessione</b> |      |                    |                              |
| ρ = $\left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$                                | = -  | f <sub>y,red</sub> | = - [MPa]                    |
|  |      | FS                 | 26.08                        |

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  **6** [kNm]

$M_{c,Rd}$  **85** [kNm]

Resistenza a flessione del tubo

FS **14.13**

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - COMPRESIONE/TRAZIONE**

$N_{Ed}$  **92** [kN]

$N_{c,Rd}$  **1681** [kN]

Resistenza a compressione/trazione del tubo

FS **18.31**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

$V_{SLE}$  **24** [kN]

$M_{SLE}$  **6** [kNm]

$N_{SLE}$  **92** [kN]

$\tau$  7 [MPa]

$\sigma_M$  32 [MPa]

$\sigma_N$  18 [MPa]

$\sigma_{TOT}$  **52** [MPa]

ok

FS **6.45**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

$V_{SLE}$  **18** [kN]

$M_{SLE}$  **4** [kNm]

$N_{SLE}$  **68** [kN]

$\tau$  6 [MPa]

$\sigma_M$  24 [MPa]

$\sigma_N$  14 [MPa]

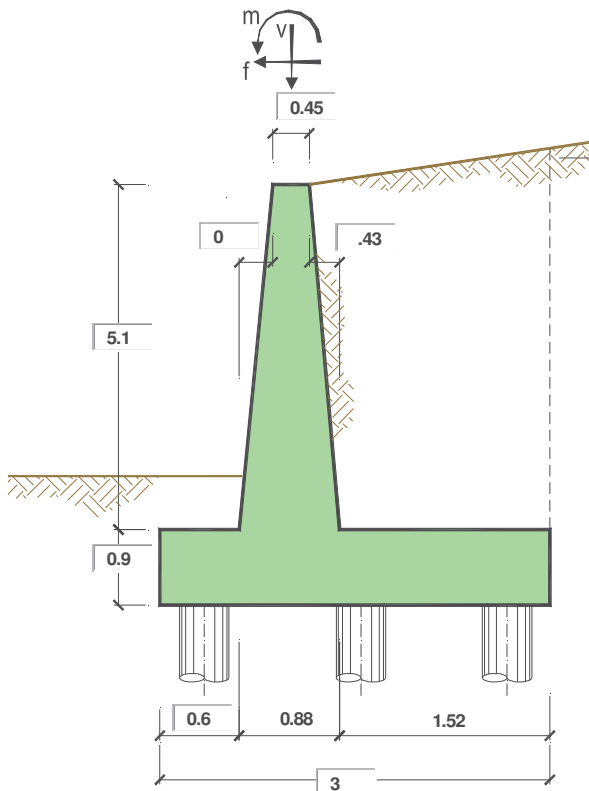
$\sigma_{TOT}$  **39** [MPa]

ok

coeff. **1.35**

FS **8.71**

# 14 Allegato B: verifica del muro tipo B

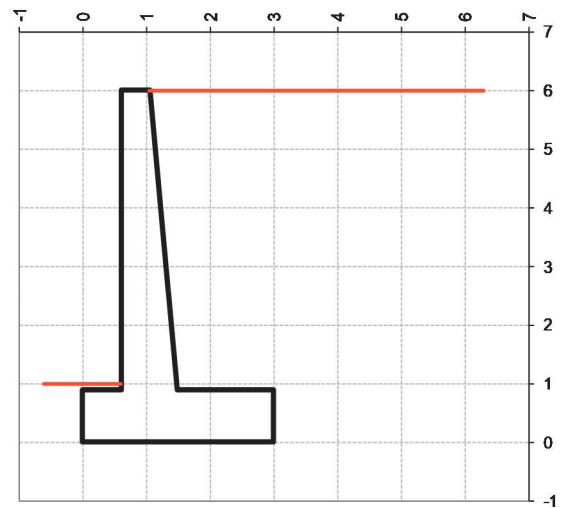


**OPERA** 0.90x3.00

Combinazioni coefficienti parziali di verifica

|            |       |                                  |
|------------|-------|----------------------------------|
| SLU        | A1+M1 | <input checked="" type="radio"/> |
|            | A2+M2 | <input type="radio"/>            |
| SLE (DM88) |       | <input type="radio"/>            |
| altro      |       | <input type="radio"/>            |

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25.00$  (kN/m<sup>3</sup>)



| Carichi    | Effetto     | Coeff. Parziale | A1 (STR) | A2 (GEO) | SLE  | altro |
|------------|-------------|-----------------|----------|----------|------|-------|
| Permanenti | favorevole  | $\gamma_G$      | 1.00     | 1.00     | 1.00 | 1.30  |
|            | sfavorevole |                 | 1.30     | 1.00     | 1.00 | 1.30  |
| Variabili  | favorevole  | $\gamma_Q$      | 0.00     | 0.00     | 0.00 | 0.00  |
|            | sfavorevole |                 | 1.50     | 1.30     | 1.00 | 1.50  |

| Parametro            |                 | Coeff. Parziale | M1   | M2   | SLE  | altro |
|----------------------|-----------------|-----------------|------|------|------|-------|
| angolo d'attrito     | $\tan \phi_k^*$ | $\gamma_\phi$   | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00  |
| peso unità di volume | $\gamma$        | $\gamma_\gamma$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00  |

| <b>Dati Geotecnici</b> |   | <b>valori caratteristici</b> |           | <b>valori di progetto</b> |       |
|------------------------|---|------------------------------|-----------|---------------------------|-------|
|                        |   | <b>SLE</b>                   |           | <b>STR/GEO</b>            |       |
| Dati Terrapieno        | Angolo di attrito del terrapieno            | (°)                          | $\phi'$   | 33.00                     | 33.00 |
|                        | Peso Unità di Volume del terrapieno         | (kN/m <sup>3</sup> )         | $\gamma'$ | 18.00                     | 18.00 |
|                        | Angolo di attrito terreno-superficie ideale | (°)                          | $\delta$  | 22.00                     | 22.00 |

|                                   |  |  |          |     |
|-----------------------------------|--|--|----------|-----|
| Dati Sismici                      | Accelerazione sismica                                | $a_g/g$  | 0.143    | (-) |
|                                   | Coefficiente Amplificazione Stratigrafico            | $S_s$  | 1.2      | (-) |
|                                   | Coefficiente Amplificazione Topografico              | $S_T$  | 1.08     | (-) |
|                                   | Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima | $\beta_m$  | 1        | (-) |
|                                   | Coefficiente sismico orizzontale                     | kh   | 0.185328 | (-) |
|                                   | Coefficiente sismico verticale                       | kv   | 0.0927   | (-) |
| Muro libero di traslare o ruotare |  | <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no |          |     |

|                        |   | <b>SLE</b> |       | <b>STR/GEO</b> |  |
|------------------------|---|------------|-------|----------------|--|
|                        |   |            |       |                |  |
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico         | ka         | 0.264 | 0.264          |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma + | kas+       | 0.383 | 0.383          |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma - | kas-       | 0.415 | 0.415          |  |

| <b>Carichi Agenti</b>        |   | <b>valori caratteristici</b>                                 |      | <b>valori di progetto</b>            |       |
|------------------------------|---|--|------|--------------------------------------|-------|
|                              |   | <b>SLE - sisma</b>   |      | <b>STR/GEO</b>                       |       |
| Carichi permanenti           | Sovraccarico permanente                                       | (kN/m <sup>2</sup> )   | qp   | 0.00                                 | 0.00  |
|                              | Sovraccarico su zattera di monte                              | <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no |      |                                      |       |
|                              | Forza Orizzontale in Testa permanente                         | (kN/m)   | fp   | 0.00                                 | 0.00  |
|                              | Forza Verticale in Testa permanente                           | (kN/m)   | vp   | 0.00                                 | 0.00  |
| Condizioni Statiche          | Momento in Testa permanente                                   | (kNm/m)  | mp   | 0.00                                 | 0.00  |
|                              | Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche               | (kN/m <sup>2</sup> )   | q    | 20.00                                | 30.00 |
|                              | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche | (kN/m)   | f    | 0.00                                 | 0.00  |
|                              | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche   | (kN/m)   | v    | 0.00                                 | 0.00  |
|                              | Momento in Testa accidentale in condizioni statiche           | (kNm/m)  | m    | 0.00                                 | 0.00  |
| Coefficienti di combinazione |   | condizione frequente $\psi_1$                                | 0.75 | condizione quasi permanente $\psi_2$ | 0.00  |
| Condizioni Sismiche          | Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche               | (kN/m <sup>2</sup> )   | qs   | 0.00                                 |       |
|                              | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche | (kN/m)   | fs   | 0.00                                 |       |
|                              | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche   | (kN/m)   | vs   | 0.00                                 |       |
|                              | Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche           | (kNm/m)  | ms   | 0.00                                 |       |

**FORZE VERTICALI**

- Peso del Muro (Pm)

|       |                                      | <b>SLE</b> | <b>STR/GEO</b> |
|-------|--------------------------------------|------------|----------------|
| Pm1 = | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$ | (kN/m)     | 0.00           |
| Pm2 = | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$   | (kN/m)     | 57.38          |
| Pm3 = | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$ | (kN/m)     | 27.41          |
| Pm4 = | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$    | (kN/m)     | 67.50          |
| Pm =  | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$              | (kN/m)     | 152.29         |

- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)

|        |  |        |        |        |
|--------|--|--------|--------|--------|
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$                | (kN/m) | 139.54 | 139.54 |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$              | (kN/m) | 19.74  | 19.74  |
| Sovr = | $qp \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                     | (kN/m) | 159.27 | 159.27 |

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

|                |                    |        |    |      |
|----------------|--------------------|--------|----|------|
| Sovr acc. Stat | $q \cdot (B4+B5)$  | (kN/m) | 39 | 58.5 |
| Sovr acc. Sism | $qs \cdot (B4+B5)$ | (kN/m) | 0  |      |

**MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO**

- Muro (Mm)

|       |                         |        |        |        |
|-------|-------------------------|--------|--------|--------|
| Mm1 = | $Pm1*(B1+2/3 B2)$       | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mm2 = | $Pm2*(B1+B2+0,5*B3)$    | (kN/m) | 47.33  | 47.33  |
| Mm3 = | $Pm3*(B1+B2+B3+1/3 B4)$ | (kN/m) | 32.71  | 32.71  |
| Mm4 = | $Pm4*(B/2)$             | (kN/m) | 101.25 | 101.25 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$ | (kN/m) | 181.30 | 181.30 |

- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro

|         |                               |        |        |        |
|---------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| Mt1 =   | $Pt1*(B1+B2+B3+B4+0,5*B5)$    | (kN/m) | 312.56 | 312.56 |
| Mt2 =   | $Pt2*(B1+B2+B3+2/3*(B4+B5))$  | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mt3 =   | $Pt3*(B1+B2+B3+2/3*B4)$       | (kN/m) | 26.38  | 26.38  |
| Msovr = | $Sovr*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mt =    | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$     | (kN/m) | 338.94 | 338.94 |

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

|                |                           |         |       |        |
|----------------|---------------------------|---------|-------|--------|
| Sovr acc. Stat | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 78.98 | 118.46 |
| Sovr acc. Sism | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 0.00  |        |

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia del muro (Ps)

|        |         |        |  |       |
|--------|---------|--------|--|-------|
| Ps h = | $Pm*kh$ | (kN/m) |  | 28.22 |
| Ps v = | $Pm*kv$ | (kN/m) |  | 14.11 |

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

|        |         |        |  |       |
|--------|---------|--------|--|-------|
| Ptsh = | $Pt*kh$ | (kN/m) |  | 29.52 |
| Ptsv = | $Pt*kv$ | (kN/m) |  | 14.76 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)

|         |                       |        |  |       |
|---------|-----------------------|--------|--|-------|
| MPs1 h= | $kh*Pm1*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 0.00  |
| MPs2 h= | $kh*Pm2*(H2 + H3/2)$  | (kN/m) |  | 36.68 |
| MPs3 h= | $kh*Pm3*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 13.21 |
| MPs4 h= | $kh*Pm4*(H2/2)$       | (kN/m) |  | 5.63  |
| MPs h=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$ | (kN/m) |  | 55.52 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

|         |                          |        |  |       |
|---------|--------------------------|--------|--|-------|
| MPs1 v= | $kv*Pm1*(B1+2/3*B2)$     | (kN/m) |  | 0.00  |
| MPs2 v= | $kv*Pm2*(B1+B2+B3/2)$    | (kN/m) |  | 4.39  |
| MPs3 v= | $kv*Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)$ | (kN/m) |  | 3.03  |
| MPs4 v= | $kv*Pm4*(B/2)$           | (kN/m) |  | 9.38  |
| MPs v=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$    | (kN/m) |  | 16.80 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

|          |                           |         |  |        |
|----------|---------------------------|---------|--|--------|
| MPts1 h= | $kh*Pt1*(H2 + H3/2)$      | (kNm/m) |  | 89.22  |
| MPts2 h= | $kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) |  | 0.00   |
| MPts3 h= | $kh*Pt3*(H2+H3*2/3)$      | (kNm/m) |  | 15.73  |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$   | (kNm/m) |  | 104.95 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

|          |  |         |  |       |
|----------|--|---------|--|-------|
| MPts1 v= | $kv*Pt1*((H2 + H3/2) - (B - B5/2)*0.5)$      | (kNm/m) |  | 28.96 |
| MPts2 v= | $kv*Pt2*((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3)*0.5)$ | (kNm/m) |  | 0.00  |
| MPts3 v= | $kv*Pt3*((H2+H3*2/3)-(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)$ | (kNm/m) |  | 3.10  |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                      | (kNm/m) |  | 32.06 |

### CONDIZIONE STATICA

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|   |  | SLE          | STR/GEO |
|---|--|--------------|---------|
| - Spinta totale condizione statica          |  |              |         |
| St =  | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$ | (kN/m) 85.68 | 111.39  |
| Sq perm =                                   | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =                                    | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) 31.74 | 47.60   |
| - Componente orizzontale condizione statica |  |              |         |
| Sth =                                       | $St \cdot \cos \delta$                         | (kN/m) 79.45 | 103.28  |
|   | Sq   |              |         |
| Sqh perm =                                  | $perm \cdot \cos \delta$                       | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Sqh acc =                                   | $Sq \cdot \cos \delta$                         | (kN/m) 29.42 | 44.14   |
| - Componente verticale condizione statica   |  |              |         |
| Stv =                                       | $St \cdot \sin \delta$                         | (kN/m) 32.10 | 41.73   |
|   | Sq   |              |         |
| Sqv perm =                                  | $perm \cdot \sin \delta$                       | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Sqv acc =                                   | $Sq \cdot \sin \delta$                         | (kN/m) 11.89 | 17.83   |

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |                                       | SLE            | STR/GEO |
|-------------|---------------------------------------|----------------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$            | (kNm/m) 158.89 | 206.56  |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                         | (kNm/m) 96.29  | 125.18  |
| MSq1 perm = | $Sqh \cdot perm \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| MSq2 perm = | $Sqv \cdot perm \cdot B$              | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \cdot acc \cdot ((H2+H3+H4)/2)$  | (kNm/m) 88.27  | 132.41  |
| MSq2 acc =  | $Sqv \cdot acc \cdot B$               | (kNm/m) 35.66  | 53.50   |

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|              |   |              |      |
|--------------|---|--------------|------|
| Mfext perm = | $mp + fp \cdot (H3 + H2) + vp \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) 0.00 | 0.00 |
| Mfext acc =  | $m + f \cdot (H3 + H2) + v \cdot (B1 + B2 + B3/2)$    | (kNm/m) 0.00 | 0.00 |

### AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

|           |   |               |        |
|-----------|---|---------------|--------|
| N perm    |   |               |        |
| =         | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv \cdot perm + Sqv \cdot acc$ | (kN/m) 343.66 | 353.29 |
| N acc min | $v + Sqv \cdot acc$                                   | (kN/m) 11.89  | 17.83  |
| =         |   |               |        |
| N acc max | $v + Sqv \cdot acc + q \cdot acc$                     | (kN/m) 50.89  | 76.33  |
| =         |   |               |        |

Risultante forze orizzontali

|          |                             |              |        |
|----------|-----------------------------|--------------|--------|
| (T)      |                             |              |        |
| T perm = | $Sth + Sqh \cdot perm + fp$ | (kN/m) 79.45 | 103.28 |
| T acc =  | $Sqh \cdot acc + f$         | (kN/m) 29.42 | 44.14  |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|           |          |                |        |
|-----------|----------|----------------|--------|
| MM perm = | $\sum M$ | (kNm/m) 457.64 | 438.86 |
|-----------|----------|----------------|--------|

|                 |            |         |        |        |
|-----------------|------------|---------|--------|--------|
| MM acc (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | -52.61 | -78.91 |
| MM acc (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 26.37  | 39.55  |

### CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|   |   |        | SLE   | STR/GEO |
|---|---|--------|-------|---------|
| - Spinta condizione sismica                 |   |        |       |         |
| +   |   |        |       |         |
| Sst1 stat =                                 | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$                            | (kN/m) | 85.68 | 85.68   |
| Sst1 sism =                                 | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$ | (kN/m) | 50.08 | 50.08   |
| Ssq1 perm=                                  | $qp \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc =                                  | $qs \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| - Componente orizzontale condizione sismica |   |        |       |         |
| +   |   |        |       |         |
| Sst1h stat =                                | $Sst1\ stat \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 79.45 | 79.45   |
| Sst1h sism =                                | $Sst1\ sism \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 46.44 | 46.44   |
| Ssq1h perm=                                 | $Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1h acc=                                  | $Ssq1\ acc \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| - Componente verticale condizione sismica + |   |        |       |         |
| Sst1v stat =                                | $Sst1\ stat \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 32.10 | 32.10   |
| Sst1v sism =                                | $Sst1\ sism \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 18.76 | 18.76   |
| Ssq1v perm=                                 | $Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1v acc=                                  | $Ssq1\ acc \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|                        |                                    |        | SLE    | STR/GEO |
|------------------------|------------------------------------|--------|--------|---------|
| - Condizione sismica + |                                    |        |        |         |
| MSst1 stat =           | $Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) | 158.89 | 158.89  |
| MSst1 sism=            | $Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 139.31 | 139.31  |
| MSst2 stat =           | $Sst1v\ stat \cdot B$              | (kN/m) | 96.29  | 96.29   |
| MSst2 sism =           | $Sst1v\ sism \cdot B$              | (kN/m) | 56.28  | 56.28   |
| MSsq1 =                | $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4)/2)$       | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSsq2 =                | $Ssq1v \cdot B$                    | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|          |                                 |           |  |      |
|----------|---------------------------------|-----------|--|------|
| Mfext1 = | $mp+ms$                         | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext2 = | $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$       | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext3 = | $(vp+vs) \cdot (B1 +B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) |  | 0.00 |

### AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

|        |   |        |        |        |
|--------|---|--------|--------|--------|
|        | $Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v +$ |        |        |        |
| Nmin = | $Ptsv$                                      | (kN/m) | 391.29 | 391.29 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q\ acc$  | (kN/m) | 391.29 | 391.29 |

Risultante forze orizzontali

|     |  |        |        |        |
|-----|--|--------|--------|--------|
| (T) |  |        |        |        |
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh$ | (kN/m) | 183.62 | 183.62 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |         |        |        |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 263.01 | 263.01 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 263.01 | 263.01 |

**CONDIZIONE SISMICA -**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta condizione sismica -

|             |  | SLE    | STR/GEO |       |
|-------------|--|--------|---------|-------|
| Sst1 stat = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$                                   | (kN/m) | 85.68   | 85.68 |
| Sst1 sism = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 36.19   | 36.19 |
| Ssq1 perm = | $qp \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas$  | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |
| Ssq1 acc =  | $qs \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas$  | (kN/m) | 0.00    | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|              |                                       |        |       |       |
|--------------|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = | $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 79.45 | 79.45 |
| Sst1h sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 33.55 | 33.55 |
| Ssq1h perm = | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc =  | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|              |                                       |        |       |       |
|--------------|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Sst1v stat = | $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 32.10 | 32.10 |
| Sst1v sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 13.56 | 13.56 |
| Ssq1v perm = | $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1v acc =  | $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione sismica -

|              |   | SLE    | STR/GEO |        |
|--------------|---|--------|---------|--------|
| MSst1 stat = | $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) | 158.89  | 158.89 |
| MSst1 sism = | $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 100.66  | 100.66 |
| MSst2 stat = | $Sst1v \text{ stat} \cdot B$              | (kN/m) | 96.29   | 96.29  |
| MSst2 sism = | $Sst1v \text{ sism} \cdot B$              | (kN/m) | 40.67   | 40.67  |
| MSsq1 =      | $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4)/2)$              | (kN/m) | 0.00    | 0.00   |
| MSsq2 =      | $Ssq1v \cdot B$                           | (kN/m) | 0.00    | 0.00   |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|          |                                  |           |  |      |
|----------|----------------------------------|-----------|--|------|
| Mfext1 = | $mp+ms$                          | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext2 = | $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | ( kNm/m ) |  | 0.00 |
| Mfext3 = | $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) |  | 0.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

|        |   |        |        |        |
|--------|---|--------|--------|--------|
|        | $Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v +$       |        |        |        |
| Nmin = | $Ptsv$  | (kN/m) | 328.34 | 328.34 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q \text{ acc}$ | (kN/m) | 328.34 | 328.34 |

Risultante forze orizzontali

|     |  |        |        |        |
|-----|--|--------|--------|--------|
| (T) |  |        |        |        |
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh$ | (kN/m) | 170.74 | 170.74 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)



|             |            |         |        |        |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 286.05 | 286.05 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 286.05 | 286.05 |

**Caratteristiche della Palificata**

|  |                                |          |         |                                |
|--|--------------------------------|----------|---------|--------------------------------|
| Fila n° 1                                | distanza asse bordo valle (d1) | 0.50 (m) |         | interasse pali (i1) = 0.80 (m) |
| Fila n° 2                                | distanza asse bordo valle (d2) | 1.50 (m) |         | interasse pali (i2) = 0.80 (m) |
| Fila n° 3                                | distanza asse bordo valle (d3) | 2.50 (m) |         | interasse pali (i3) = 0.80 (m) |
| Asse Baricentrico della Palificata (yGp) |                                |          | = 1.500 | (m)                            |

**14.1 Calcolo delle sollecitazioni**

Risultante forze verticali (Np = N)

Risultante forze orizzontali (Tp = T)

Momento rispetto al baricentro della palificata (Mp)  $Mp = yGp \cdot Np - MM$

*Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata SLU*

| caso    | Np         |             | Mp         |             | Tp         |             |       |
|---------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------|
|         | [kN/m]     |             | [kNm/m]    |             | [kN/m]     |             |       |
|         | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali | Permanenti | Accidentali |       |
| statico | Nmin       | 353.29      | 17.83      | 91.07       | 105.66     | 103.28      | 44.14 |
|         | Nmax       | 353.29      | 76.33      | 91.07       | 74.95      |             |       |
| sisma+  | Nmin       | 391.29      |            | 323.92      |            | 183.62      |       |
|         | Nmax       | 391.29      |            | 323.92      |            |             |       |
| sisma-  | Nmin       | 328.34      |            | 206.47      |            | 170.74      |       |
|         | Nmax       | 328.34      |            | 206.47      |            |             |       |

*Sollecitazioni sui pali SLU*

| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 177.66       | 98.97        | 20.27        | 39.31  |      |
|         | Nmax | 180.97       | 114.57       | 48.16        |        |      |
| sisma+  | Nmin | 233.91       | 104.34       | -25.23       | 48.97  |      |
|         | Nmax | 233.91       | 104.34       | -25.23       |        |      |
| sisma-  | Nmin | 170.15       | 87.56        | 4.97         | 45.53  |      |
|         | Nmax | 170.15       | 87.56        | 4.97         |        |      |

*Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata SLE / caratteristiche*

| caso    | Np         |           |           | Mp          |           |           | Tp          |              |       |
|---------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|--------------|-------|
|         | [kN/m]     |           |           | [kNm/m]     |           |           | [kN/m]      |              |       |
|         | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permane nti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permane nti | Accident ali |       |
| statico | rara freq. | 343.66    | 11.89     | 50.89       | 57.85     | 70.44     | 26.37       | 79.45        | 29.42 |
|         |            |           | 8.92      | 38.166134   |           | 52.83     | 19.78       |              | 22.07 |

|            |      | 8      |      |        |      |        |  |
|------------|------|--------|------|--------|------|--------|--|
| quasi perm |      | 0.00   | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00   |  |
| sism a+    | Nmin | 391.29 |      | 323.92 |      | 183.62 |  |
|            | Nmax | 391.29 |      | 323.92 |      |        |  |
| sism a-    | Nmin | 328.34 |      | 206.47 |      | 170.74 |  |
|            | Nmax | 328.34 |      | 206.47 |      |        |  |

Sollecitazioni sui pali SLE/ caratteristiche

| caso         |            | N pali all.1 |                      | N pali all.2 |                     | N pali all.3 |                       | T pali     |                     |
|--------------|------------|--------------|----------------------|--------------|---------------------|--------------|-----------------------|------------|---------------------|
|              |            | [kN]         | [kN]                 | [kN]         | [kN]                | [kN]         | [kN]                  | [kN]       | [kN]                |
| statico Nmin | rara       |              | Accidentali<br>31.35 | Permanenti   | Accidentali<br>3.17 | Permanenti   | Accidentali<br>-25.01 | Permanenti | Accidentali<br>7.85 |
|              | freq.      | 114.78       | 23.51                | 91.64        | 2.38                | 68.50        | -18.75                | 21.19      | 5.88                |
|              | quasi perm |              | 0.00                 |              | 0.00                |              | 0.00                  |            | 0.00                |
| statico Nmax | rara       |              | 24.12                |              | 13.57               |              | 3.02                  |            | 7.85                |
|              | freq.      | 114.78       | 18.09                | 91.64        | 10.18               | 68.50        | 2.27                  | 21.19      | 5.88                |
|              | quasi perm |              | 0.00                 |              | 0.00                |              | 0.00                  |            | 0.00                |
| sisma+       | Nmin       | 233.91       |                      | 104.34       |                     | -25.23       |                       | 48.97      |                     |
|              | Nmax       | 233.91       |                      | 104.34       |                     | -25.23       |                       |            |                     |
| sisma-       | Nmin       | 170.15       |                      | 87.56        |                     | 4.97         |                       | 45.53      |                     |
|              | Nmax       | 170.15       |                      | 87.56        |                     | 4.97         |                       |            |                     |

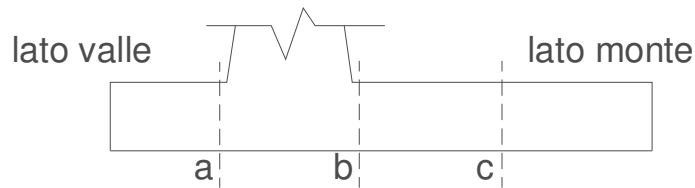
Sollecitazioni massime sui pali

N max           **233.91**  
 N min           **-25.23**  
  
 T max           **48.97**

## 14.2 Verifiche del muro

### Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE



#### Mensola Lato Valle

$$M_a = \sum N_i \cdot (B_1 - d_i) / i_i - PP \cdot (1 \pm kv) \cdot B_1^2 / 2$$

$$T_a = \sum N_i / i_i - PP \cdot (1 \pm kv)$$

$\Sigma$  estesa a tutti i pali presenti sulla mensola

#### Mensola Lato Monte

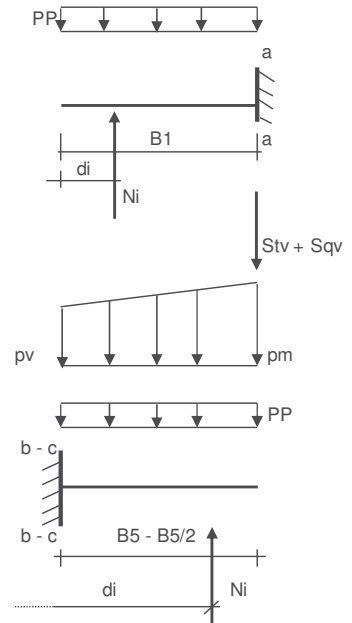
$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B^2 / 2 + p_{vb} \cdot B^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5$$

$$M_c = \sum N_i \cdot (B_5 / 2 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + p_{vc} \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5 / 2$$

$$V_b = \sum N_i / i_i - [PP \cdot B_5 + p_{vb} \cdot B_5 + (p_m - p_{vb}) \cdot B_5] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv)$$

$$V_c = \sum N_i / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2) + p_{vc} \cdot (B_5 / 2) + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv)$$

$\Sigma$  estesa a tutti i pali presenti sulla mensola



|              |     |   |       |                      |
|--------------|-----|---|-------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 22.50 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvc | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |

| caso    | Ma      | Va     | Mb      | Vb      | Mc      | Vc      |
|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m]  | [kNm/m] | [kN/m]  |
| statico | 18.57   | 208.57 | -194.25 | -84.25  | -71.69  | -121.09 |
| sisma+  | 24.81   | 277.64 | -251.13 | -141.80 | -177.31 | -177.31 |
| sisma-  | 17.59   | 200.43 | -180.67 | -87.63  | -118.26 | -118.26 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t\ sism} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{as\ orizz.} \cdot (1 \pm kv) - K_{a\ orizz.}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad o \cdot h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

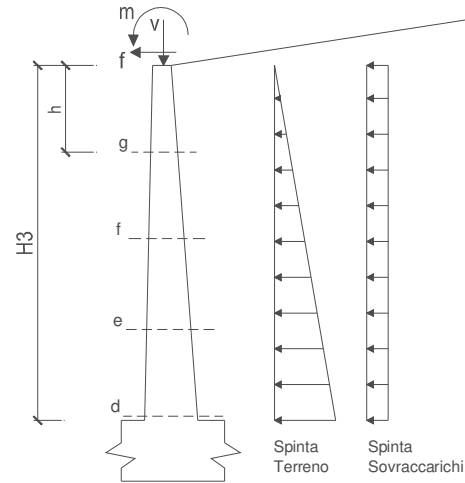
$$V_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t\ sism} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{as\ orizz.} \cdot (1 \pm kv) - K_{a\ orizz.}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a\ orizz.} \cdot q \cdot h$$

$$V_{ext} = f$$

$$V_{inerzia} = \sum P m_i \cdot kh$$



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 126.85  | 95.67   | 0.00             | 222.52           | 0.00             | 84.79           | 84.79            |
| e-e     | 3.83 | 53.52   | 53.81   | 0.00             | 107.33           | 0.00             | 58.45           | 58.45            |
| f-f     | 2.55 | 15.86   | 23.92   | 0.00             | 39.77            | 0.00             | 35.54           | 35.54            |
| g-g     | 1.28 | 1.98    | 5.98    | 0.00             | 7.96             | 0.00             | 16.06           | 16.06            |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 74.62  | 37.52  | 0.00             | 112.14           |
| e-e     | 3.83 | 41.97  | 28.14  | 0.00             | 70.11            |
| f-f     | 2.55 | 18.65  | 18.76  | 0.00             | 37.41            |
| g-g     | 1.28 | 4.66   | 9.38   | 0.00             | 14.04            |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | M <sub>t stat</sub> | M <sub>t sism</sub> | M <sub>q</sub> | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]             | [kNm/m]             | [kNm/m]        | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 97.58               | 92.27               | 0.00           | 0.00             | 35.75                | 225.60           | 0.00             | 92.64                   | 92.64            |
| e-e     | 3.83 | 41.17               | 38.93               | 0.00           | 0.00             | 18.90                | 98.99            | 0.00             | 63.87                   | 63.87            |
| f-f     | 2.55 | 12.20               | 11.53               | 0.00           | 0.00             | 7.86                 | 31.59            | 0.00             | 38.83                   | 38.83            |
| g-g     | 1.28 | 1.52                | 1.44                | 0.00           | 0.00             | 1.83                 | 4.80             | 0.00             | 17.54                   | 17.54            |

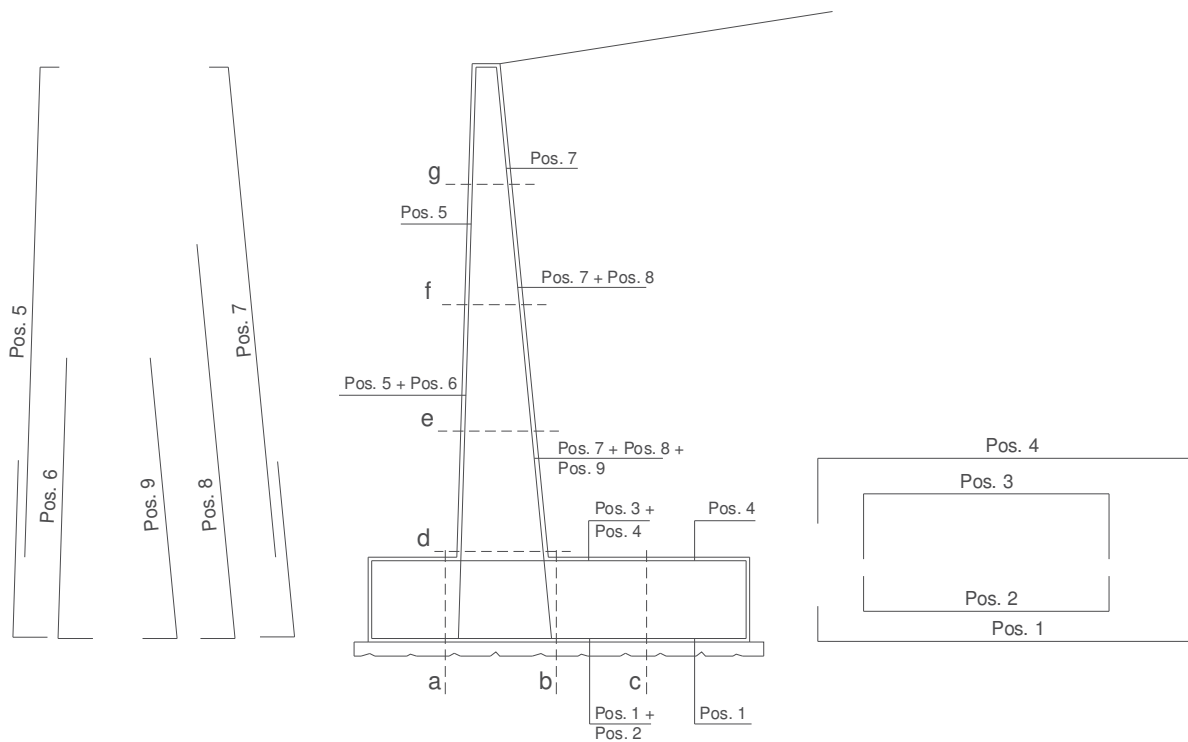
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m]         | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 57.40               | 36.18               | 0.00           | 0.00             | 15.71                | 109.30           |
| e-e     | 3.83 | 32.29               | 20.35               | 0.00           | 0.00             | 10.83                | 63.47            |
| f-f     | 2.55 | 14.35               | 9.05                | 0.00           | 0.00             | 6.59                 | 29.98            |
| g-g     | 1.28 | 3.59                | 2.26                | 0.00           | 0.00             | 2.98                 | 8.82             |

**condizione sismica -**

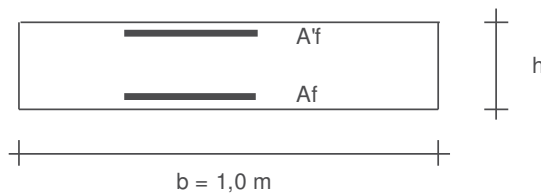
| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 97.58   | 66.67   | 0.00    | 0.00             | 35.75                | 200.00           | 0.00             | 76.93                   | 76.93            |
| e-e     | 3.83 | 41.17   | 28.13   | 0.00    | 0.00             | 18.90                | 88.19            | 0.00             | 53.03                   | 53.03            |
| f-f     | 2.55 | 12.20   | 8.33    | 0.00    | 0.00             | 7.86                 | 28.39            | 0.00             | 32.25                   | 32.25            |
| g-g     | 1.28 | 1.52    | 1.04    | 0.00    | 0.00             | 1.83                 | 4.40             | 0.00             | 14.57                   | 14.57            |

| sezione | h    | Vt stat | Vt sism | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]  | [kN/m]  | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 57.40   | 26.15   | 0.00   | 0.00             | 15.71                | 99.26            |
| e-e     | 3.83 | 32.29   | 14.71   | 0.00   | 0.00             | 10.83                | 57.83            |
| f-f     | 2.55 | 14.35   | 6.54    | 0.00   | 0.00             | 6.59                 | 27.47            |
| g-g     | 1.28 | 3.59    | 1.63    | 0.00   | 0.00             | 2.98                 | 8.20             |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**



**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

---

| <b>Sez.</b> | <b>M</b> | <b>N</b> | <b>h</b> | <b>Af</b>          | <b>A'f</b>         | <b>Mu</b> | <b>Mu/M</b> |
|-------------|----------|----------|----------|--------------------|--------------------|-----------|-------------|
| (-)         | (kNm)    | (kN)     | (m)      | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)     | (-)         |
| a - a       | 24.81    | 0.00     | 0.90     | 7.85               | 15.21              | 261.01    | 10.52       |
| b - b       | -251.13  | 0.00     | 0.90     | 15.21              | 7.85               | 492.12    | 1.96        |
| c - c       | -177.31  | 0.00     | 0.90     | 15.21              | 7.85               | 492.12    | 2.78        |
| d - d       | 225.60   | 92.64    | 0.88     | 25.37              | 12.72              | 813.66    | 3.61        |
| e - e       | 107.33   | 58.45    | 0.77     | 25.37              | 12.72              | 690.65    | 6.43        |
| f - f       | 39.77    | 35.54    | 0.67     | 25.37              | 12.72              | 574.43    | 14.44       |
| g - g       | 7.96     | 16.06    | 0.56     | 19.01              | 12.72              | 360.32    | 45.26       |

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### 14.3 Verifica di stabilità globale

|             | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi$<br>[°] | $c$<br>[kPa] | Descrizione         |
|-------------|----------------------------------|---------------|--------------|---------------------|
| materiale 1 | 20                               | 24.8          | 0            | Coltre superficiale |
| materiale 2 | 26                               | 24.8          | 35.2         | Roccia fratturata   |
| materiale 3 | 26                               | 32.0          | 44           | Roccia integra      |

peso specifico acqua **9.81** [kN/m<sup>3</sup>]

azioni sismiche  $a_g/g$  0.143 (-)  $S_s$  **1.2**  $k_h$  0.0445 (-)  
 $\beta_s$  **0.24**  $S_T$  **1.08**  $k_v$  0.0222 (-)

x muro **100** (m) y muro **100** (m)

| p.c. valle  |         |         | p.c. monte |         |         | superficie 1 |             | superficie 2 |    |             |         |
|-------------|---------|---------|------------|---------|---------|--------------|-------------|--------------|----|-------------|---------|
| materiale 1 |         |         |            |         |         | ☑            | materiale 2 |              | ☑  | materiale 3 |         |
|             | x       | y       |            | x       | y       |              | x           | y            |    | x           | y       |
| 0           | 100.000 | 101.300 | 0          | 101.050 | 106.000 | 0            | 56.500      | 77.600       | 0  | 56.500      | 75.600  |
| 1           | 99.000  | 101.300 | 1          | 108.050 | 106.000 | 1            | 86.500      | 92.600       | 1  | 86.500      | 90.600  |
| 2           | 91.000  | 94.300  | 2          | 144.000 | 126.000 | 2            | 91.000      | 92.800       | 2  | 91.000      | 90.800  |
| 3           | 86.500  | 94.100  | 3          |         |         | 3            | 99.000      | 99.800       | 3  | 99.000      | 97.800  |
| 4           | 56.500  | 79.100  | 4          |         |         | 4            | 100.000     | 99.800       | 4  | 100.000     | 97.800  |
| 5           |         |         | 5          |         |         | 5            | 108.050     | 104.500      | 5  | 108.050     | 102.500 |
| 6           |         |         | 6          |         |         | 6            | 144.000     | 124.500      | 6  | 144.000     | 122.500 |
| 7           |         |         | 7          |         |         | 7            |             |              | 7  |             |         |
| 8           |         |         | 8          |         |         | 8            |             |              | 8  |             |         |
| 9           |         |         | 9          |         |         | 9            |             |              | 9  |             |         |
| 10          |         |         | 10         |         |         | 10           |             |              | 10 |             |         |

#### Sovraccarichi

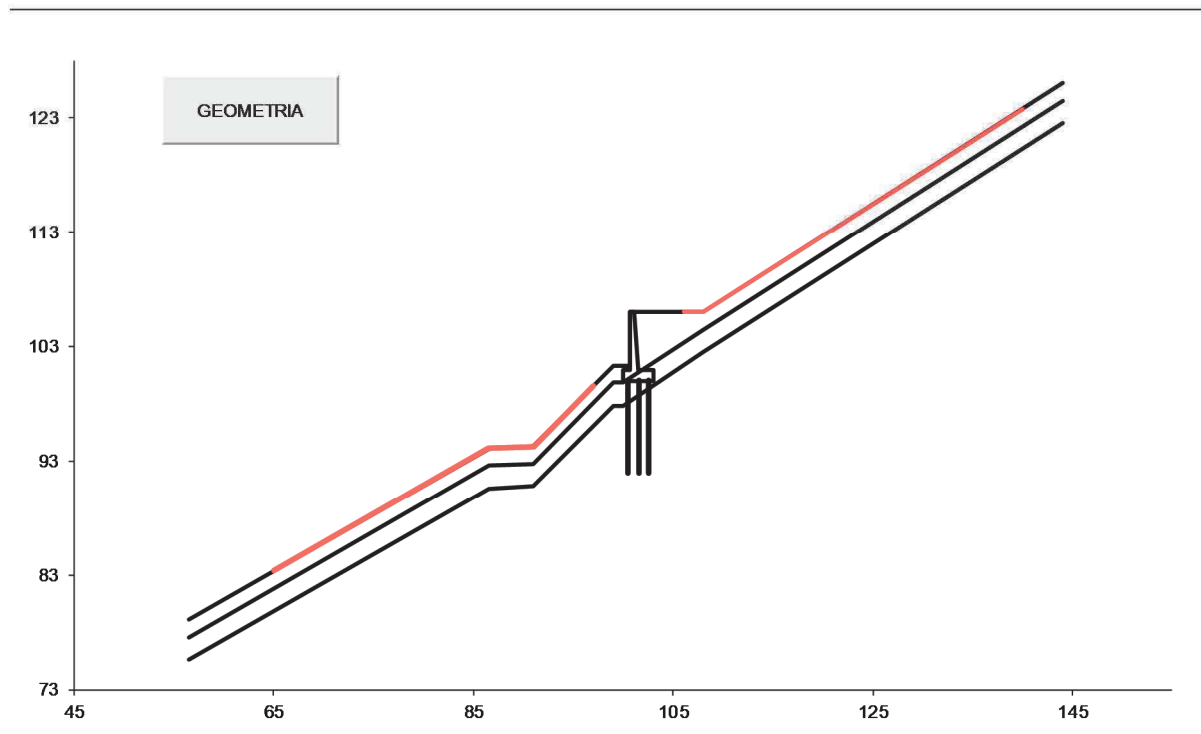
|  | $x_{in}$ | $q_{in}$ | $x_{fin}$ | $q_{fin}$ | % sisma |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------|
| sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/> | 102.050  | 26       | 107.050   | 26        | 38%     |
| sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>            |          |          |           |           |         |

#### Limiti ricerca superfici

|              |               |                    |                                |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>Xa</b> 65 | <b>Xc</b> 106 | <b>alfa min</b> 50 | <b># superfici massimo</b> 968 |
| <b>Xb</b> 97 | <b>Xd</b> 140 | <b>alfa max</b> 80 |                                |
| <b>n1</b> 10 | <b>n2</b> 10  | <b>n alfa</b> 7    |                                |

**Caratteristiche dei pali**

|                             |        |                   |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Lunghezza pali              | 4.00   | m                 |
| Diametro pali               | 0.24   | m                 |
| Rigidezza EI                | 3290   | kN m <sup>2</sup> |
| Momento di plasticizzazione | 84.84  | kN m              |
| Taglio ultimo pali          | 618.00 | kN                |





### 14.3.1 Risultati dell'analisi di stabilità

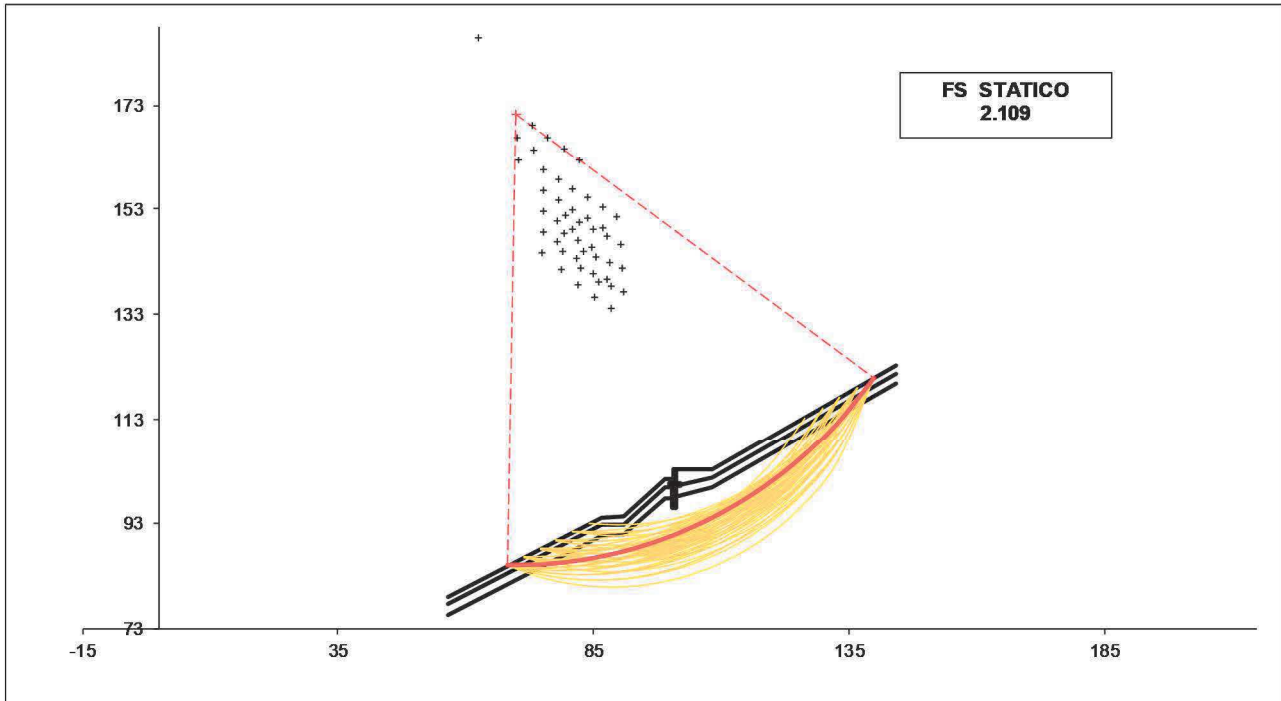
Condizione di Carico

STATICA

# superfici da disegnare

50

DISEGNO



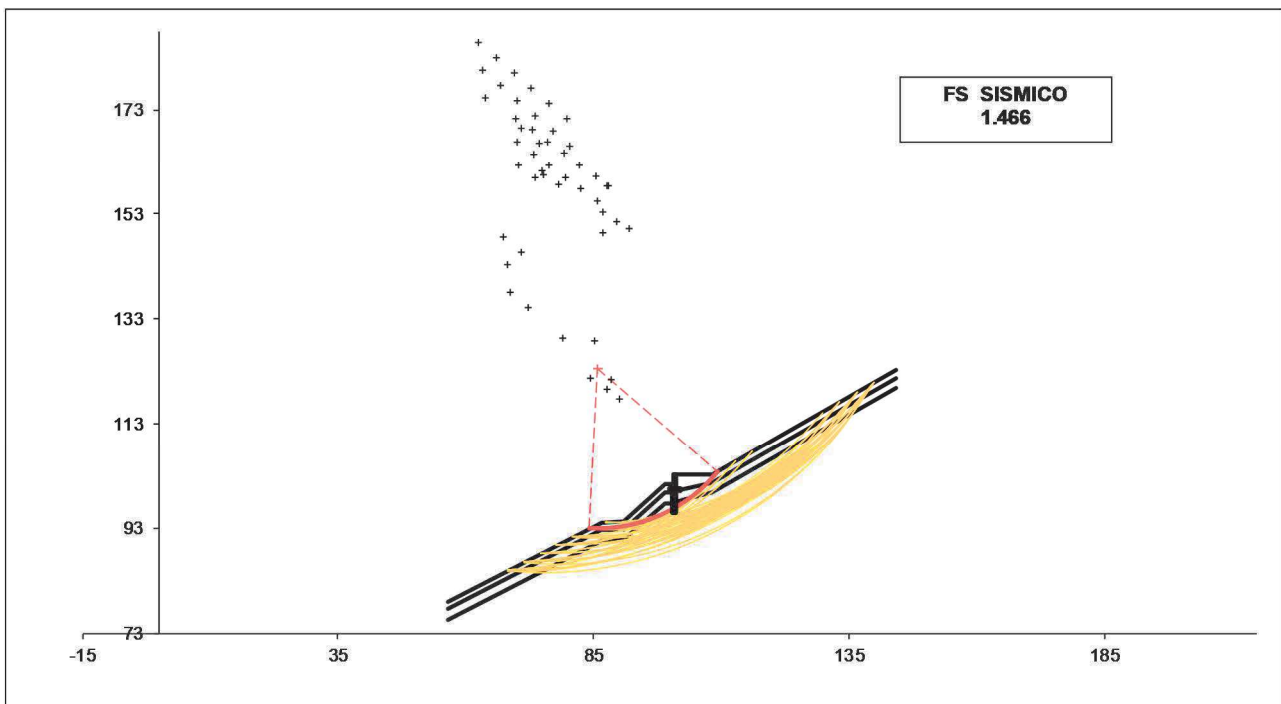
Condizione di Carico

SISMICA

# superfici da disegnare

50

DISEGNO



## 14.4 Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione

### Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0.24 (m)**  
 Lunghezza del micropalo (L): **8.00 (m)**

### Armatura:

|                           |                           |                           |                           |                           |                                       |                             |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> IPE | <input type="radio"/> INP | <input type="radio"/> HEA | <input type="radio"/> HEB | <input type="radio"/> HEM | <input checked="" type="radio"/> Tubi | <input type="radio"/> ALTRO |
| IPE 180                   | INP 160                   | HEA 300                   | HEB 160                   | HEM 200                   | ø168,3 x 10,0                         |                             |

## ø168,3 x 10,0

Area dell'armatura (A<sub>arm</sub>): **4973 (mm<sup>2</sup>)**

Area a taglio (A<sub>taglio</sub>): **(mm<sup>2</sup>)**

Momento di inerzia della sezione di armatura (J<sub>arm</sub>): **1.564E+07 (mm<sup>4</sup>)**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W<sub>arm</sub>): **185 857 (mm<sup>3</sup>)**

Dimensione Armatura (l<sub>arm</sub>): **(mm)**

Tipo di acciaio **S 355 (Fe 510)**

Tensione di snervamento dell'acciaio (f<sub>y</sub>): **355 (N/mm<sup>2</sup>)**

Coefficiente Parziale Acciaio γ<sub>M</sub>: **1.05**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ<sub>lim</sub>): **338 (N/mm<sup>2</sup>)**

Modulo di elasticità dell'acciaio (E<sub>arm</sub>): **210 000 (N/mm<sup>2</sup>)**

### Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **830 (MN/m<sup>3</sup>)**

| coefficienti parziali    |          |                                  | azioni                       |                             | resistenza laterale |                     |
|--------------------------|----------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| Metodo di calcolo        |          |                                  | permanenti<br>γ <sub>G</sub> | variabili<br>γ <sub>Q</sub> | γ <sub>s</sub>      | γ <sub>s</sub> traz |
| SLU                      | A1+M1+R1 | <input type="radio"/>            | 1.30                         | 1.50                        | 1.00                | 1.00                |
|                          | A2+M1+R2 | <input type="radio"/>            | 1.00                         | 1.30                        | 1.45                | 1.60                |
|                          | A1+M1+R3 | <input checked="" type="radio"/> | 1.30                         | 1.50                        | 1.15                | 1.25                |
|                          | SISMA    | <input type="radio"/>            | 1.00                         | 1.00                        | 1.15                | 1.25                |
| DM88                     |          |                                  | <input type="radio"/>        | 1.00                        | 1.00                | 1.00                |
| definiti dal progettista |          |                                  | <input type="radio"/>        | 1.10                        | 1.20                | 1.30                |

| n              | 1                                | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 7                     | ≥10                   | DM88                  | prog.                 |
|----------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ξ <sub>3</sub> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|                | 1.70                             | 1.65                  | 1.60                  | 1.55                  | 1.50                  | 1.45                  | 1.40                  | 1.00                  | 1.00                  |
| ξ <sub>4</sub> | <input type="radio"/>            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|                | 1.70                             | 1.55                  | 1.48                  | 1.42                  | 1.34                  | 1.28                  | 1.21                  | 1.00                  | 1.00                  |

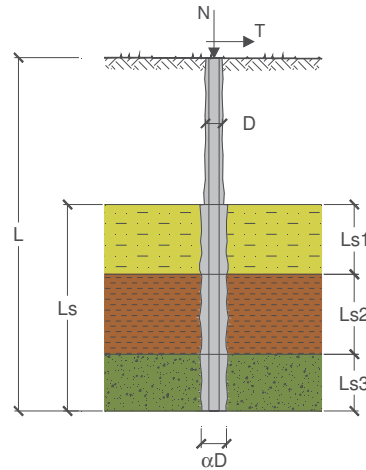
### 14.4.1 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

**Sollecitazioni Agenti:**

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | 484.00  |
| T (kN) |            |            | 83.69   |



#### CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * Ls_i$$

| Tipo di Terreno  | Spessore $Ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha * D$<br>(m) | $s_i$<br>media<br>(MPa) | $s_i$<br>minima<br>(MPa) | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| roccia fessurata | 2.00                   | 1.10            | 0.26                       | 0.150                   | 0.150                    | 0.077                     | 127.27        |
| roccia integra   | 6.00                   | 1.10            | 0.26                       | 0.150                   | 0.150                    | 0.077                     | 381.81        |
|                  |                        |                 | 0.00                       |                         |                          | 0.000                     | 0.00          |

$Ls = 8.00 \text{ (m)}$        $Ql = 509.08 \text{ (kN)}$

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta * Ql$

(consigliato 10-15%)

$\% Punta$

0%

$Qp = 0.00 \text{ (kN)}$

#### CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 509.08 \text{ (kN)}$

#### COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$Fs = Qlim / N \text{ (Fs > 1)}$

$Fs = 1.05$

#### CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k^*D_{arm}$ ):  $139.69 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$Pk = 2 * (\beta * Earm * Jarm)^{0.5}$

$\eta = Pk / N \text{ (consigliato } \eta > 10\text{)}$

$Pk = 42838.76 \text{ (MN)}$

$\eta = 88.51$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = 4 \sqrt{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

**b = 1.973 (1/m)**

Momento Massimo (M):

**M = 21.21 (kNm)**

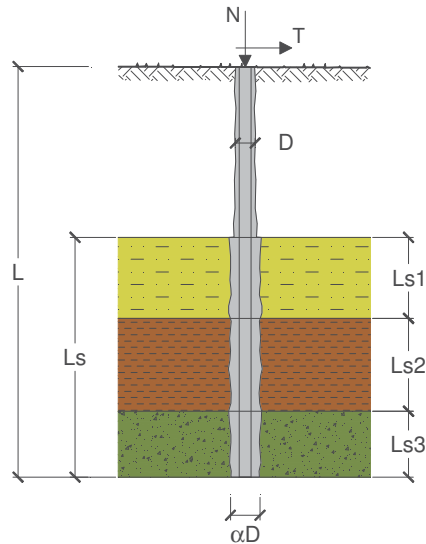
**14.4.2 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Sollecitazioni Agenti:

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | -185.76 |
| T (kN) |            |            | 83.69   |



**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

| Tipo di Terreno  | Spessore $ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$ media<br>(MPa) | $s_i$ minima<br>(MPa) | $s_i$ calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| roccia fessurata | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                | 0.150                 | 0.071                  | 117.09        |
| roccia integra   | 6.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                | 0.150                 | 0.071                  | 351.27        |
|                  |                        |                 | 0.00                           |                      |                       | 0.000                  | 0.00          |

**Ls = 8.00 (m)      Ql = 468.36 (kN)**

**Capacità portante di punta**

**Qp = %Punta \* Ql**

(consigliato 10-15%)

% Punta

0%

**Qp = 0.00 (kN)**

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

**Qlim = Qb + Ql**

**Qlim = 468.36 (kN)**

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

**Fs = Qlim / N (Fs > 1)**

**Fs = 2.52**

**CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{arm}$ ): 139.69 (N/mm<sup>2</sup>)

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$   $\eta = Pk / N$  (consigliato  $\eta > 10$ )

$Pk = 42838.76$  (MN)  $\eta = --$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 1.973$  (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 21.21$  (kNm)

## 14.5 Verifica strutturale del palo

**Calcolo delle caratteristiche meccaniche dei profili tubolari e verifica secondo DM 2008**

|                           |   |        |      |
|---------------------------|---|--------|------|
| Diametro esterno nominale | D | 168.30 | [mm] |
| Spessore nominale         | t | 10.00  | [mm] |
| Diametro interno nominale | d | 148.30 | [mm] |

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

|  |             |      |                    |
|--|-------------|------|--------------------|
| Area della sezione trasversale                       | A           | 49.7 | [cm <sup>2</sup> ] |
| Momento d'inerzia                                    | I           | 1564 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Raggio d'inerzia                                     | i           | 5.61 | [cm]               |
| Modulo di resistenza elastico                        | $W_{el,yy}$ | 186  | [cm <sup>3</sup> ] |
| Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte | $W_{pl,yy}$ | 251  | [cm <sup>3</sup> ] |
| Momento d'inerzia torsionale                         | $I_t$       | 3128 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Modulo di torsione                                   | $C_t$       | 372  | [cm <sup>3</sup> ] |

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

|                                    |                 |        |       |
|------------------------------------|-----------------|--------|-------|
| Valore di snervamento dell'acciaio | $f_{yk}$        | 355    | [MPa] |
| Coefficiente e                     | $\epsilon$      | 0.81   | [-]   |
| <b>Classificazione</b>             |                 |        |       |
| Diametro                           | d               | 168.30 | [mm]  |
| Spessore                           | t               | 10.00  | [mm]  |
| Rapporto tra diametro e spessore   | d/t             | 16.83  | [-]   |
| Classificazione della sezione      | <b>CLASSE 1</b> |        |       |

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$  **84** [kN]  
 $A_v$  **31.7** [cm<sup>2</sup>] Area a taglio  
 $\gamma_{M0}$  **1.05**  
 $V_{c,Rd}$  **618** [kN] Resistenza a taglio del tubo

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad \text{[MPa]} \quad \text{FS} \quad 7.38$$

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  **21** [kNm]  
 $M_{c,Rd}$  **85** [kNm] Resistenza a flessione del tubo FS **4.00**

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - COMPRESSIONE/TRAZIONE**

$N_{Ed}$  **484** [kN]  
 $N_{c,Rd}$  **1681** [kN] Resistenza a compressione/trazione del tubo FS **3.47**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                           |                                 |  |
|---------------------------|---------------------------------|--|
| $V_{SLE}$ <b>84</b> [kN]  | $\tau$ 26 [MPa]                 |  |
| $M_{SLE}$ <b>21</b> [kNm] | $\sigma_M$ 114 [MPa]            |  |
| $N_{SLE}$ <b>484</b> [kN] | $\sigma_N$ 97 [MPa]             |  |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>216</b> [MPa] | ok <span style="float: right;">FS <b>1.56</b></span> |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| $V_{SLE}$ <b>62</b> [kN]  | $\tau$ 20 [MPa]                 |
| $M_{SLE}$ <b>16</b> [kNm] | $\sigma_M$ 85 [MPa]             |
| $N_{SLE}$ <b>359</b> [kN] | $\sigma_N$ 72 [MPa]             |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>160</b> [MPa] |
|                           | ok                              |
| coeff. <b>1.35</b>        | FS <b>2.11</b>                  |

## 15 Allegato C: verifiche nel caso di forza d'urto da traffico veicolare

Di seguito sono riportate le risultanze delle verifiche nel caso di urto da traffico veicolare per le tipologie di muro in esame. Per brevità sono omessi i seguenti paragrafi essendo del tutto uguali alle verifiche riportate nei paragrafi precedenti:

- Geometria muro e fondazione
- Descrizione pali di fondazione
- Materiali utilizzati per la struttura
- Geometria profilo terreno a monte del muro
- Geometria profilo terreno a valle del muro
- Terreno a valle del muro
- Descrizione terreni
- Stratigrafia

| <b>Carichi Agenti</b>      |   |                               |      | <b>valori caratteristici</b>         |        |
|----------------------------|---|-------------------------------|------|--------------------------------------|--------|
|                            |   |                               |      | <b>SLE - sisma</b>                   |        |
|                            |   |                               |      | <b>STR/GEO</b>                       |        |
| <b>Carichi permanenti</b>  | Sovraccarico permanente   | (kN/m <sup>2</sup> )          | qp   | 0.00                                 | 0.00   |
|                            | Sovraccarico su zattera di monte <input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no |                               |      |                                      |        |
|                            | Forza Orizzontale in Testa permanente   | (kN/m)                        | fp   | 0.00                                 | 0.00   |
|                            | Forza Verticale in Testa permanente   | (kN/m)                        | vp   | 0.00                                 | 0.00   |
|                            | Momento in Testa permanente   | (kNm/m)                       | mp   | 0.00                                 | 0.00   |
| <b>Condizioni Statiche</b> | Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche   | (kN/m <sup>2</sup> )          | q    | 0.00                                 | 0.00   |
|                            | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche                                 | (kN/m)                        | f    | 100.00                               | 100.00 |
|                            | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche                                   | (kN/m)                        | v    | 0.00                                 | 0.00   |
|                            | Momento in Testa accidentale in condizioni statiche   | (kNm/m)                       | m    | 100.00                               | 100.00 |
|                            | Coefficienti di combinazione  | condizione frequente $\psi_1$ | 0.75 | condizione quasi permanente $\psi_2$ | 0.00   |
| <b>Condizioni Sismiche</b> | Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche   | (kN/m <sup>2</sup> )          | qs   | 0.00                                 |        |
|                            | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche                                 | (kN/m)                        | fs   | 0.00                                 |        |
|                            | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche                                   | (kN/m)                        | vs   | 0.00                                 |        |
|                            | Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche   | (kNm/m)                       | ms   | 0.00                                 |        |

## 15.1 Muro tipo A

### FORZE VERTICALI

|  |   |        | SLE   | STR/GEO |
|--|---|--------|-------|---------|
| - Peso del Muro (Pm)   |   |        |       |         |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Pm2 =  | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$          | (kN/m) | 48.75 | 48.75   |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 35.00 | 35.00   |
| Pm =   | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                     | (kN/m) | 83.75 | 83.75   |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |       |         |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                | (kN/m) | 30.42 | 30.42   |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 30.42 | 30.42   |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |   |        |       |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0     | 0       |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0     |         |

### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

|   |   |         |       |       |
|---|---|---------|-------|-------|
| - Muro (Mm)   |   |         |       |       |
| Mm1 =   | $Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$                   | (kN/m)  | 0.00  | 0.00  |
| Mm2 =   | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kN/m)  | 47.53 | 47.53 |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kN/m)  | 0.00  | 0.00  |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kN/m)  | 35.00 | 35.00 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$                   | (kN/m)  | 82.53 | 82.53 |
| - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro |   |         |       |       |
| Mt1 =   | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kN/m)  | 50.95 | 50.95 |
| Mt2 =   | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kN/m)  | 0.00  | 0.00  |
| Mt3 =   | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kN/m)  | 0.00  | 0.00  |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kN/m)  | 0.00  | 0.00  |
| Mt =  | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kN/m)  | 50.95 | 50.95 |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |   |         |       |       |
| Sovr acc. Stat  | $\cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$      | (kNm/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sovr acc. Sism  | $\cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$      | (kNm/m) | 0.00  |       |

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

|   |                                |        |  |      |
|---|--------------------------------|--------|--|------|
| - Inerzia del muro (Ps)   |                                |        |  |      |
| Ps h =  | $Pm \cdot kh$                  | (kN/m) |  | 0.00 |
| Ps v =  | $Pm \cdot kv$                  | (kN/m) |  | 0.00 |
| - Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts) |                                |        |  |      |
| Ptsh =  | $Pt \cdot kh$                  | (kN/m) |  | 0.00 |
| Ptsv =  | $Pt \cdot kv$                  | (kN/m) |  | 0.00 |
| - Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h) |                                |        |  |      |
| MPs1 h =  | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2+H3/3)$ | (kN/m) |  | 0.00 |



|         |                                  |        |      |
|---------|----------------------------------|--------|------|
| MPs2 h= | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$ | (kN/m) | 0.00 |
| MPs3 h= | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2+H3/3)$   | (kN/m) | 0.00 |
| MPs4 h= | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$      | (kN/m) | 0.00 |
| MPs h=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$            | (kN/m) | 0.00 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

|         |  |        |      |
|---------|--|--------|------|
| MPs1 v= | $kv \cdot Pm1 \cdot (B1+2/3 \cdot B2)$ | (kN/m) | 0.00 |
| MPs2 v= | $kv \cdot Pm2 \cdot (B1+B2+B3/2)$      | (kN/m) | 0.00 |
| MPs3 v= | $kv \cdot Pm3 \cdot (B1+B2+B3+B4/3)$   | (kN/m) | 0.00 |
| MPs4 v= | $kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$             | (kN/m) | 0.00 |
| MPs v=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$                  | (kN/m) | 0.00 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

|          |                                       |         |      |
|----------|---------------------------------------|---------|------|
| MPts1 h= | $kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$      | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts2 h= | $kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 h= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2+H3^2/3)$      | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$               | (kNm/m) | 0.00 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 v= | $kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$            | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts2 v= | $kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$       | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 v= | $kv \cdot Pt3 \cdot ((H2+H3^2/3)-(B1+B2+B3+2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 0.00 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |  |        | SLE   | STR/GEO |
|-----------|--|--------|-------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$ | (kN/m) | 25.92 | 25.92   |
| Sq perm = | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                          |        |       |       |
|------------|--------------------------|--------|-------|-------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 24.03 | 24.03 |
| Sqh perm = | $perm \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqh acc =  | $Sq \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione statica

|            |                          |        |      |      |
|------------|--------------------------|--------|------|------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 9.71 | 9.71 |
| Sqv perm = | $perm \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Sqv acc =  | $Sq \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |                                       |        | SLE   | STR/GEO |
|-------------|---------------------------------------|--------|-------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$            | (kN/m) | 26.44 | 26.44   |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                         | (kN/m) | 19.42 | 19.42   |
| MSq1 perm = | $Sqh \cdot perm \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSq2 perm = | $Sqv \cdot perm \cdot B$              | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

|            |                                  |        |      |      |
|------------|----------------------------------|--------|------|------|
| MSq1 acc = | $Sqh_{acc} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| MSq2 acc = | $Sqv_{acc} \cdot B$              | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|             |   |         |        |        |
|-------------|---|---------|--------|--------|
| Mfext perm= | $mp + fp \cdot (H3 + H2) + vp \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mfext acc = | $m + f \cdot (H3 + H2) + v \cdot (B1 + B2 + B3/2)$    | (kNm/m) | 430.00 | 430.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

|           |   |        |        |        |
|-----------|---|--------|--------|--------|
| N perm    |   |        |        |        |
| =         | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv_{perm} + Sqv_{acc}$ | (kN/m) | 123.88 | 123.88 |
| N acc min | $v + Sqv_{acc}$                               | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| =         |   |        |        |        |
| N acc max | $v + Sqv_{acc} + q_{acc}$                     | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| =         |   |        |        |        |

Risultante forze orizzontali (T)

|        |                          |        |        |        |
|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
| T perm | $St_h + Sqh_{perm} + fp$ | (kN/m) | 24.03  | 24.03  |
| T acc  | $Sqh_{acc} + f$          | (kN/m) | 100.00 | 100.00 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|               |   |            |         |         |         |
|---------------|---|------------|---------|---------|---------|
| MM perm       | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 126.47  | 126.47  |
| MM acc (Nmin) | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | -430.00 | -430.00 |
| MM acc (Nmax) | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | -430.00 | -430.00 |

**15.1.1 Calcolo delle sollecitazioni**

Risultante forze verticali (Np = N)

Risultante forze orizzontali (Tp = T)

Momento rispetto al baricentro della palificata (Mp)  $Mp = yGp \cdot Np - MM$

*Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata combinazione eccezionale*

| caso    | Np     |        | Mp      |         | Tp     |        |        |
|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
|         | [kN/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |        |
| statico | Nmin   | 123.88 | 0.00    | -2.59   | 430.00 | 24.03  | 100.00 |
|         | Nmax   | 123.88 | 0.00    | -2.59   | 430.00 |        |        |

*Sollecitazioni sui pali combinazione eccezionale*

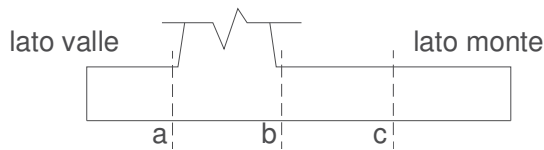
| caso    | N pali all.1 |        | N pali all.2 | T pali |
|---------|--------------|--------|--------------|--------|
|         | [kN]         |        | [kN]         | [kN]   |
| statico | Nmin         | 391.48 | -292.38      | 49.61  |
|         | Nmax         | 391.48 | -292.38      |        |

Sollecitazioni massime sui pali

N max      **391.48**  
 N min      **-292.38**  
  
 T max      **49.61**

**15.1.2 Verifiche del muro**

CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE



Peso Proprio      PP      =      17.50      (kN/m<sup>2</sup>)  
  
                          pm      =      46.80      (kN/m<sup>2</sup>)  
                          pvb      =      46.80      (kN/m<sup>2</sup>)  
                          pvc      =      46.80      (kN/m<sup>2</sup>)

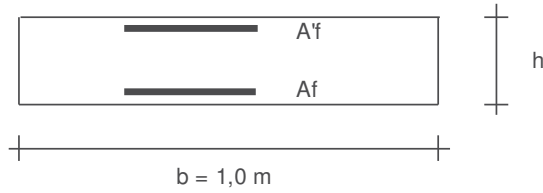
| caso    | Ma      | Va     | Mb      | Vb      | Mc      | Vc     |
|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m]  | [kNm/m] | [kN/m] |
| statico | 45.79   | 478.85 | -74.72  | -416.98 | -6.55   | -30.61 |

**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 12.93   | 0.00    | 360.00           | 372.93           | 0.00             | 48.75           | 48.75            |
| e-e     | 1.95 | 5.45    | 0.00    | 295.00           | 300.45           | 0.00             | 36.56           | 36.56            |
| f-f     | 1.30 | 1.62    | 0.00    | 230.00           | 231.62           | 0.00             | 24.38           | 24.38            |
| g-g     | 0.65 | 0.20    | 0.00    | 165.00           | 165.20           | 0.00             | 12.19           | 12.19            |

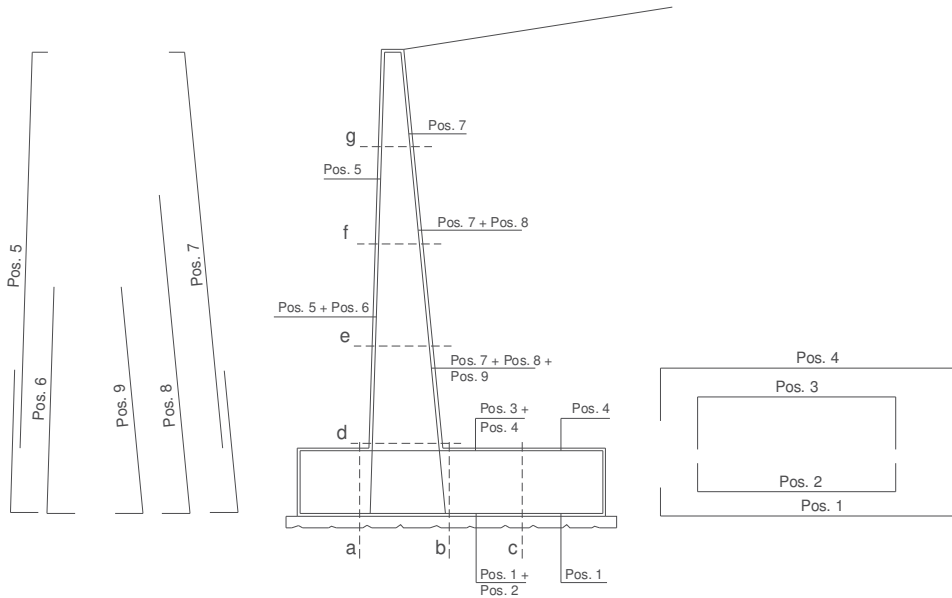
| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 2.60 | 14.92  | 0.00   | 100.00           | 114.92           |
| e-e     | 1.95 | 8.39   | 0.00   | 100.00           | 108.39           |
| f-f     | 1.30 | 3.73   | 0.00   | 100.00           | 103.73           |
| g-g     | 0.65 | 0.93   | 0.00   | 100.00           | 100.93           |

**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

**SCHEMA DELLE ARMATURE**



| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | Mu     | Mu/M |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|--------|------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)  | (-)  |
| a - a | 45.79  | 0.00  | 0.70 | 7.85               | 7.85               | 199.06 | 4.35 |
| b - b | -74.72 | 0.00  | 0.70 | 7.85               | 7.85               | 199.06 | 2.66 |
| c - c | -30.61 | 0.00  | 0.70 | 7.85               | 7.85               | 199.06 | 6.50 |
| d - d | 372.93 | 48.75 | 0.75 | 22.07              | 12.72              | 581.05 | 1.56 |
| e - e | 300.45 | 36.56 | 0.75 | 22.07              | 12.72              | 577.11 | 1.92 |
| f - f | 231.62 | 24.38 | 0.75 | 22.07              | 12.72              | 573.17 | 2.47 |
| g - g | 165.20 | 12.19 | 0.75 | 15.71              | 12.72              | 419.65 | 2.54 |

### 15.1.3 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**Sollecitazioni Agenti:**

|        |        |
|--------|--------|
| N (kN) | 391.48 |
| T (kN) | 49.61  |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

| Tipo di Terreno   | Spessore $ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$<br>(MPa) | $s_i$ | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|---------------|
| roccia fratturata | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81        |
| roccia integra    | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81        |
|                   |                        |                 | 0.00                           |                |       | 0.000                     | 0.00          |

$Ls = 4.00$  (m)       $Ql = 497.63$  (kN)

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$        $Qp = 0.00$  (kN)

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 497.63$  (kN)

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Fs = Qlim / N$  ( $Fs > 2,5$ )

$Fs = 1.27$

**CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{arm}$ ):       $139.69$  (N/mm<sup>2</sup>)

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$

$\eta = Pk / N$  (consigliato  $\eta > 10$ )

$Pk = 42838.76$  (MN)

$\eta = 109.43$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$M = T / (2 \cdot b)$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 1.973$  (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 12.57$  (kNm)

### 15.1.4 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione

**Sollecitazioni Agenti:**

|        |         |
|--------|---------|
| N (kN) | -292.38 |
| T (kN) | 49.61   |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

| Tipo di Terreno   | Spessore $ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$<br>(MPa) | $s_i$ | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|---------------|
| roccia fratturata | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81        |
| roccia integra    | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81        |
|                   |                        |                 | 0.00                           |                |       | 0.000                     | 0.00          |

$Ls = 4.00 \text{ (m)} \qquad Ql = 497.63 \text{ (kN)}$

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta \cdot Ql$

(consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\% \qquad Qp = 0.00 \text{ (kN)}$

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 497.63 \text{ (kN)}$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Fs = Qlim / N \qquad (Fs > 2,5)$

$Fs = 1.70$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$M = T / (2 \cdot b)$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 1.973 \text{ (1/m)}$

Momento Massimo (M):

$M = 12.57 \text{ (kN m)}$

**VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO**

## 15.2 Verifica strutturale del palo

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$  **50** [kN]  
 $A_v$  **31.7** [cm<sup>2</sup>] Area a taglio  
 $\gamma_{MO}$  **1.05**  
 $V_{c,Rd}$  **618** [kN] Resistenza a taglio del tubo

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [MPa] \quad FS \quad 12.46$$

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  **13** [kNm]  
 $M_{c,Rd}$  **85** [kNm] Resistenza a flessione del tubo FS **6.75**

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - COMPRESSIONE/TRAZIONE**

$N_{Ed}$  **391** [kN]  
 $N_{c,Rd}$  **1681** [kN] Resistenza a compressione/trazione del tubo FS **4.29**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                           |                                 |  |
|---------------------------|---------------------------------|--|
| $V_{SLE}$ <b>50</b> [kN]  | $\tau$ 16 [MPa]                 |  |
| $M_{SLE}$ <b>13</b> [kNm] | $\sigma_M$ 68 [MPa]             |  |
| $N_{SLE}$ <b>391</b> [kN] | $\sigma_N$ 79 [MPa]             |  |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>149</b> [MPa] | ok <span style="float: right;">FS <b>2.27</b></span> |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                           |                                 |    |
|---------------------------|---------------------------------|----|
| $V_{SLE}$ <b>37</b> [kN]  | $\tau$ 12 [MPa]                 |    |
| $M_{SLE}$ <b>9</b> [kNm]  | $\sigma_M$ 50 [MPa]             |    |
| $N_{SLE}$ <b>290</b> [kN] | $\sigma_N$ 58 [MPa]             |    |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>110</b> [MPa] | ok |
| coeff. <b>1.35</b>        | FS <b>3.07</b>                  |    |

### 15.3 Muro tipo B

#### FORZE VERTICALI

|  |   |        | SLE    | STR/GEO |
|--|---|--------|--------|---------|
| - Peso del Muro (Pm)   |   |        |        |         |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| Pm2 =  | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$          | (kN/m) | 57.38  | 57.38   |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 27.41  | 27.41   |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 67.50  | 67.50   |
| Pm =   | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                     | (kN/m) | 152.29 | 152.29  |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |        |         |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                | (kN/m) | 139.54 | 139.54  |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) | 19.74  | 19.74   |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 159.27 | 159.27  |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |   |        |        |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0      | 0       |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0      | 0       |

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

|   |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| - Muro (Mm)   |   |         |        |        |
| Mm1 =   | $Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$                   | (kN/m)  | 0.00   | 0.00   |
| Mm2 =   | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kN/m)  | 47.33  | 47.33  |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kN/m)  | 32.71  | 32.71  |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kN/m)  | 101.25 | 101.25 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$                   | (kN/m)  | 181.30 | 181.30 |
| - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro |   |         |        |        |
| Mt1 =   | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kN/m)  | 312.56 | 312.56 |
| Mt2 =   | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kN/m)  | 0.00   | 0.00   |
| Mt3 =   | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kN/m)  | 26.38  | 26.38  |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kN/m)  | 0.00   | 0.00   |
| Mt =  | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kN/m)  | 338.94 | 338.94 |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |   |         |        |        |
| Sovr acc. Stat  | $\cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$      | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| Sovr acc. Sism  | $\cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$      | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |

#### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

|   |                                  |        |  |      |
|---|----------------------------------|--------|--|------|
| - Inerzia del muro (Ps)   |                                  |        |  |      |
| Ps h =  | $Pm \cdot kh$                    | (kN/m) |  | 0.00 |
| Ps v =  | $Pm \cdot kv$                    | (kN/m) |  | 0.00 |
| - Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts) |                                  |        |  |      |
| Ptsh =  | $Pt \cdot kh$                    | (kN/m) |  | 0.00 |
| Ptsv =  | $Pt \cdot kv$                    | (kN/m) |  | 0.00 |
| - Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h) |                                  |        |  |      |
| MPs1 h =  | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2+H3/3)$   | (kN/m) |  | 0.00 |
| MPs2 h =  | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$ | (kN/m) |  | 0.00 |
| MPs3 h =  | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2+H3/3)$   | (kN/m) |  | 0.00 |



|         |                             |        |      |
|---------|-----------------------------|--------|------|
| MPs4 h= | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$ | (kN/m) | 0.00 |
| MPs h=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4$ | (kN/m) | 0.00 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

|         |  |        |      |
|---------|--|--------|------|
| MPs1 v= | $kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$   | (kN/m) | 0.00 |
| MPs2 v= | $kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$      | (kN/m) | 0.00 |
| MPs3 v= | $kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$ | (kN/m) | 0.00 |
| MPs4 v= | $kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$                 | (kN/m) | 0.00 |
| MPs v=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4$                | (kN/m) | 0.00 |

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 h= | $kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$         | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts2 h= | $kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$    | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 h= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                  | (kNm/m) | 0.00 |

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 v= | $kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$                            | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts2 v= | $kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$                       | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 v= | $kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 0.00 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |  |        | SLE   | STR/GEO |
|-----------|--|--------|-------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2 + H3 + H4) \cdot ka$ | (kN/m) | 85.68 | 85.68   |
| Sq perm = | $q \cdot (H2 + H3 + H4) \cdot ka$                | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2 + H3 + H4) \cdot ka$                | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                                     |        |       |       |
|------------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$              | (kN/m) | 79.45 | 79.45 |
| Sqh perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                     |        |       |       |
|------------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$              | (kN/m) | 32.10 | 32.10 |
| Sqv perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   |        | SLE    | STR/GEO |
|-------------|---|--------|--------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2 + H3 + H4)/3)$              | (kN/m) | 158.89 | 158.89  |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                               | (kN/m) | 96.29  | 96.29   |
| MSq1 perm = | $Sqh \text{ perm} \cdot ((H2 + H3 + H4)/2)$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSq2 perm = | $Sqv \text{ perm} \cdot B$                  | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \text{ acc} \cdot ((H2 + H3 + H4)/2)$  | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$                   | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|             |   |         |        |        |
|-------------|---|---------|--------|--------|
| Mfext perm= | $mp + fp*(H3 + H2) + vp*(B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mfext acc = | $m + f*(H3 + H2) + v*(B1 + B2 + B3/2)$    | (kNm/m) | 700.00 | 700.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

|           |   |   |        |        |        |
|-----------|---|---|--------|--------|--------|
| N perm    | = | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv perm + Sqv acc$ | (kN/m) | 343.66 | 343.66 |
| N acc min | = | $v + Sqv acc$                             | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| N acc max | = | $v + Sqv acc + q acc$                     | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |

Risultante forze orizzontali (T)

|        |   |                       |        |        |        |
|--------|---|-----------------------|--------|--------|--------|
| T perm | = | $Sth + Sqh perm + fp$ | (kN/m) | 79.45  | 79.45  |
| T acc  | = | $Sqh acc + f$         | (kN/m) | 100.00 | 100.00 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|               |   |            |         |         |         |
|---------------|---|------------|---------|---------|---------|
| MM perm       | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 457.64  | 457.64  |
| MM acc (Nmin) | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | -700.00 | -700.00 |
| MM acc (Nmax) | = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | -700.00 | -700.00 |

**15.3.1 Calcolo delle sollecitazioni**

Risultante forze verticali (Np = N)

Risultante forze orizzontali (Tp = T)

Momento rispetto al baricentro della palificata (Mp)  $Mp = yGp*Np - MM$

*Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata combinazione eccezionale*

| caso    | Np     |        | Mp      |         | Tp     |        |        |
|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
|         | [kN/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |        |
| statico | Nmin   | 343.66 | 0.00    | 57.85   | 700.00 | 79.45  | 100.00 |
|         | Nmax   | 343.66 | 0.00    | 57.85   | 700.00 |        |        |

*Sollecitazioni sui pali combinazione eccezionale*

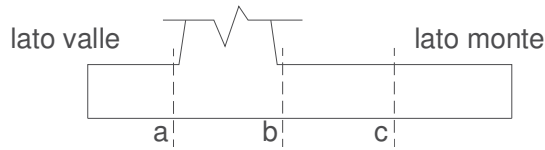
| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 394.78       | 91.64        | -211.50      | 47.85  |      |
|         | Nmax | 394.78       | 91.64        | -211.50      |        |      |

*Sollecitazioni massime sui pali*

|       |                |
|-------|----------------|
| N max | <b>349.78</b>  |
| N min | <b>-211.50</b> |
| T max | <b>47.85</b>   |

### 15.3.2 Verifiche del muro

**CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE**



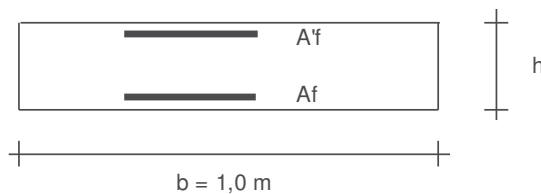
|              |     |   |       |                      |
|--------------|-----|---|-------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 22.50 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvc | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |

| caso    | Ma      | Va     | Mb      | Vb      | Mc      | Vc      |
|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m]  | [kNm/m] | [kN/m]  |
| statico | 45.30   | 479.98 | -448.19 | -355.65 | -126.14 | -383.34 |

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 97.58   | 0.00    | 610.00           | 707.58           | 0.00             | 84.79           | 84.79            |
| e-e     | 3.83 | 41.17   | 0.00    | 482.50           | 523.67           | 0.00             | 58.45           | 58.45            |
| f-f     | 2.55 | 12.20   | 0.00    | 355.00           | 367.20           | 0.00             | 35.54           | 35.54            |
| g-g     | 1.28 | 1.52    | 0.00    | 227.50           | 229.02           | 0.00             | 16.06           | 16.06            |

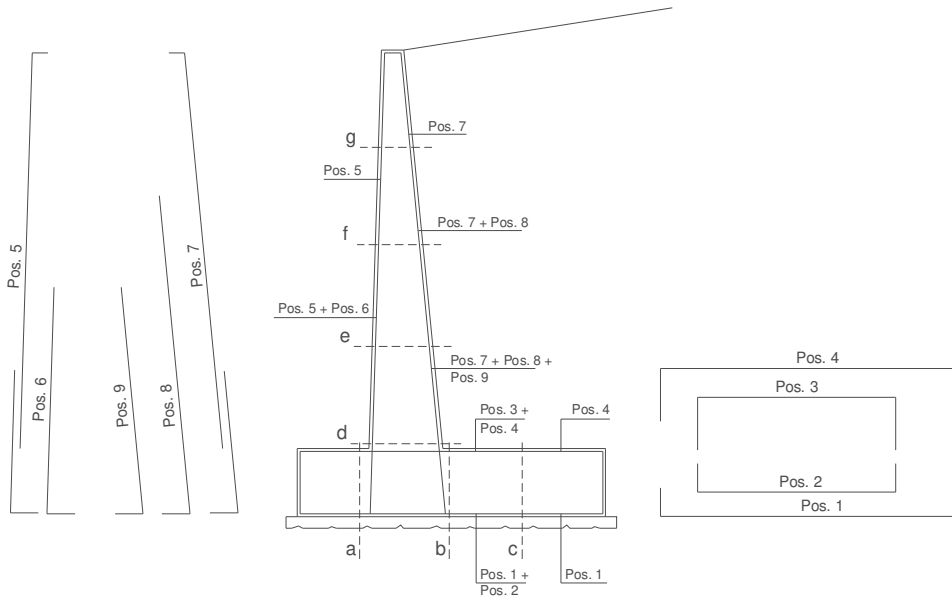
| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 57.40  | 0.00   | 100.00           | 157.40           |
| e-e     | 3.83 | 32.29  | 0.00   | 100.00           | 132.29           |
| f-f     | 2.55 | 14.35  | 0.00   | 100.00           | 114.35           |
| g-g     | 1.28 | 3.59   | 0.00   | 100.00           | 103.59           |

**VERIFICHE**



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-6-7-8-9
- f-f pos 5-7-8
- g-g pos 5-7

**SCHEMA DELLE ARMATURE**



| Sez.  | M       | N     | h    | Af                 | A'f                | Mu     | Mu/M |
|-------|---------|-------|------|--------------------|--------------------|--------|------|
| (-)   | (kNm)   | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)  | (-)  |
| a - a | 45.30   | 0.00  | 0.90 | 7.85               | 15.21              | 261.01 | 5.76 |
| b - b | -448.19 | 0.00  | 0.90 | 15.21              | 7.85               | 492.12 | 1.10 |
| c - c | -126.14 | 0.00  | 0.90 | 15.21              | 7.85               | 492.12 | 3.90 |
| d - d | 707.58  | 84.79 | 0.88 | 25.37              | 12.72              | 810.64 | 1.15 |
| e - e | 523.67  | 58.45 | 0.77 | 25.37              | 12.72              | 690.65 | 1.32 |
| f - f | 367.20  | 35.54 | 0.67 | 25.37              | 12.72              | 574.43 | 1.56 |
| g - g | 229.02  | 16.06 | 0.56 | 19.01              | 12.72              | 360.32 | 1.57 |

### 15.3.3 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**Sollecitazioni Agenti:**

|        |        |
|--------|--------|
| N (kN) | 349.78 |
| T (kN) | 47.85  |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot l_{s_i}$$

| Tipo di Terreno  | Spessore $l_{s_i}$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$<br>(MPa) | $s_i$ | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qs_i$<br>(kN) |
|------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|----------------|
| roccia fessurata | 2.00                      | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81         |
| roccia integra   | 6.00                      | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 746.44         |
|                  |                           |                 | 0.00                           |                |       | 0.000                     | 0.00           |

$Ls = 8.00 \text{ (m)}$        $Ql = 995.26 \text{ (kN)}$

Capacità portante di punta

$Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$        $Qp = 0.00 \text{ (kN)}$

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 995.26 \text{ (kN)}$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Fs = Qlim / N$  ( $Fs > 2,5$ )

$Fs = 2.52$

**CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{arm}$ ):      139.69 (N/mm<sup>2</sup>)

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$

$\eta = Pk / N$  (consigliato  $\eta > 10$ )

$Pk = 42838.76 \text{ (MN)}$

$\eta = 108.51$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$M = T / (2 \cdot b)$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 1.973 \text{ (1/m)}$

Momento Massimo (M):

$M = 12.12 \text{ (kNm)}$

### 15.3.4 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione

**Sollecitazioni Agenti:**

|        |         |
|--------|---------|
| N (kN) | -211.50 |
| T (kN) | 47.85   |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

| Tipo di Terreno         | Spessore $ls_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$<br>(MPa) | $s_i$ | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|-------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|---------------|
| <i>roccia fessurata</i> | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 248.81        |
| <i>roccia integra</i>   | 6.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 746.44        |
|                         |                        |                 | 0.00                           |                |       | 0.000                     | 0.00          |

$Ls = 8.00$  (m)       $Ql = 995.26$  (kN)

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$        $Qp = 0.00$  (kN)

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 995.26$  (kN)

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Fs = Qlim / N$  ( $Fs > 2,5$ )

$Fs = 4.71$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 1.973$  (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 12.12$  (kN m)

### 15.4 Verifica strutturale del palo

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$      48     [kN]  
 $A_v$      31.7     [cm<sup>2</sup>]     Area a taglio  
 $\gamma_{M0}$      1.05  
 $V_{c,Rd}$      618     [kN]     Resistenza a taglio del tubo

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}] \quad \text{FS} \quad 12.91$$

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$      12     [kNm]  
 $M_{c,Rd}$      85     [kNm]     Resistenza a flessione del tubo     FS     7.00

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - COMPRESSIONE/TRAZIONE**

$N_{Ed}$      395     [kN]  
 $N_{c,Rd}$      1681     [kN]     Resistenza a compressione/trazione del tubo     FS     4.26

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                        |                              |                    |
|------------------------|------------------------------|--------------------|
| $V_{SLE}$ 48     [kN]  | $\tau$ 15     [MPa]          |                    |
| $M_{SLE}$ 12     [kNm] | $\sigma_M$ 65     [MPa]      |                    |
| $N_{SLE}$ 395     [kN] | $\sigma_N$ 79     [MPa]      |                    |
|                        | $\sigma_{TOT}$ 147     [MPa] | ok     FS     2.30 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                        |                              |      |
|------------------------|------------------------------|------|
| $V_{SLE}$ 35     [kN]  | $\tau$ 11     [MPa]          |      |
| $M_{SLE}$ 9     [kNm]  | $\sigma_M$ 48     [MPa]      |      |
| $N_{SLE}$ 292     [kN] | $\sigma_N$ 59     [MPa]      |      |
|                        | $\sigma_{TOT}$ 109     [MPa] | ok   |
| coeff.     1.35        | FS                           | 3.11 |

---

## 16 Monitoraggio

È previsto un sistema di monitoraggio delle paratie che consenta di verificare le previsioni progettuali e che permetta di evidenziare eventuali comportamenti anomali in fase esecutiva.

Il monitoraggio di tali opere avverrà attraverso il controllo degli spostamenti orizzontali del cordolo di coronamento in c.a., strumentato con mire ottiche (ubicato ogni 10 m circa), ed in maniera puntuale attraverso la lettura di celle di carico per tiranti, disposte per un numero pari al 10% del numero complessivo dei tiranti in opera.

Questa strumentazione consentirà di realizzare un confronto tra le previsioni di progetto ed il reale comportamento delle opere in fase di scavo, attraverso la costituzione di vere e proprie sezioni di monitoraggio.

Il monitoraggio previsto per l'opera in oggetto dovrà essere costituito dalla seguente strumentazione di controllo:

- mire ottiche solidali con la paratia per il controllo delle deformazioni;
- celle toroidali solidali con i tiranti per il controllo dello stato tensionale dei tiranti;

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle mire ottiche può essere sintetizzato come segue:

- lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo necessario per il fissaggio dei target);
- n.1 lettura al termine di ogni fase di scavo;
- frequenza di lettura settimanale durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura delle celle di carico toroidali sui tiranti può essere sintetizzato come segue:

- taratura e verifica dello strumento durante la fase di installazione con le letture effettuate per ogni incremento di carico previsto (l'installazione della cella potrà inoltre fornire indicazioni sul corretto valore di pre-tiro da utilizzarsi nella fase di messa in opera);
- lettura di zero effettuata subito dopo l'esecuzione del pre-tiro del tirante;
- frequenza di lettura settimanale eseguita durante le fasi di scavo e comunque fino a stabilizzazione dei fenomeni deformativi;



- 
- frequenza di lettura quindicinale/mensile in fase di fermo o al raggiungimento del fondo dello scavo in caso di stabilizzazione dei fenomeni deformativi.

La frequenza delle letture in corso d'opera definite in precedenza potranno subire variazioni in qualsiasi momento a seguito di eventuali anomalie o incrementi del comportamento deformativo delle opere o del raggiungimento dei limiti di attenzione.

Il posizionamento delle mire, è riportato negli elaborati grafici. Il posizionamento delle celle di carico è demandato alla fase esecutiva.

L'esecuzione del monitoraggio è a carico della Direzione dei Lavori.