

**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**

**OM17 – Muro di sottoscarpa da pk 1+140 km a 1+220 km**

**Relazione Geotecnica e di Calcolo**

| CODICE PROGETTO |             |          | NOME FILE       |                  |                 |                 | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-------------|----------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------|--------|
| PROGETTO        | LIV. PROC.  | N. PROG. | T00OM17GETRE01A |                  |                 |                 |           |        |
| DPGE03          | D           | 1701     | CODICE ELAB.    | T00              | OM17            | 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 OM17 da prog. 1+140km a prog. 1+220km**

**Paratia Provvisoria a tergo**

***RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO***

## Sommario

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b><i>Premessa</i></b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>2</b>  | <b><i>Normative</i></b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>3</b>  | <b><i>Bibliografia</i></b> .....                                       | <b>7</b>  |
| <b>4</b>  | <b><i>Materiali utilizzati</i></b> .....                               | <b>9</b>  |
| <b>5</b>  | <b><i>Carpenteria del muro</i></b> .....                               | <b>12</b> |
| <b>6</b>  | <b><i>Analisi dei carichi</i></b> .....                                | <b>14</b> |
| <b>7</b>  | <b><i>Contesto geologico</i></b> .....                                 | <b>14</b> |
| <b>8</b>  | <b><i>Modello geotecnico</i></b> .....                                 | <b>15</b> |
| <b>9</b>  | <b><i>Azione Sismica</i></b> .....                                     | <b>17</b> |
| <b>10</b> | <b><i>Criteri di calcolo</i></b> .....                                 | <b>18</b> |
| <b>11</b> | <b><i>Verifiche strutturali</i></b> .....                              | <b>21</b> |
| <b>12</b> | <b><i>Armatura del Muro</i></b> .....                                  | <b>22</b> |
| <b>13</b> | <b><i>Verifica della forza d’urto da traffico veicolare</i></b> .....  | <b>23</b> |
| <b>14</b> | <b><i>Paratia provvisoria</i></b> .....                                | <b>24</b> |
| 14.1      | <b>Inquadramento e caratteristiche della paratia provvisoria</b> ..... | <b>24</b> |
| 14.2      | <b>Modellazione numerica della paratia provvisoria</b> .....           | <b>25</b> |
| 14.3      | <b>Analisi dei carichi</b> .....                                       | <b>27</b> |
| 14.3.1    | Carichi permanenti.....  | 27        |
| 14.3.2    | Azione sismica.....  | 27        |
| 14.4      | <b>Modello Geometrico della paratia provvisoria</b> .....              | <b>28</b> |
| 14.5      | <b>Tiranti d’ancoraggio</b> .....                                      | <b>28</b> |
| 14.6      | <b>Parametri di calcolo</b> .....                                      | <b>29</b> |
| 14.7      | <b>Verifiche della paratia provvisoria</b> .....                       | <b>30</b> |
| 14.7.1    | Verifiche strutturali della paratia.....                               | 30        |
| 14.7.2    | Verifica dei tiranti.....  | 30        |
| 14.7.3    | Verifica della trave di ripartizione.....                              | 34        |
| 14.8      | <b>Analisi di stabilità del pendio</b> .....                           | <b>36</b> |
| 14.8.1    | Analisi di stabilità globale.....                                      | 40        |
| <b>15</b> | <b><i>Allegato A: verifica del muro tipo A</i></b> .....               | <b>47</b> |
| 15.1      | <b>Calcolo delle sollecitazioni</b> .....                              | <b>53</b> |
| 15.2      | <b>Verifiche del muro</b> .....  | <b>55</b> |
| 15.3      | <b>Verifica di stabilità globale</b> .....                             | <b>59</b> |
| 15.3.1    | Risultati dell’analisi di stabilità.....                               | 61        |

---

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>15.4</b> | <b>Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione.....</b>                    | <b>62</b>  |
| 15.4.1      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 63         |
| 15.4.2      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....                     | 64         |
| <b>15.5</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>   | <b>66</b>  |
| <b>16</b>   | <b><i>Allegato B: verifica del muro tipo B.....</i></b>                                  | <b>68</b>  |
| <b>16.1</b> | <b>Calcolo delle sollecitazioni.....</b>   | <b>74</b>  |
| <b>16.2</b> | <b>Verifiche del muro .....</b>  | <b>76</b>  |
| <b>16.3</b> | <b>Verifica di stabilità globale .....</b>   | <b>80</b>  |
| 16.3.1      | Risultati dell'analisi di stabilità .....  | 82         |
| <b>16.4</b> | <b>Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione.....</b>                    | <b>83</b>  |
| 16.4.1      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 84         |
| 16.4.2      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....                     | 85         |
| <b>16.5</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>   | <b>87</b>  |
| <b>17</b>   | <b><i>Allegato C: verifica del muro tipo C.....</i></b>                                  | <b>89</b>  |
| <b>17.1</b> | <b>Calcolo delle sollecitazioni.....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>17.2</b> | <b>Verifiche del muro .....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>17.3</b> | <b>Verifica di stabilità globale .....</b>   | <b>101</b> |
| 17.3.1      | Risultati dell'analisi di stabilità .....  | 103        |
| <b>17.4</b> | <b>Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione.....</b>                    | <b>104</b> |
| 17.4.1      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 105        |
| 17.4.2      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....                     | 106        |
| <b>17.5</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>   | <b>107</b> |
| <b>18</b>   | <b><i>Allegato D: verifiche nel caso di forza d'urto da traffico veicolare .....</i></b> | <b>109</b> |
| <b>18.1</b> | <b>Muro tipo A.....</b>  | <b>110</b> |
| 18.1.1      | Calcolo delle sollecitazioni.....  | 112        |
| 18.1.2      | Verifiche del muro .....   | 113        |
| 18.1.3      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione.....                  | 115        |
| 18.1.4      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....                     | 116        |
| <b>18.2</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>   | <b>117</b> |
| <b>18.3</b> | <b>Muro tipo B.....</b>  | <b>118</b> |
| 18.3.1      | Calcolo delle sollecitazioni.....  | 120        |

---

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 18.3.2      | Verifiche del muro .....  | 121        |
| 18.3.3      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione .....  | 122        |
| 18.3.4      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....      | 123        |
| <b>18.4</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>                                | <b>125</b> |
| <b>18.5</b> | <b>Muro tipo C.....</b>   | <b>126</b> |
| 18.5.1      | Calcolo delle sollecitazioni.....   | 128        |
| 18.5.2      | Verifiche del muro .....  | 129        |
| 18.5.3      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione .....  | 130        |
| 18.5.4      | Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione .....      | 131        |
| <b>18.6</b> | <b>Verifica strutturale del palo .....</b>                                | <b>133</b> |
| <b>19</b>   | <b><i>Allegato E: verifica paratia provvisoria – Sezione I .....</i></b>  | <b>134</b> |
| 19.1        | Sollecitazioni agenti sui pali.....                                       | 134        |
| 19.2        | Verifica strutturale dei pali.....  | 138        |
| 19.3        | Verifica degli spostamenti orizzontali .....                              | 139        |
| <b>20</b>   | <b><i>Allegato F: verifica paratia provvisoria – Sezione II .....</i></b> | <b>140</b> |
| 20.1        | Sollecitazioni agenti sui pali.....                                       | 140        |
| 20.2        | Verifica strutturale dei pali.....  | 144        |
| 20.3        | Verifica degli spostamenti orizzontali .....                              | 145        |
| <b>21</b>   | <b>Monitoraggio.....</b>  | <b>146</b> |

---

## 1 Premessa

La presente relazione ha per oggetto il calcolo strutturale del muro in c.a. da prog. 1+140.00 a prog. 1+220.00, 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 1+140.00, con un'altezza di 8.89 m, e termina al km 1+220.00, con un'altezza di 5.63 m. Complessivamente, l'opera misura 78.20 m circa, e raggiunge un'altezza massima totale (paramento e fondazione) di 10.02 m.

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

Per consentire l'esecuzione dell'opera di sostegno, in presenza di circolazione sulla S.S. 45, dove necessario, è realizzata una paratia di mediopali multiritirata, che consente di operare gli scavi di sbancamento fino a quota del piano di posa della fondazione del muro proteggendo l'attuale corpo stradale. La paratia è pertanto ubicata nella carreggiata lato valle dell'attuale tratto stradale a tergo del muro, e durante l'esecuzione sia di questa sia del muro, si avrà circolazione di traffico a senso unico alternato.

L'opera provvisoria è eseguita mediante mediopali  $\Phi 400$ , passo 0.60 m, armati con armatura tubolare in acciaio, di diametro  $\Phi 273$  mm, spessore 7.10 mm. I pali sono lunghi fino a 12.00 m. Vi sono al più due ordini di tiranti inclinati  $20^\circ$  sull'orizzontale, a n. 3 trefoli.

Succeivamente all'esecuzione del muro, lo spazio tra il paramento del muro e la paratia sarà ritombato con terreno da rilevato, dalla quota del piano di fondazione del muro fino alla quota del piano di posa del pacchetto stradale.

---

## 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";

### 3 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.   | Pubblicamento           | 2011        |
| Aicap   | Commentario alle norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008 - Costruzioni in Calcestruzzo, Costruzioni composte in acciaio-calcestruzzo. | Pubblicamento           | 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</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        |

## 4 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 ,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 e cordolo testa pali:

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

**Acciaio per armatura pali di medio diametro e travi di ripartizione:**S235H – Profilo a sezione cava laminato a caldo con spessore  $t \leq 40$  mm

UNI EN 10025 – 2

- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 360 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 235 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione di snervamento di calcolo:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 204 \frac{N}{mm^2}$

**Acciaio per tiranti in trefoli**

- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{ptk} \geq 1800 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione caratteristica in corrispondenza dell'1% di deformazione sotto carico:

$$f_{p(1)k} \geq 1600 \frac{N}{mm^2}$$

Copriferro trave di testata e pannello di rivestimento 5 cmCopriferro Pali di medio diametro 6 cm**Acciaio per armature paratie provvisionali:**S275 – Profilo a sezione cava laminato a caldo con spessore  $t \leq 40$  mm

- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 430 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 275 \frac{N}{mm^2}$
- Tensione di snervamento di calcolo:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 239 \frac{N}{mm^2}$

## 5 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.

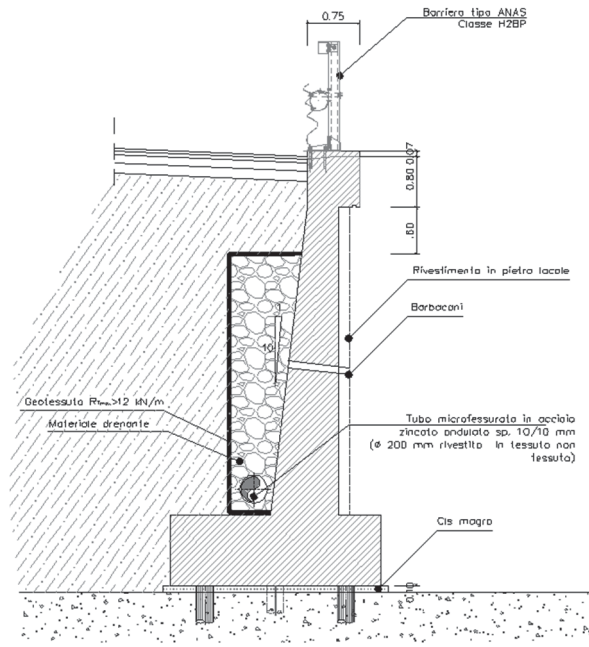


Figura 1: sezione tipologica del muro

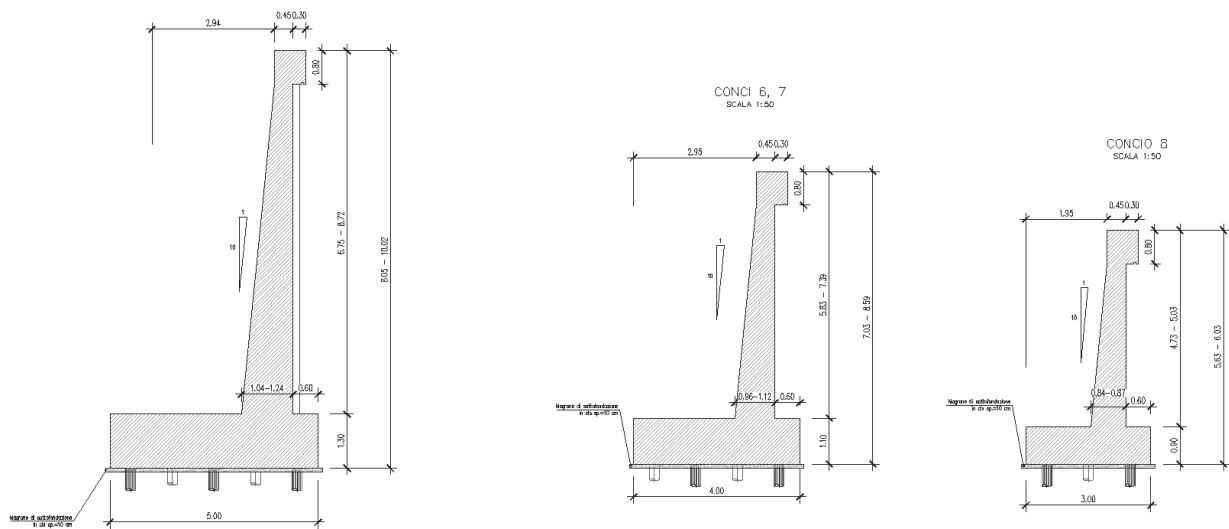


Figura 2: carpenteria del muro

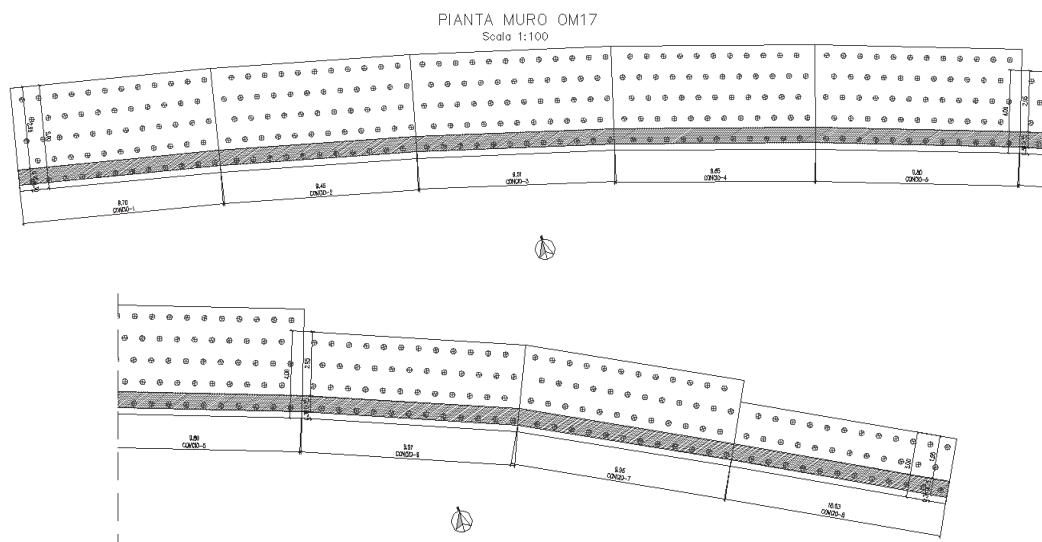


Figura 3: pianta del muro

Il cordolo di sommità è largo 0.75 m, per tutto lo sviluppo del muro. Questo è, infatti, munito di una mensola esterna di 0.30 m di spessore e 0.80 m di altezza, pensata per consentire l'intallazione 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%.

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 rispettivamente cod.: T00OM17GETDC01A e T00OM17GETDI01A)

| Conci di applicazione | Tipologia | Altezza min del muro<br>[m] | Altezza max del muro<br>[m] | Altezza della piastra di fondazione<br>[m] | Larghezza della piastra di fondazione<br>[m] | Lunghezza Micropali di Fondazione<br>[m] |
|-----------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| 8                     | A         | 5.63                        | 6.03                        | 0.90                                       | 3.00   | 8  |
| 6, 7                  | B         | 7.03                        | 8.59                        | 1.10                                       | 4.00   | 8  |
| Da 1 a 5              | C         | 8.05                        | 10.02                       | 1.30                                       | 5.00   | 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. Stante tale disposizione, dal calcolo è risultato che per altezze di paramento superiori a 9m la lunghezza dei micropali cresce da 8 m a 11 m. I micropali sono iniettati secondo il metodo IGU – Iniezione Globale Unica, stante il loro ammorsamento nel massivo calcareo descritto nei paragrafi inerenti il sito fondale.

## 6 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".

## 7 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.

## 8 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.

## 9 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

---

## 10 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 | $\xi_3=1,70$ | $\xi_4=1,70$ |
|------------------------------|---|--------------|--------------|

## 11 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 D: 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.

## 12 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>8</b>     | 0.90x3.00                    | ϕ20/40                           | ϕ22/25                           | ϕ18/20                                     | ϕ20/20+ ϕ18/40                                  |
| <b>6, 7</b>  | 1.10x4.00                    | ϕ20/40                           | ϕ22/20+ ϕ18/50                   | ϕ20/20+ ϕ18/40                             | ϕ24/20+ ϕ24/40                                  |
| <b>1 - 5</b> | 1.30x5.00                    | ϕ24/40                           | ϕ24/20+ ϕ24/20                   | ϕ20/20+ ϕ18/40                             | ϕ24/20+ ϕ24/40                                  |

*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.

---

## 13 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.



## 14 Paratia provvisoria

### 14.1 Inquadramento e caratteristiche della paratia provvisoria

La paratia in questione viene realizzata per consentire l'esecuzione dell'opera di sostegno in presenza di circolazione sulla S.S. 45. Viene realizzata una paratia di mediopali multitirantata, che consente di operare gli scavi di sbancamento fino a quota del piano di posa della fondazione del muro proteggendo l'attuale corpo stradale.

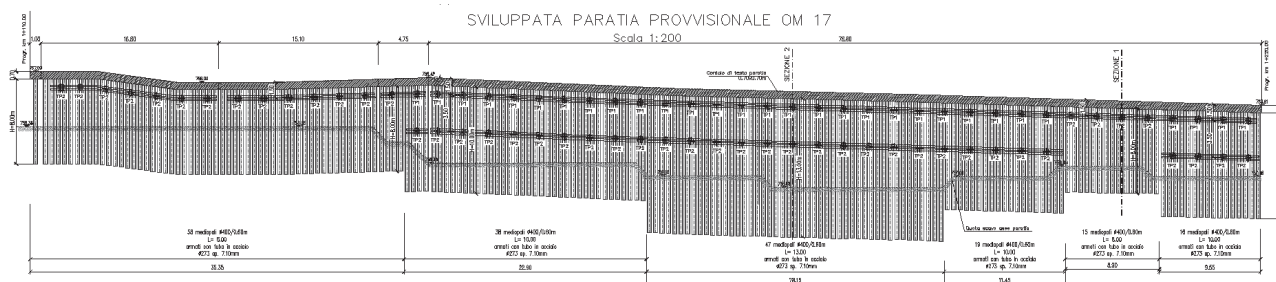


Figura 3: sviluppata paratia provvisoria

L'opera provvisoria è eseguita mediante mediopali  $\Phi 400$ , passo 0.60 m, armati con armatura tubolare in acciaio, di diametro  $\Phi 273$  mm, spessore 7.10 mm. I pali sono lunghi fino a 13.00 m. Vi sono al più due ordini di tiranti inclinati  $20^\circ$  sull'orizzontale, a n. 3 trefoli.

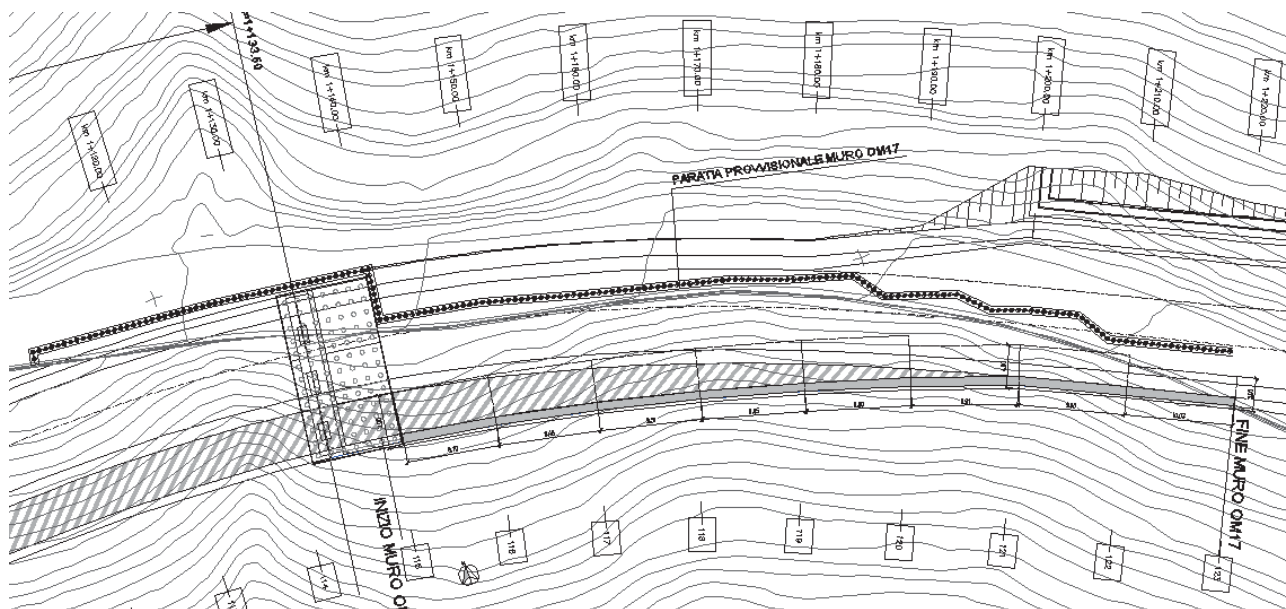


Figura 4 Planimetria d'intervento

Per quanto riguarda le travi di ripartizione è previsto l'impiego di 2HEB 160.

---

## **14.2 Modellazione numerica della paratia provvisoria**

Le analisi per la valutazione delle sollecitazioni negli elementi resistenti sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo *Paratie Plus 2011* (v. 8.191).

In tale codice la schematizzazione dell'interazione tra paratia e terreno avviene considerando:

- la paratia come una serie di elementi il cui comportamento è caratterizzato dalla rigidità flessionale EJ,
- il terreno come una serie di molle di tipo elasto-plastico connesse ai nodi della paratia.

Questo modello numerico consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle configurazioni di carico, delle fasi esecutive e di esercizio. Nel caso in esame, in una generica fase di calcolo dell'analisi d'interazione tra paratia e terreno la soluzione viene a dipendere dal percorso tensio-deformativo seguito dagli elementi schematizzanti il terreno nelle fasi precedenti; dalle variazioni di spinta o reazione del terreno indotte dalla progressione degli scavi, dall'inserimento di tiranti, dalle variazioni delle condizioni idrostatiche e di sovraccarico, etc.

La legge costitutiva, rappresentativa del comportamento elasto-plastico del terreno, è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta del terreno sono:

- il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , corrispondente alla condizione iniziale indeformata per terreni normalconsolidati, calcolato mediante l'espressione  $K_0 = 1 - \sin \varphi'$ ;
- i coefficienti di spinta attiva  $K_A$  e passiva  $K_P$ , corrispondenti alle condizioni di equilibrio limite attivo e passivo, calcolati rispettivamente mediante le espressioni di Coulomb e Caquot e Kerisel, tenendo conto di un angolo di attrito tra terreno e paratia pari a 0,5 dell'angolo di attrito del terreno stesso. Il coefficiente di spinta passiva non è ridotto in ingresso mediante coefficienti di sicurezza, ma la parte infissa della paratia viene dimensionata in tutti i casi in modo da garantire che il valore di spinta passiva mobilitata a valle della stessa non superi il 60 % del valore totale di spinta mobilitabile.

I parametri di deformabilità del terreno sono assegnati sulla base dei valori di modulo di Young (E) dei vari strati, tenendo conto della diversa rigidità in fase di carico vergine oppure di scarico e ricarico. In particolare il modulo di ricarico è assunto pari al doppio del modulo vergine.

Nella Tabella 6 Fasi di calcolo è riportata la successione tipica delle fasi di modellazione eseguita per l'analisi delle strutture di sostegno:

| FASE | DESCRIZIONE   |
|------|---|
| 0    | Condizione iniziale geostatica e consolidamento scarpata con chiodatura |
| 1    | Realizzazione paratia   |
| 2    | I fase di scavo   |
| 3*   | Applicazione del I ordine di tiranti/puntoni                            |
| 4*   | II fase di scavo  |
| 5*   | Applicazione del II ordine di tiranti/puntoni                           |
| 6*   | Ultima fase di scavo  |
| 7    | Applicazione delle azioni sismiche                                      |

Tabella 6 Fasi di calcolo (\* fasi presenti solo se previste in funzione del numero di tiranti della paratia)

Nelle verifiche sismiche le azioni generate dal sisma ed agenti in direzione orizzontale sulla struttura sono considerate come un incremento di spinta dovuto al terreno a tergo della berlinese  $\Delta F = F_s - F$ , dove:

– F rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni statiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni di equilibrio limite attivo e fornita dall'espressione:

$$\sigma_h = K_a \sigma_{v0} - 2 c (K_a)^{0.5}$$

–  $F_s$  rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni sismiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni sismiche e fornita dall'espressione:

$$\sigma_{hs} = K_{as} \sigma_{v0} - 2 c (K_{as})^{0.5}$$

Nelle due espressioni i simboli rappresentano:

$\sigma_{v0} = \gamma z$  = tensione verticale

c = coesione

$K_a, K_{as}$  = rispettivamente coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche (calcolato con il metodo di Coulomb) e sismico (calcolato con il metodo di Mononobe-Okabe).

Nelle verifiche effettuate, l'incremento di spinta  $\Delta F$  così calcolato è applicato a tergo della paratia come una pressione orizzontale con andamento uniforme sull'altezza

della paratia (a vantaggio di sicurezza).

### 14.3 Analisi dei carichi

#### 14.3.1 Carichi permanenti

I carichi permanenti sono rappresentati dai pesi propri definiti nei paragrafi relativi per i terreni.

#### 14.3.2 Azione sismica

Essendo un'opera provvisoria, a favore di sicurezza, è stato valutato un sisma ridotto a 2 anni secondo le formulazioni riportate nella norma EN 1998 parte 2 – Annesso A:

$$\frac{a_{gc}}{a_{g,R}} = \left( \frac{T_{Rc}}{T_{NCR}} \right)^k$$

Ponendo:

$$t_c = 2 \text{ anni}$$

$$T_{Rc} = t_c / p = 2 / 0.1 = 20 \text{ anni}$$

$$T_{NCR} = 475 \text{ anni}$$

$$a_{g,R} = 0.096$$

risulta:  $a_{gc} = 0.037$

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           |
| Tempo di ritorno                             | $T_R =$ | 20 anni        |

### 14.4 Modello Geometrico della paratia provvisoria

Nella tabella sottostante sono riportate le sezioni di calcolo relative l'opera oggetto della presente relazione. Per ogni sezione i pali hanno diametro  $\Phi 400$ , passo 0.60 m, armati con profilo tubolare in acciaio, di diametro  $\Phi 273$  mm, spessore 10 mm.

| Sezioni di Calcolo                            | udm | Sezione I | Sezione II |
|---|-----|-----------|------------|
| Progressiva                                   | [m] | 1+213.30  | 1+182.10   |
| Numero tiranti                                | [-] | 1         | 2          |
| Altezza totale paratia                        | [m] | 8.00      | 13.00      |
| Lunghezza del tratto fuori terra              | [m] | 5.50      | 8.00       |
| Lunghezza del tratto di infissione di calcolo | [m] | 2.50      | 5.00       |

Tabella 7 Caratteristiche delle sezioni di calcolo

### 14.5 Tiranti d'ancoraggio

Si riportano le caratteristiche geometriche e meccaniche dei tiranti di ancoraggio adottati per gli schemi di calcolo considerati. Per tutta l'estensione della paratia, questi sono disposti con un interasse di 2.4 m.

| Quota di infissione | Inclinazione verticale | Numero Trefoli | Tiro iniziale | Tiro max in esercizio (comb. A1+M1+R3) | Tiro in esercizio in cond. statiche (SLE) | Tiro in cond. sismiche (SLV) | Lunghezza Libera | Lunghezza fondazione | Lunghezza totale |
|---------------------|------------------------|----------------|---------------|--|---|------------------------------|------------------|----------------------|------------------|
| [m]                 | [°]                    | [-]            | [kN]          | [kN]                                   | [kN]                                      | [kN]                         | [m]              | [m]                  | [m]              |
| -1,5                | 20                     | 3              | 240.0         | 312.0                                  | 240.0                                     | 240.0                        | 6.00             | 6.00                 | 12.00            |

Tabella 8: caratteristiche tiranti Sezione I

| Quota di infissione | Inclinazione verticale | Numero Trefoli | Tiro iniziale | Tiro max in esercizio (comb. A1+M1+R3) | Tiro in esercizio in cond. statiche (SLE) | Tiro in cond. sismiche (SLV) | Lunghezza Libera | Lunghezza fondazione | Lunghezza totale |
|---------------------|------------------------|----------------|---------------|--|---|------------------------------|------------------|----------------------|------------------|
| [m]                 | [°]                    | [-]            | [kN]          | [kN]                                   | [kN]                                      | [kN]                         | [m]              | [m]                  | [m]              |
| -1,5                | 20                     | 3              | 240.0         | 312.0                                  | 240.0                                     | 240.07                       | 7.00             | 6.00                 | 13.00            |
| -4.0                | 20                     | 3              | 240.0         | 312.10                                 | 240.07                                    | 240.10                       | 6.00             | 6.00                 | 12.00            |

Tabella 9: caratteristiche tiranti Sezione II

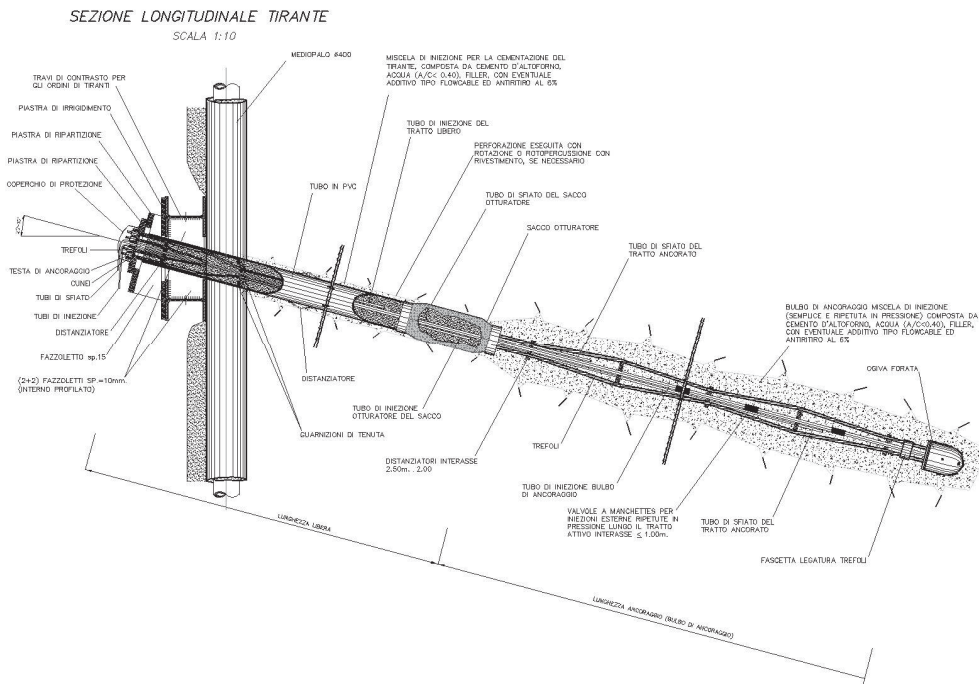


Figura 4: Sezione longitudinale tirante

### 14.6 Parametri di calcolo

Nella modellazione è stata riprodotta la stratificazione delle formazioni in sito, con le seguenti caratteristiche di resistenza e deformabilità:

| Litotipo                   | $\gamma$             | $\phi'$ | $c'$  | $E_{cv}$ | $E_{ur}$ | $k_A$ | $k_P$ |
|----------------------------|----------------------|---------|-------|----------|----------|-------|-------|
|                            | (kN/m <sup>3</sup> ) | (deg)   | (kPa) | (MPa)    | (MPa)    | (-)   | (-)   |
| <b>Coltre superficiale</b> | 18                   | 30      | 0     | 20       | 180      | 0.291 | 4.622 |
| <b>Roccia Fratturata</b>   | 26                   | 30      | 44    | 280      | 840      | 0.291 | 4.622 |
| <b>Roccia</b>              | 26                   | 38      | 55    | 350      | 1050     | 0.205 | 8.273 |

Tabella 10 Caratteristiche meccaniche dei litotipi utilizzati nel modello di calcolo

## 14.7 Verifiche della paratia provvisoria

### 14.7.1 Verifiche strutturali della paratia

Negli allegati "Allegato E: verifica paratia provvisoria – Sezione I" e "Allegato F: verifica paratia provvisoria – Sezione II" sono riportati i risultati integrali dell'analisi condotta con il programma di calcolo, corredati d'informazioni numeriche e diagrammi. Di seguito, invece, sono riportate le principali verifiche dei tiranti e della trave di ripartizione.

### 14.7.2 Verifica dei tiranti

I tiranti attivi sono stati verificati nei riguardi del dimensionamento della lunghezza libera, della lunghezza della fondazione e della verifica strutturale dell'armatura.

#### 14.7.2.1 Dimensionamento della lunghezza libera del tirante

La lunghezza libera dei tiranti ( $L_{libera}$ ) è stata definita dall'intersezione del tirante con un piano, inclinato di  $(45^\circ + \phi/2)$  rispetto alla verticale, passante per un punto (punto C) posto a una distanza di  $0,20h$  al disopra della punta della paratia. Valgono le seguenti espressioni:

$$L_{libera\_statica} = h' + d$$

$$h' = 0,20h / \cos(45^\circ - \alpha - \phi/2)$$

$$d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \phi/2) / \sin(45^\circ + \alpha + \phi/2)$$

dove:  $h$  = altezza fuori terra della paratia

$\alpha$  = inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale

$t$  = infissione della paratia

$h_i$  = profondità del tirante

Considerando la stratigrafia di progetto, l'angolo di attrito scelto per il dimensionamento in essere è determinato mediante media pesata in funzione dello spessore delle varie formazioni interessate.

Ai sensi del paragrafo 7.11.6.4 delle NTC18, Sistemi di Vincolo, la  $L_{libera}$  va incrementata per un coefficiente secondo la seguente espressione:

$$L_{libera \text{ cond. sismica}} = L_{libera \text{ cond. statica}} (1 + 1.5 \cdot a_{max}/g)$$

dove, nel caso in essere,  $a_{max}/g$  è pari a 0.185 allo SLV.

I valori in tal modo calcolati di lunghezza libera, sono approssimati per eccesso, e riportati nelle tabelle sottostanti:

| Tirante | H    | $\alpha$ | $\phi$ | t   | $h_i$ | L <sub>libera</sub><br>cond. statica | L <sub>libera</sub><br>cond. sismica | L <sub>libera di progetto</sub> |
|---------|------|----------|--------|-----|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|         | (m)  | (°)      | (°)    | (m) | (m)   | (m)                                  | (m)                                  | (m)                             |
| 1       | 5.50 | 20       | 38     | 2.5 | 1.5   | 3.97                                 | 4.19                                 | 6.00                            |

Tabella 11 Calcolo della Lunghezza libera dei tiranti sezione I

| Tirante | H    | $\alpha$ | $\phi$ | t    | $h_i$ | L <sub>libera</sub><br>cond. statica | L <sub>libera</sub><br>cond. sismica | L <sub>libera di progetto</sub> |
|---------|------|----------|--------|------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|         | (m)  | (°)      | (°)    | (m)  | (m)   | (m)                                  | (m)                                  | (m)                             |
| 1       | 8.00 | 20       | 38     | 5.00 | 1.5   | 6.68                                 | 7.02                                 | 7.00                            |
| 2       | 8.00 | 20       | 38     | 5.00 | 5.0   | 5.14                                 | 5.42                                 | 6.00                            |

Tabella 12 Calcolo della Lunghezza libera dei tiranti sezione I

#### 14.7.2.2 Verifica del bulbo di fondazione del tirante

La lunghezza della fondazione del tirante ( $L_{fond}$ ) è stata valutata considerando due distinti meccanismi di rottura per sfilamento (*trefoil-fondazione* e *fondazione-terreno*). In tutti i casi esaminati, il meccanismo di rottura critico è rappresentato dallo sfilamento fondazione-terreno, del quale si riportano i risultati.

Per il calcolo del carico limite di sfilamento si è fatto riferimento al metodo proposto da Bustamante e Doix (1985), relativo a micropali/tiranti iniettati ad alta pressione tramite sacco otturatore, applicando quindi il metodo dell'iniezione ripetuta e selettiva – IRS. Nel caso in esame, la resistenza allo sfilamento di calcolo ( $R_{a,c}$ ) si può esprimere tramite l'espressione:

$$R_{a,c} = \pi D_s L_{fond} q_s \quad (\text{AICAP, 2012})$$

dove:  $D_s = \alpha D_d =$  diametro effettivo della fondazione del tirante

$\alpha =$  coefficiente maggiorativo funzione del tipo di terreno

D = diametro della perforazione = 0.15 m

$L_{fond} =$  lunghezza della fondazione del tirante = 5.00 m

$q_s =$  resistenza tangenziale all'interfaccia fondazione-terreno

ed  $\alpha$  è un coefficiente ( $\alpha > 1$ ) che dipende sostanzialmente dal tipo di terreno e dalla tecnica di iniezione. Per il caso in esame e sulla base dei valori indicati nella tabella che segue, si è assunto cautelativamente:



$$\alpha = 1.1$$

| Terreno                        | Valori di a |           | Quantità minima di miscela consigliata                        |
|--------------------------------|-------------|-----------|---|
|                                | IRS         | IGU       |   |
| Ghiaia                         | 1,8         | 1,3 - 1,4 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Ghiaia sabbiosa                | 1,6 - 1,8   | 1,2 - 1,4 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Sabbia ghiaiosa                | 1,5 - 1,6   | 1,2 - 1,3 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Sabbia grossa                  | 1,4 - 1,5   | 1,1 - 1,2 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Sabbia media                   | 1,4 - 1,5   | 1,1 - 1,2 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Sabbia fine                    | 1,4 - 1,5   | 1,1 - 1,2 | 1,5 V <sub>s</sub>  |
| Sabbia limosa                  | 1,4 - 1,5   | 1,1 - 1,2 | IRS: (1,5 - 2) V <sub>s</sub> ; IGU: 1,5 V <sub>s</sub>       |
| Limo                           | 1,4 - 1,6   | 1,1 - 1,2 | IRS: 2 V <sub>s</sub> ; IGU: 1,5 V <sub>s</sub>               |
| Argilla                        | 1,8 - 2,0   | 1,2       | IRS: (2,5 - 3) V <sub>s</sub> ; IGU: (1,5 - 2) V <sub>s</sub> |
| Marne                          | 1,8         | 1,1 - 1,2 | (1,5 - 2) V <sub>s</sub> per strati compatti                  |
| Calcari marnosi                | 1,8         | 1,1 - 1,2 | (2 - 6) V <sub>s</sub> o più per strati fratturati            |
| Calcari alterati o fratturati  | 1,8         | 1,1 - 1,2 |   |
| Roccia alterata e/o fratturata | 1,2         | 1,1       | (1,1 - 1,5) V <sub>s</sub> per strati poco fratturati         |
|                                |             |           | 2 V <sub>s</sub> o più per strati fratturati                  |

Analogamente, i valori della resistenza tangenziale (q<sub>s</sub>) all'interfaccia fondazione-terreno dipendono dalla natura e dalle caratteristiche meccaniche del terreno, e dalla tecnologia esecutiva. Per il caso in essere, considerando le caratteristiche dei terreni di fondazione, è stato assunto il valore q<sub>s</sub> = 250 kPa. Considerando il diagramma di Bustamante e Doix per rocce, il valore scelto appare cautelativo. Ciò nonostante la tensione di aderenza di progetto verrà verificata sperimentalmente con i tiranti preliminari di prova, secondo quanto previsto dalle norme tecniche.

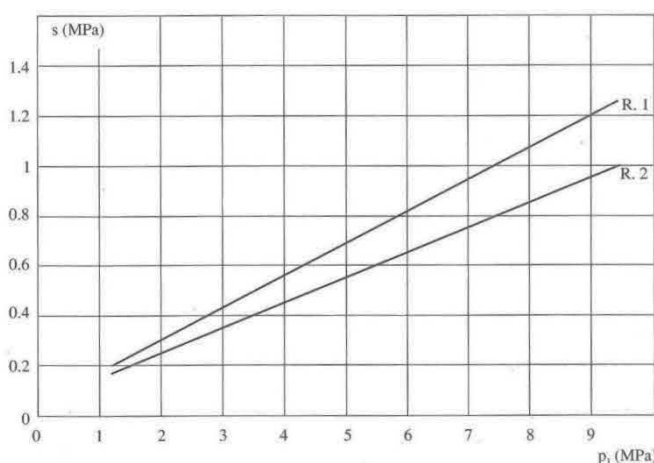


Figura 5 - Diagramma di Bustamante e Doix per rocce

Ai sensi delle NTC18 paragrafo 6.6.2, in questa sede il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio si determina con metodi analitici. Considerando che il numero di verticali indagate è pari a 1, si ha che il valore della Resistenza caratteristica allo sfilamento  $R_{a,k}$  è pari a:

$$R_{a,k} = R_{a,c} / 1.80$$

dove, si precisa, che il valore della  $R_{a,c}$  è già quello minimo.

Le paratie oggetto della presente relazione sono paratie provvisorie, per cui il fattore di sicurezza parziale  $\gamma_{Ra}$  è pari a 1.1.

La resistenza di progetto dell'ancoraggio  $R_{a,d}$  è definita dalla relazione seguente:

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_{Ra}$$

Ricordando che nel paragrafo 14.5 "Tiranti d'ancoraggio" è stato riportato il valore del massimo tiro in esercizio 312.10 kN (Sezione II – 2° ordine), per la combinazione A1+M1+R3, nella Tabella 13 sono riportati i valori numerici risultati dalle relazioni sopra descritte.

| $\alpha$ | d    | s     | $L_f$ | $R_{a,c}$ | $\xi_{a3}$ | $R_{a,k}$ | $\gamma_{Ra}$ | $R_{a,d}$ | $P_d$ |
|----------|------|-------|-------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|-------|
| (-)      | (m)  | (kPa) | (m)   | (kN)      | (-)        | (kN)      | (-)           | (kN)      | (kN)  |
| 1.1      | 0.15 | 250   | 6.00  | 777.5     | 1.8        | 432.0     | 1.1           | 392.7     | 312.1 |

Tabella 13 Verifica della Lunghezza del Bulbo di fondazione

Essendo  $R_{a,d} > P_d$  la verifica della lunghezza del bulbo di fondazione allo sfilamento dell'ancoraggio è soddisfatta.

#### 14.7.2.3 Verifica dell'armatura dei tiranti

Secondo la metodologia progettuale, prevista dalla norma, della gerarchia delle resistenze, la rottura a sfilamento della fondazione deve sempre precedere la rottura dell'armatura, se questa può dar luogo a rotture di tipo fragile. La verifica viene eseguita nella combinazione A1+M1+R3.

A tale scopo, secondo le Norme AICAP 2012, paragrafo 6.4.3 deve essere:

$$R_{td} > \gamma_{rd} R_{ak,max}$$

dove:

$R_{ak,max}$  rappresenta il valore massimo della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio, pari a 327 kN (vedi Tabella 13);

$\gamma_{rd}$  rappresenta il coefficiente di sovraresistenza dell'ancoraggio, nel caso in esame è pari ad 1;

$R_{td}$  rappresenta la resistenza di progetto del materiale che costituisce l'armatura dell'ancoraggio, il cui valore è dato dalla seguente espressione:

$$R_{td} = A_s f_{yk} / \gamma_s$$

dove:

$A_s$  è l'area della sezione di armatura, nel caso in essere 1.39 cm<sup>2</sup> per ogni singolo trefolo;

$\gamma_s$  è il fattore parziale di sicurezza per la definizione della resistenza di calcolo, pari a 1.15 secondo il paragrafo 4.3.3 delle NTC2018;

$f_{yk}$  coincide con la tensione convenzionale di snervamento per l'acciaio in trefoli, che risulta essere pari alla tensione caratteristica all'1% di deformazione totale  $f_{p(1)k} = 1670$  MPa.

Nella Tabella 14 è riportato il calcolo di  $R_{td}$  per i tiranti a 3 trefoli scelti per il seguente progetto:

| $\gamma_s$ | $f_{p(1)k}$ | $A_s$              | $N_{trefoli}$ | $R_{td}$ |   | $R_{ak,max}$ |
|------------|-------------|--------------------|---------------|----------|---|--------------|
| [-]        | [Mpa]       | [cm <sup>2</sup> ] | [-]           | [kN]     |   | [kN]         |
| 1.15       | 1670        | 1.39               | 3             | 605.6    | > | 392.7        |

Tabella 14 Determinazione della resistenza di progetto dei tiranti utilizzati

Essendo il valore della resistenza di progetto  $R_{td} = 605.6$  kN determinato, superiore al valore massimo calcolato della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ak,max} = 480.0$  kN, la verifica dell'armatura è soddisfatta.

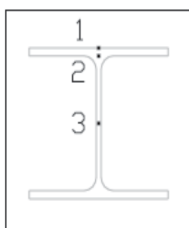
### 14.7.3 Verifica della trave di ripartizione

Il calcolo e le verifiche strutturali relative alla trave di ripartizione vengono presentate considerando uno schema statico appoggio - appoggio, soggetto a un carico per unità di lunghezza pari al tiro ammissibile sui tiranti diviso per il loro interasse (p).

Il momento più gravoso viene valutato con la relazione  $M=pL^2/10$ , cui viene associata un'azione assiale nulla.

La massima sollecitazione di taglio risulta, in prossimità degli appoggi, pari al valore di  $T_{max}= pL/2$ .

Le tensioni sono calcolate nei punti della sezione trave più sollecitati, riportati nella figura seguente:



Ai sensi del paragrafo 4.2.4.1.1 della NTC 18, la tensione di snervamento dell'acciaio viene divisa per il coefficiente  $\gamma_{M2} = 1.25$  al fine di determinare il valore della resistenza di calcolo. Pertanto nel caso di acciaio S235, si ha:

|                 |               |                              |
|-----------------|---------------|------------------------------|
| $f_{yk}$ - S235 | $\gamma_{M2}$ | $R_d = f_{yk} / \gamma_{M2}$ |
| [Mpa]           | [-]           | [Mpa]                        |
| 235             | 1.25          | 188                          |

Tabella 15 Determinazione della Resistenza di Calcolo per Acciaio di qualità S235

Nella Tabella 16 sono riportati i calcoli di verifica della sezione:

| Interasse Tiranti | Numero trefoli | Tiro ammissibile tirante in condizioni statiche | Carico Distribuito q | M_max | T_max | Profilato | W Modulo Resistenza Doppio Profilato | $\sigma_1$ | $\sigma_3$ | $\sigma_2$ | $\sigma_2$ | $\sigma_{2id}$ | $\sigma_{3id}$ | $\sigma_{max\_id}$ |
|-------------------|----------------|---|----------------------|-------|-------|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|--------------------|
| [m]               | [-]            | [kN/m]  | [kN/m]               | [kNm] | [kN]  | HEB       | [cm <sup>3</sup> ]                   | [MPa]      | [MPa]      | [MPa]      | [MPa]      | [MPa]          | [MPa]          | [MPa]              |
| 2.40              | 3              | 130.04  | 130.04               | 75    | 156   | 160       | 623                                  | 120        | 67         | 101        | 60         | 144            | 116            | 144                |

Tabella 16 Verifica della trave di ripartizione

La tensione ideale è la massima tra  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{2id}$  e  $\sigma_{3id}$ .

La verifica risulta soddisfatta, in quanto le travi di ripartizione, 2 profilati HEB160 accoppiati, di acciaio S235, hanno una tensione di lavoro massima  $\sigma_{id\_max}$  144 MPa, valore inferiore a quello previsto dalla norma di 188 MPa.

---

## **14.8 Analisi di stabilità del pendio**

Le analisi di stabilità del versante (verifiche di stabilità globale e locale) sono state condotte secondo quanto previsto nelle NTC2018 (D.M. 17/01/2018) sia per la fase statica che per la fase sismica.

Per le analisi è stato utilizzato il codice di calcolo SLOPE/W della GEOSLOPE International Inc., applicando i metodi di analisi all'equilibrio limite di Bishop.

La verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura, la si suddivide in conci la parte instabile, studiando dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi la stabilità globale. Le ipotesi del metodo in questione sono:

- ✓ il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- ✓ la rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- ✓ il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- ✓ la resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tale metodo di calcolo si fa sempre riferimento ad un problema piano nel quale, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva, trascurando ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia ("Metodo delle strisce").

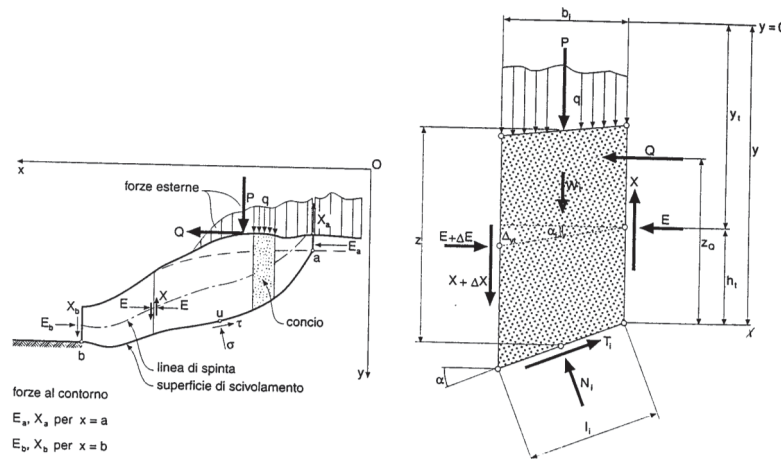


Figura 6 Schematizzazione di calcolo del Metodo delle strisce

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso  $W$ , l'azione tangenziale alla base  $T$ , l'azione normale efficace alla base  $N$ , la spinta dell'acqua sulla base  $U$ , gli sforzi tangenziali  $X$  e quelli normali  $E$  sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in  $n$  conci, si hanno a disposizione  $3n$  equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere  $(5n-2)$  così composte:

- ✓  $n$  valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- ✓  $n-1$  valori per ciascuna delle forze d'interfaccia ( $X$  ed  $E$ )
- ✓  $n-1$  valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- ✓  $n$  valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- ✓ 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno  $(2n-2)$  incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato; per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse a

secondo del metodo che si considera; nel presente caso sono state adottate quelle proposte da Bishop.

\*\*\*\*\*

Secondo le NTC 2018, il livello di sicurezza di un versante è espresso come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento:

$$F_s = \tau_s / \tau_m$$

dove  $\tau_s$  è la resistenza al taglio disponibile, valutata con parametri caratteristici, e  $\tau_m$  lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento sotto l'azione dei carichi. Il grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

Ai sensi del paragrafo 6.8.2 delle NTC2018 le analisi di stabilità vengono svolte secondo la combinazione di carico A2+M2+R2. In tali verifiche:

- i coefficienti moltiplicativi tipo A, incrementali delle azioni, si considerano unitari, ai sensi del paragrafo 7.11.1 (NTC2018);
- i coefficienti moltiplicativi tipo M, riduttivi delle resistenze, sono riportati in Tabella 7 Caratteristiche delle sezioni di calcolo;
- i coefficienti R2 definiti ai sensi della tabella 6.8.1 delle NTC non sono considerati nell'analisi perché non si considera l'effetto dei tiranti.

La Tabella 17 richiama la Tabella 10: vi sono riportati valori di calcolo dei parametri assunti per le analisi di stabilità svolte.

|                     | $\gamma$             | $\phi$ | $c'_k$ |
|---------------------|----------------------|--------|--------|
|                     | (kN/m <sup>3</sup> ) | (deg)  | (kPa)  |
| Coltre superficiale | 18                   | 30     | 0      |
| Roccia fratturata   | 26                   | 30     | 44     |
| Roccia integra      | 26                   | 38     | 55     |

Tabella 17 Caratteristiche dei terreni per le verifiche di stabilità

Ai sensi delle NTC 2018 paragrafo 7.11.3.5.2, l'analisi può venire svolta con metodi pseudo statici. Per cui l'accelerazione massima attesa al sito è definita come:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove i valori riguardanti gli effetti di amplificazione stratigrafica topografica e di accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido sono stati già definiti al paragrafo Azione Sismica.

L'accelerazione così determinata definisce i coefficienti sismici orizzontale e verticale,  $k_h$  e  $k_v$ , mediante le relazioni, che si svolgono per il caso in essere:

$$k_h = \beta_s a_g/g S_S S_T = 0.24 * 0.037 * 1.2 * 1.08 = 0.0115$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h = 0.0058$$

dove:

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ( $\beta_s=0.24$  da Tab. 7.11.I del DM18);

$g$  = accelerazione di gravità.

Per la verifica allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica sono espresse a loro volta in funzione dei coefficienti sismici secondo la relazione:

$$F_h = k_h W$$

$$F_v = k_v W$$

dove  $W$  rappresenta il volume di terreno potenzialmente instabile.

L'analisi di stabilità è eseguita applicando l'azione del sisma nelle direzioni sia orizzontale sia verticale.

Sono state eseguite le analisi delle sezioni di calcolo I, II e III.



### 14.8.1 Analisi di stabilità globale

Si riporta di seguito la verifica di stabilità globale del versante interessato dalle opere in progetto.

Nell'analisi è stato considerato un sovraccarico accidentale di origine stradale pari a 20 kPa in fase statica, ridotto cautelativamente a 10 kPa in fase sismica. Tale sovraccarico è stato applicato su tutta la larghezza della nuova sede stradale di progetto.

L'esito delle analisi eseguite, sia in condizioni statiche che sismiche, è sintetizzato nella Tabella 18 e riportato nelle immagini sottostanti in cui vengono rappresentate le superfici di scorrimento critiche corrispondenti al fattore di sicurezza minimo.

Il coefficiente di sicurezza minimo è sempre maggiore di 1.1, pertanto le verifiche di stabilità sono soddisfatte.

Come si osserva, l'estensione della superficie di scorrimento rappresentata coinvolge volumi di terreno molto significativi, che induce a pensare che l'opera di controripa sia pressoché irrilevante sulla stabilità del versante.

| FS                                 | Sezione I | Sezione II |
|------------------------------------|-----------|------------|
| <b>STABILITA' GLOBALE</b>          |           |            |
| <b>SLU Statica (A2+M2+R2)</b>      | 1.28      | 1.29       |
| <b>SLV Sismica (EQK+M2+R2) (+)</b> | 1.25      | 1.26       |
| <b>SLV Sismica (EQK+M2+R2) (-)</b> | 1.26      | 1.26       |

*Tabella 18 Coefficienti di sicurezza minimi risultati dalle analisi di stabilità eseguite*

## Sezione I

1.28

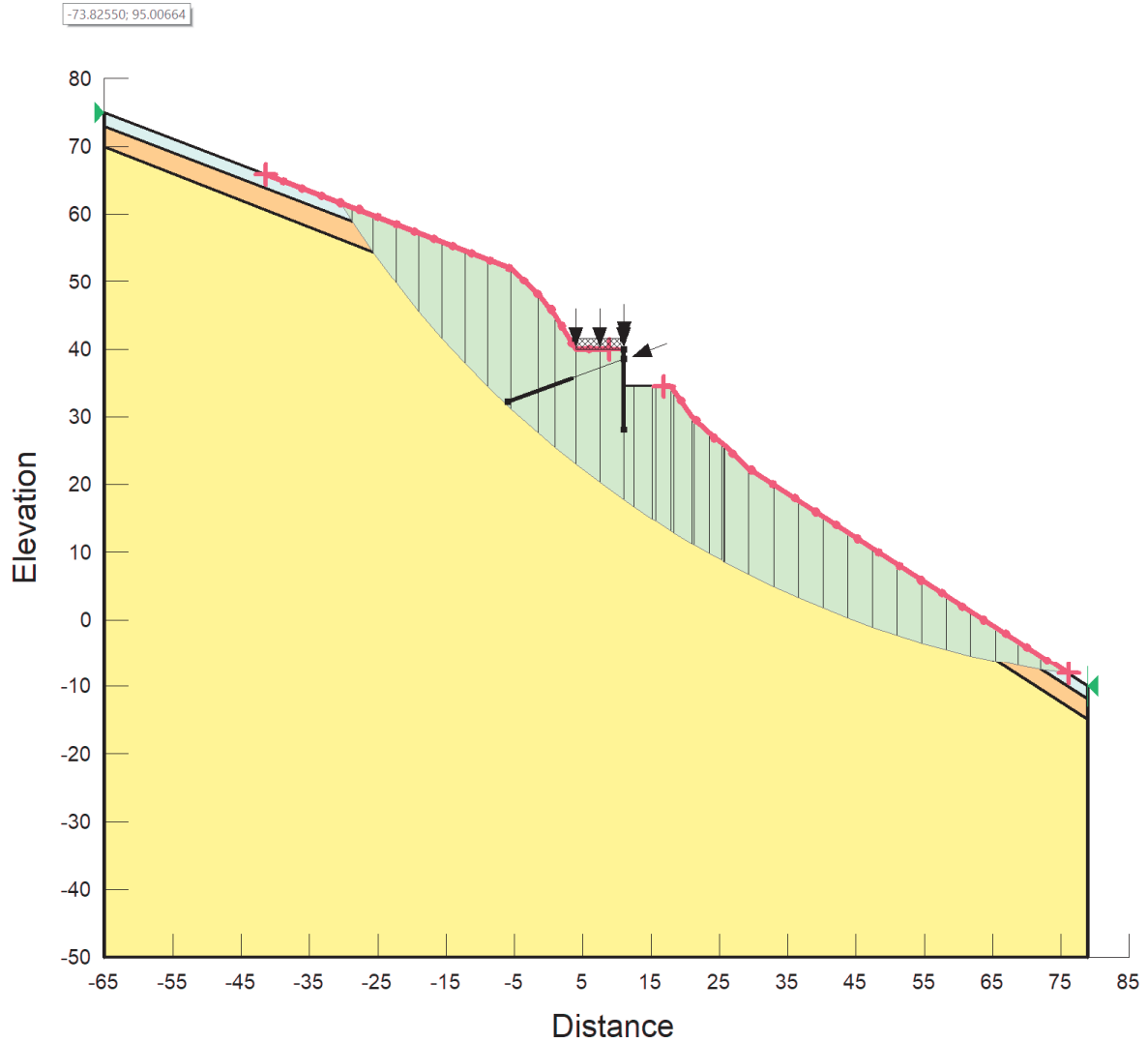


Figura 7 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni statiche (A2+M2)

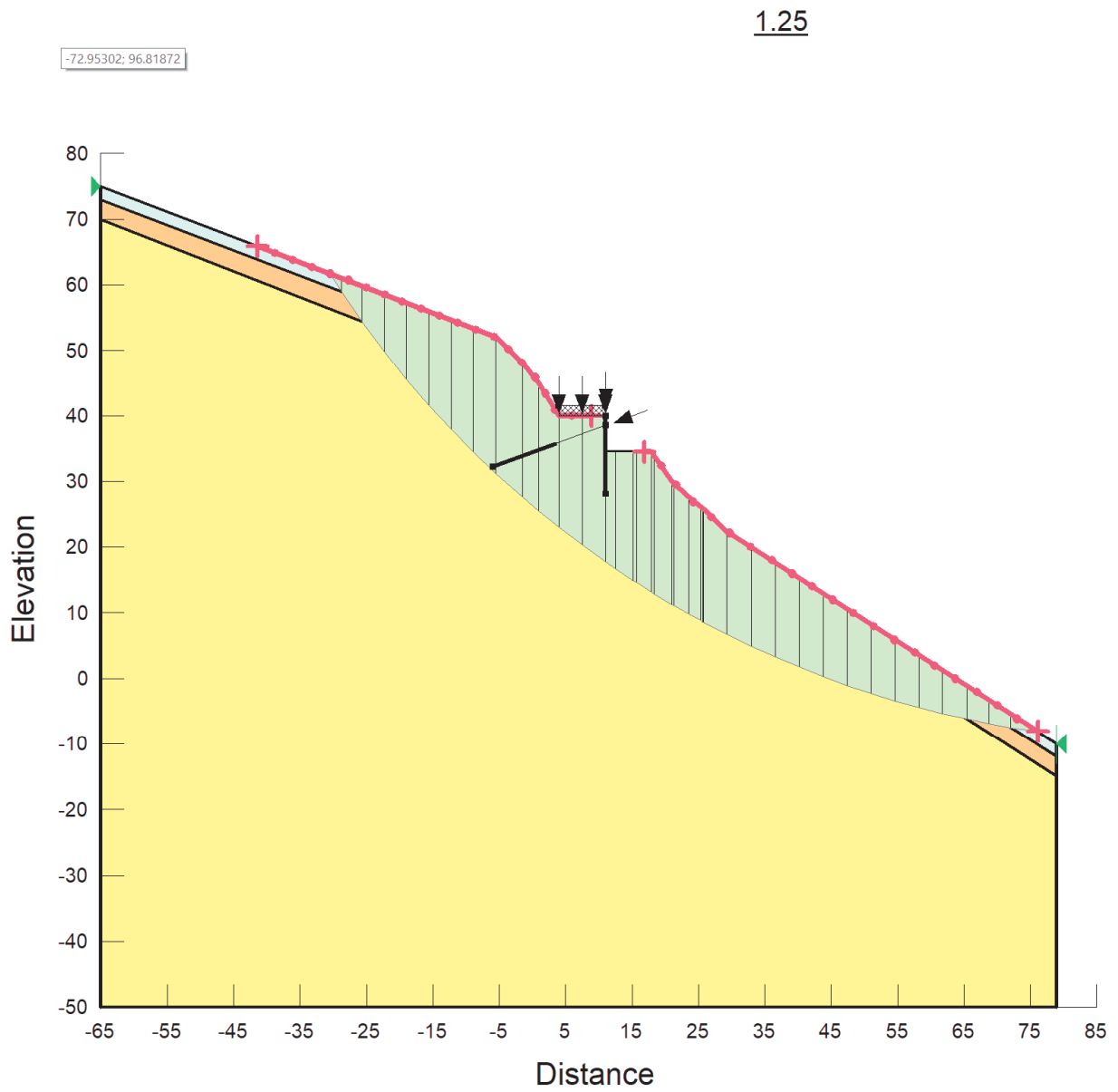


Figura 8 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni sismiche (EQK+M2) (+)

1.26

-80.26846; 96.08046

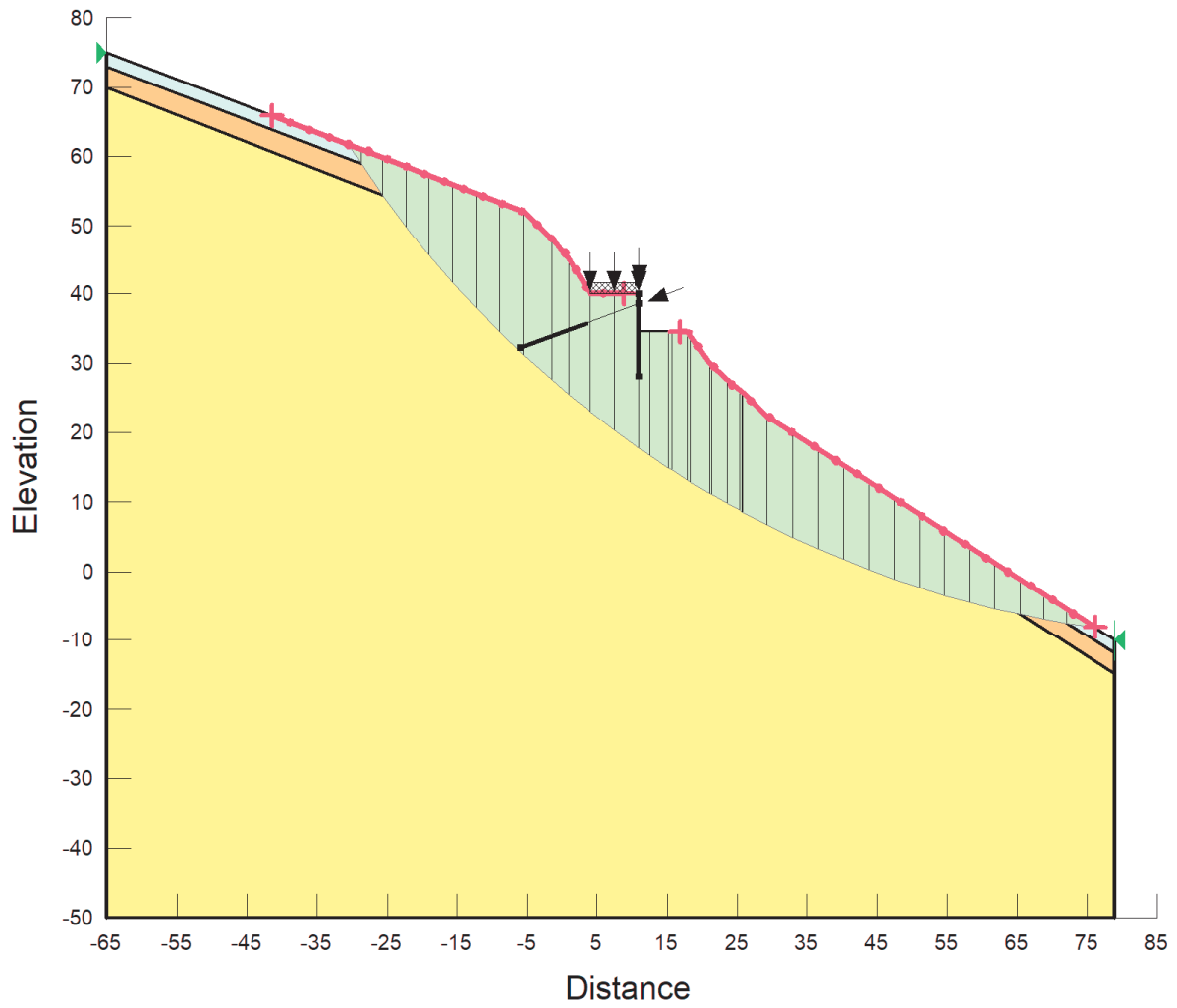


Figura 9 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni sismiche (EQK+M2) (-)

## Sezione II

1.29

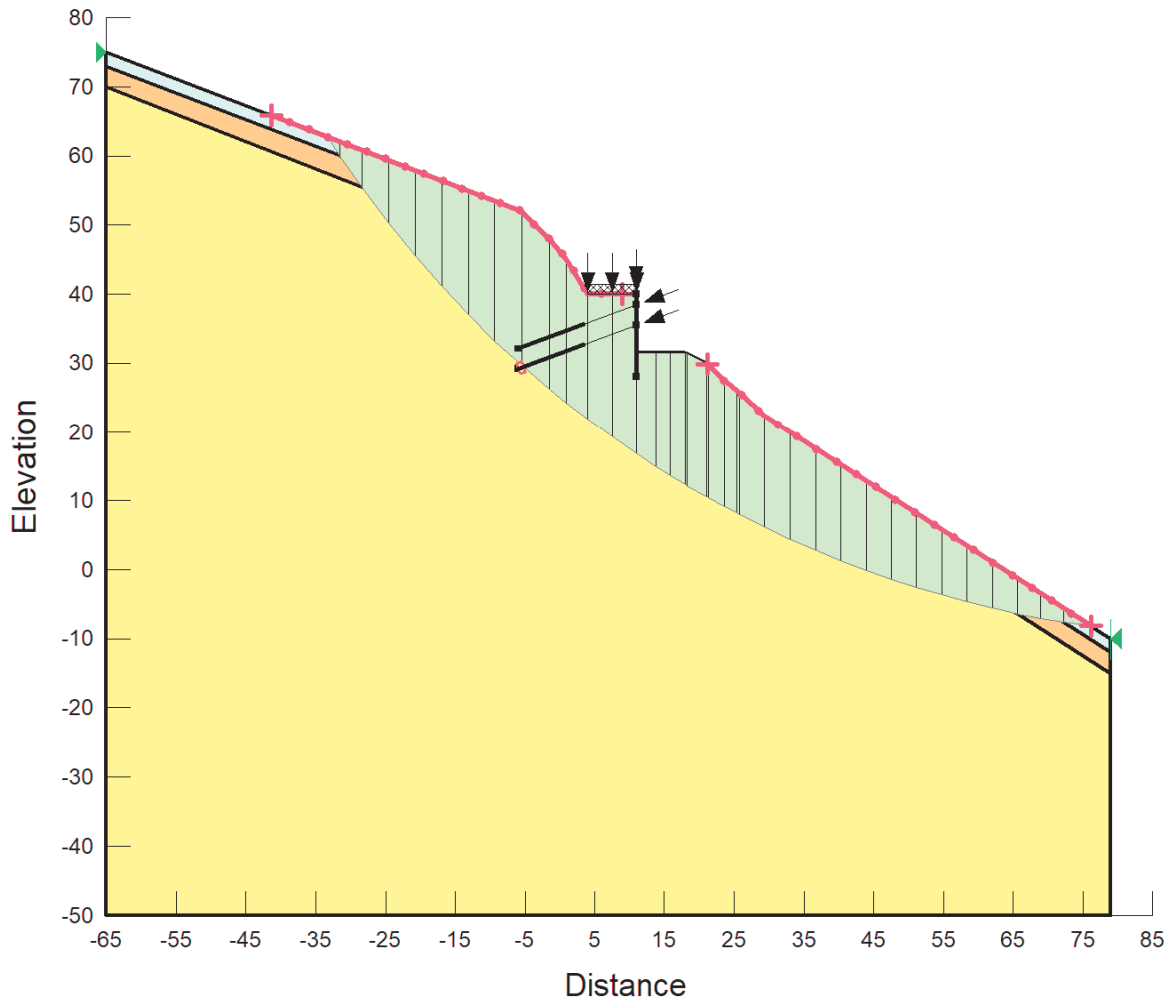


Figura 10 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni statiche (A2+M2)

1.26

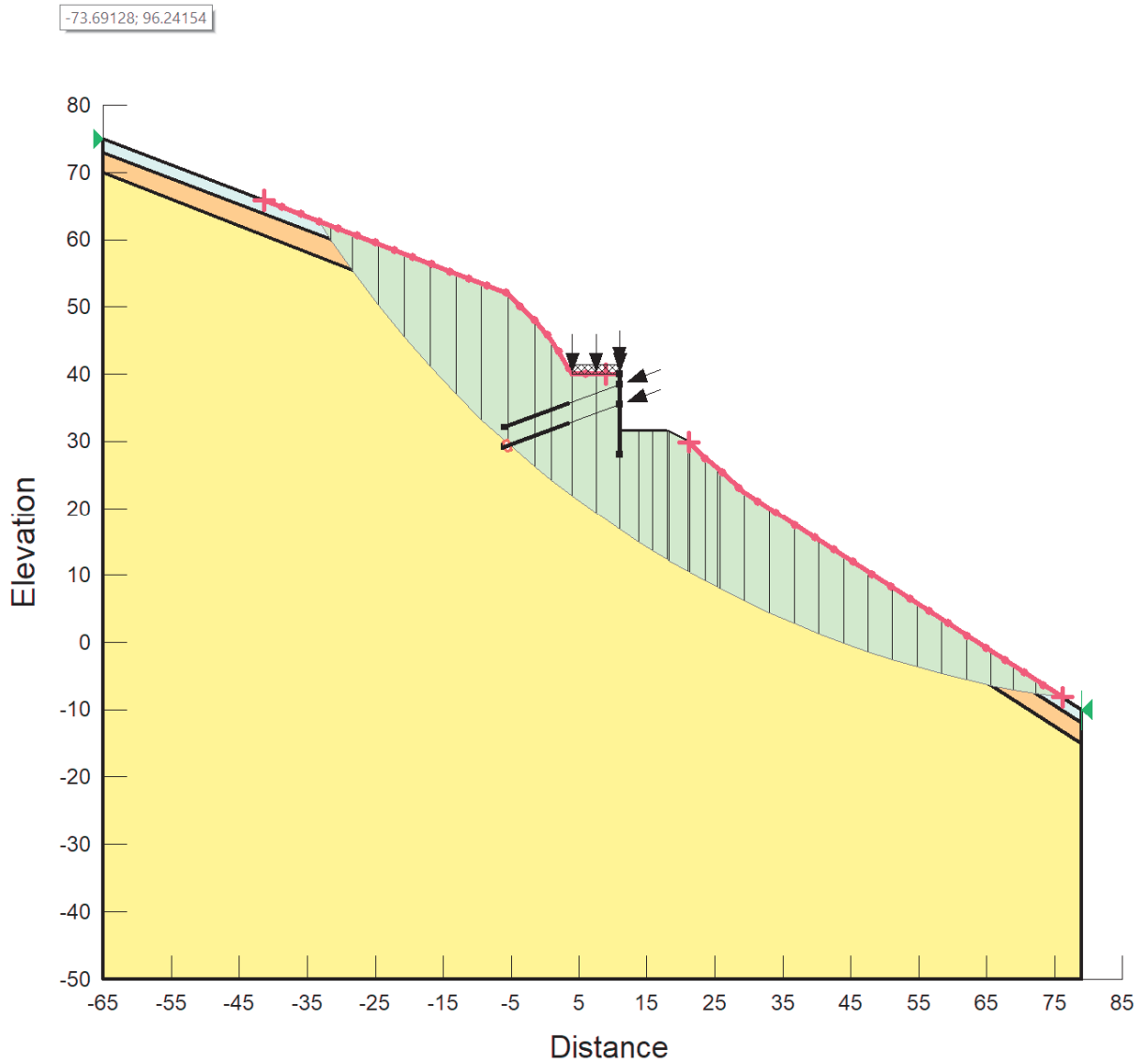


Figura 11 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni sismiche (EQK+M2) (+)

1.26

-82.22819; 100.83214

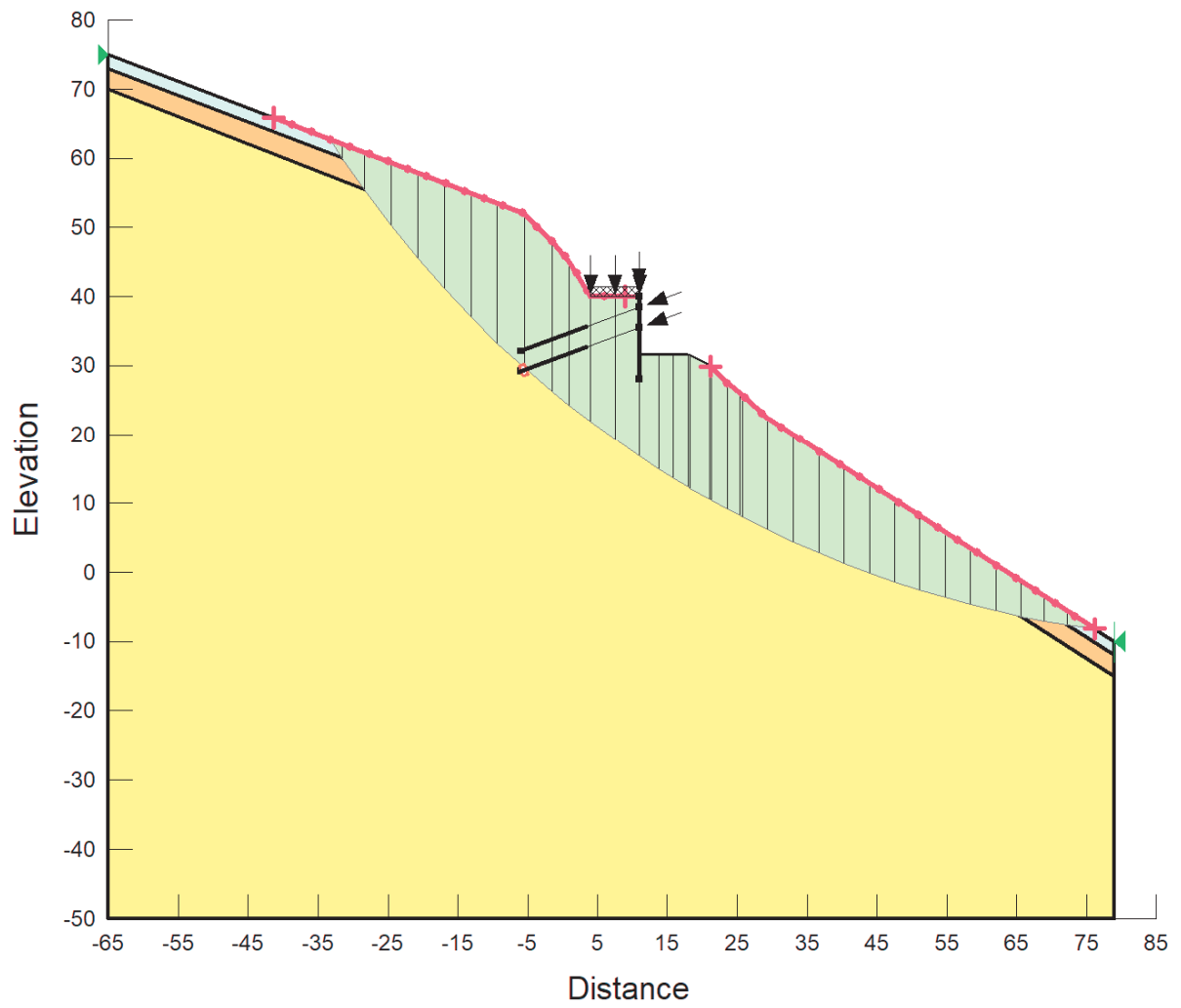
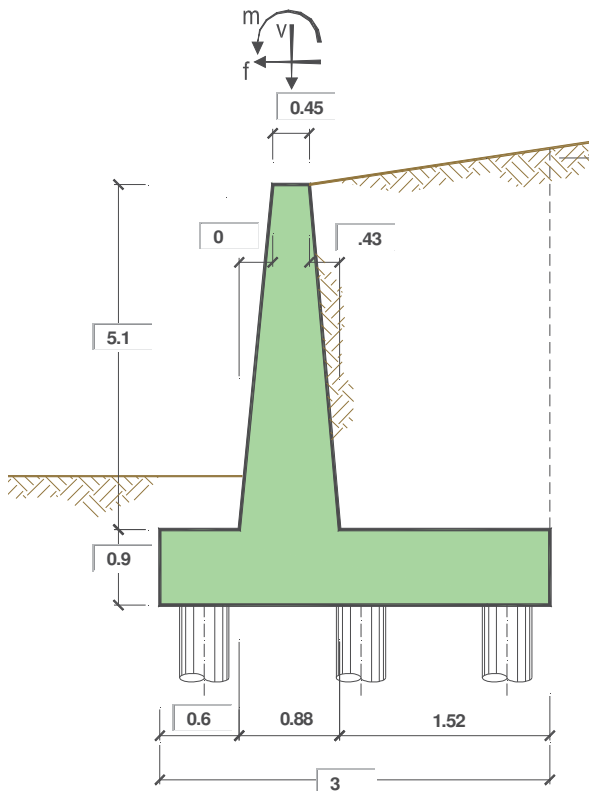


Figura 12 Coefficiente di sicurezza minimo per la stabilità globale in condizioni sismiche (EQK+M2) (-)

# 15 Allegato A: verifica del muro tipo A

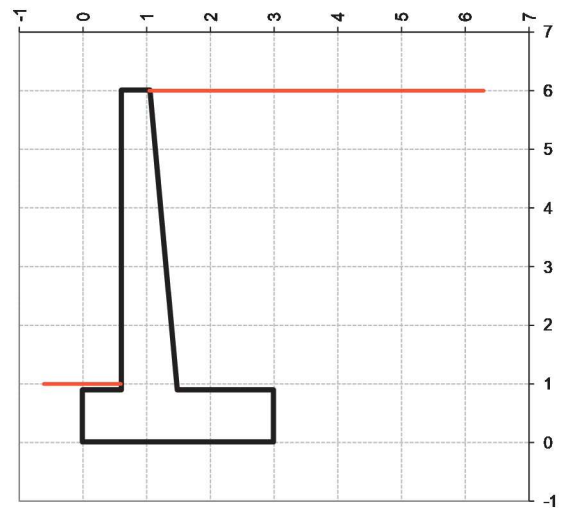


**OPERA** 0.90x3.00

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 | $\gamma$        | $\gamma_T$      | 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**

|                      |                                      | <b>SLE</b> | <b>STR/GEO</b> |
|----------------------|--------------------------------------|------------|----------------|
| - Peso del Muro (Pm) |                                      |            |                |
| 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 |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0.00   |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) | 19.74  |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00   |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 159.27 |

|   |                    |        |    |
|---|--------------------|--------|----|
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |                    |        |    |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4+B5)$  | (kN/m) | 39 |
| 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

- Spinta totale condizione statica

|           |  |        | SLE   | STR/GEO |
|-----------|--|--------|-------|---------|
| 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 |
| Sqh perm = | $perm \cdot \cos \delta$           | (kN/m) | 0.00  | 0.00   |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 29.42 | 44.14  |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                    |        |       |       |
|------------|------------------------------------|--------|-------|-------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$             | (kN/m) | 32.10 | 41.73 |
| Sqv perm = | $perm \cdot \sin \delta$           | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 11.89 | 17.83 |

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

|             |   |        | SLE    | STR/GEO |
|-------------|---|--------|--------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$              | (kN/m) | 158.89 | 206.56  |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                           | (kN/m) | 96.29  | 125.18  |
| 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) | 88.27  | 132.41  |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$               | (kN/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 =    | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv \text{ perm} + Sqv \text{ acc}$ | (kN/m) | 343.66 | 353.29 |
| N acc min = | $v + Sqv \text{ acc}$                                     | (kN/m) | 11.89  | 17.83  |
| N acc max = | $v + Sqv \text{ acc} + q \text{ acc}$                     | (kN/m) | 50.89  | 76.33  |

Risultante forze orizzontali

|          |                               |        |       |        |
|----------|-------------------------------|--------|-------|--------|
| (T)      |                               |        |       |        |
| T perm = | $Sth + Sqh \text{ perm} + fp$ | (kN/m) | 79.45 | 103.28 |
| T acc =  | $Sqh \text{ acc} + f$         | (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)                            |

**15.1 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 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       | 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]     | [kN/m]    | [kN/m]    | [kNm/m]        | [kNm/m]      | [kNm/m]      | [kN/m]         | [kN/m]          |
|                               | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permane<br>nti | Acc.<br>Nmin | Acc.<br>Nmax | Permane<br>nti | Accident<br>ali |
| statico<br>o<br>rara<br>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         |                       |            |                     |

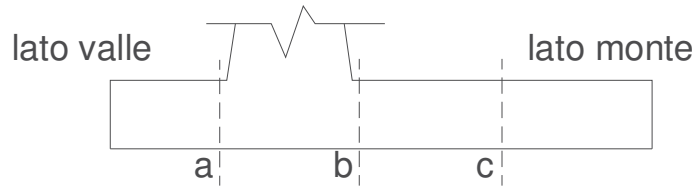
Sollecitazioni massime sui pali

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

## 15.2 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

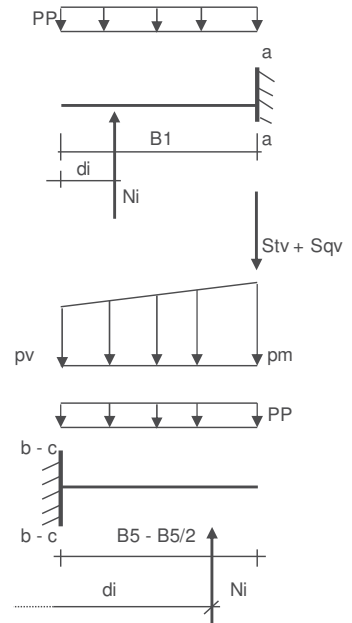
$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B^2 / 2 + p_{vb} \cdot B^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5$$

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

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

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

$\Sigma$  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**

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

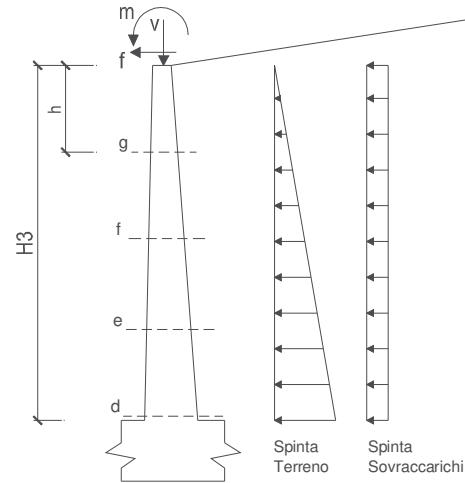
$$V_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



**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            |

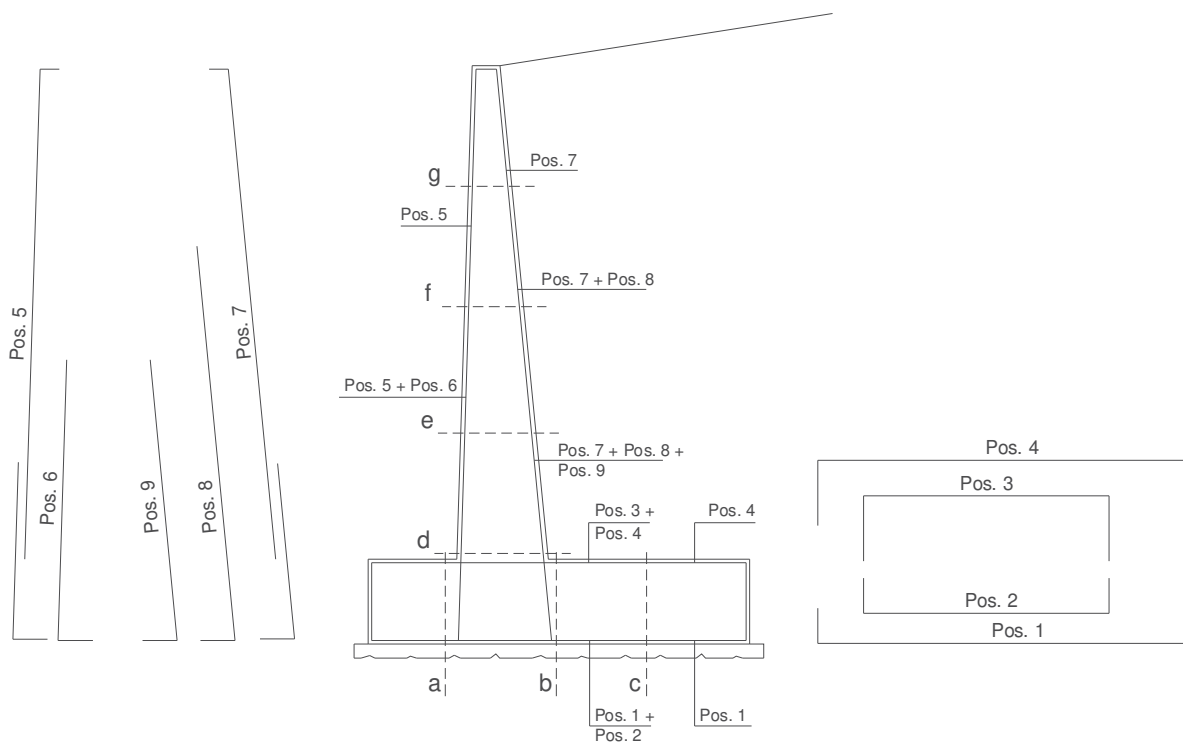
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [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 -**

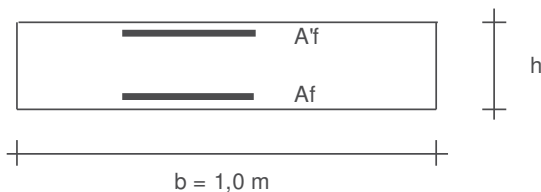
| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [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)

### 15.3 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

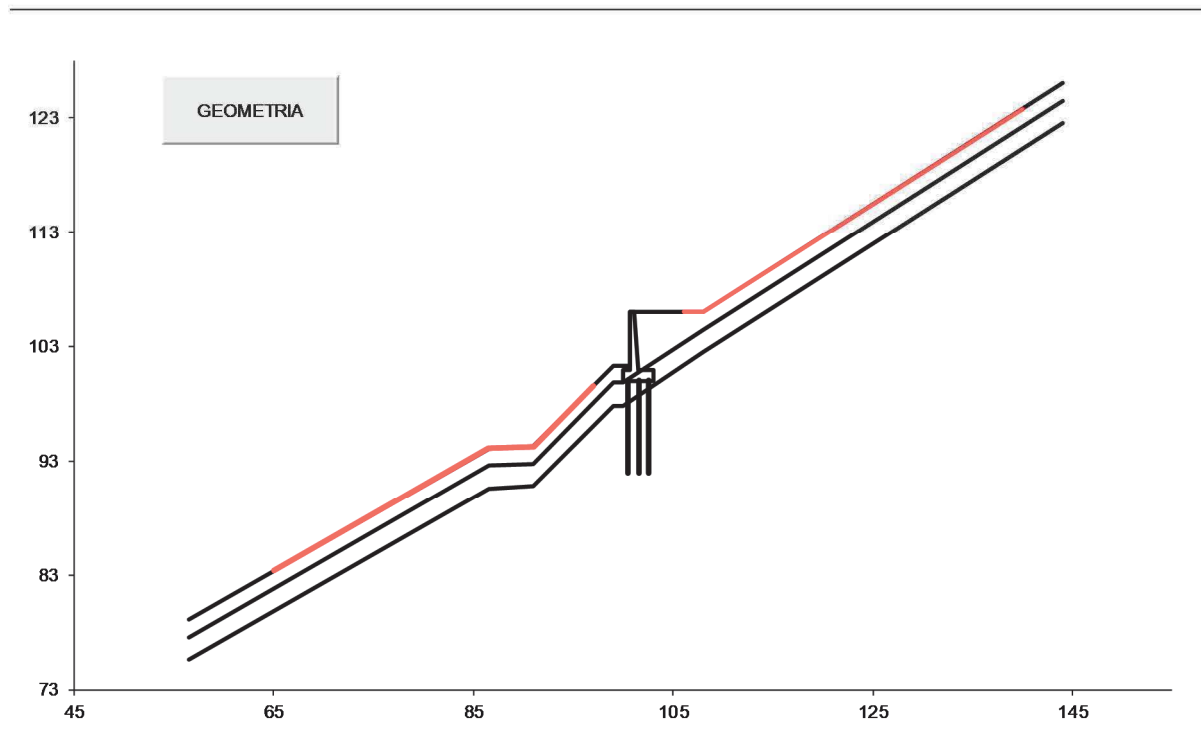
|  | $x_{in}$ | $q_{in}$ | $x_{fin}$ | $q_{fin}$ | % sisma |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------|
| sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/> | 102.050  | 26       | 107.050   | 26        | 38%     |
| sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>            |          |  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

#### 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              | 8.00   | 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                |



### 15.3.1 Risultati dell'analisi di stabilità

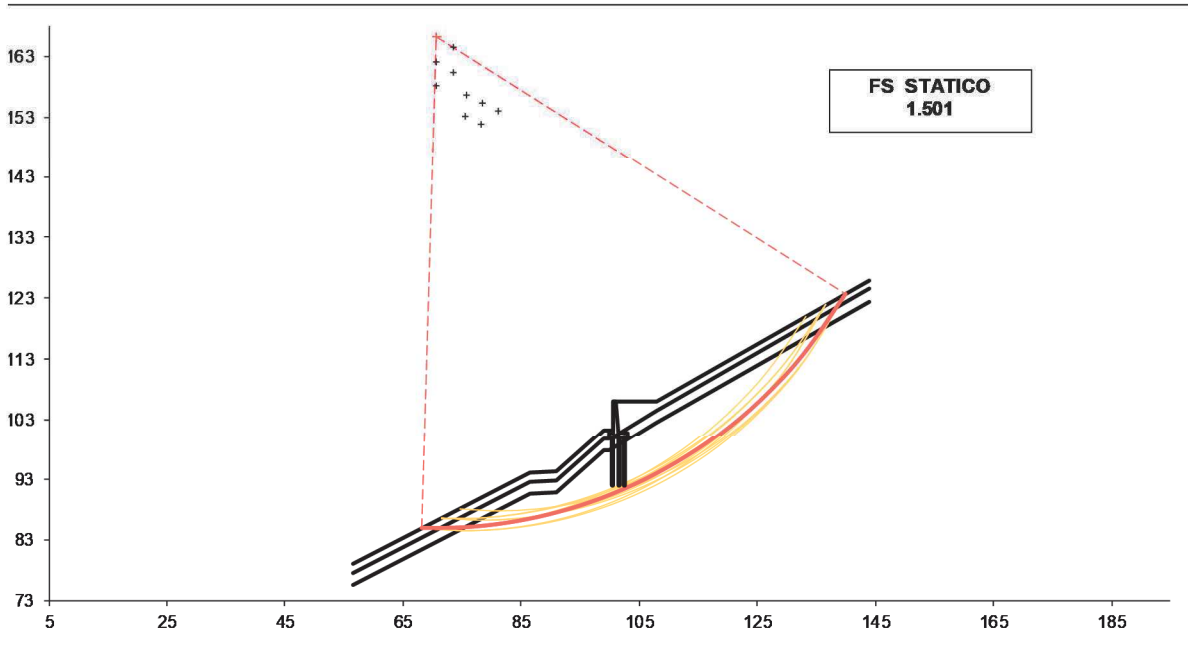
Condizione di Carico

STATICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO



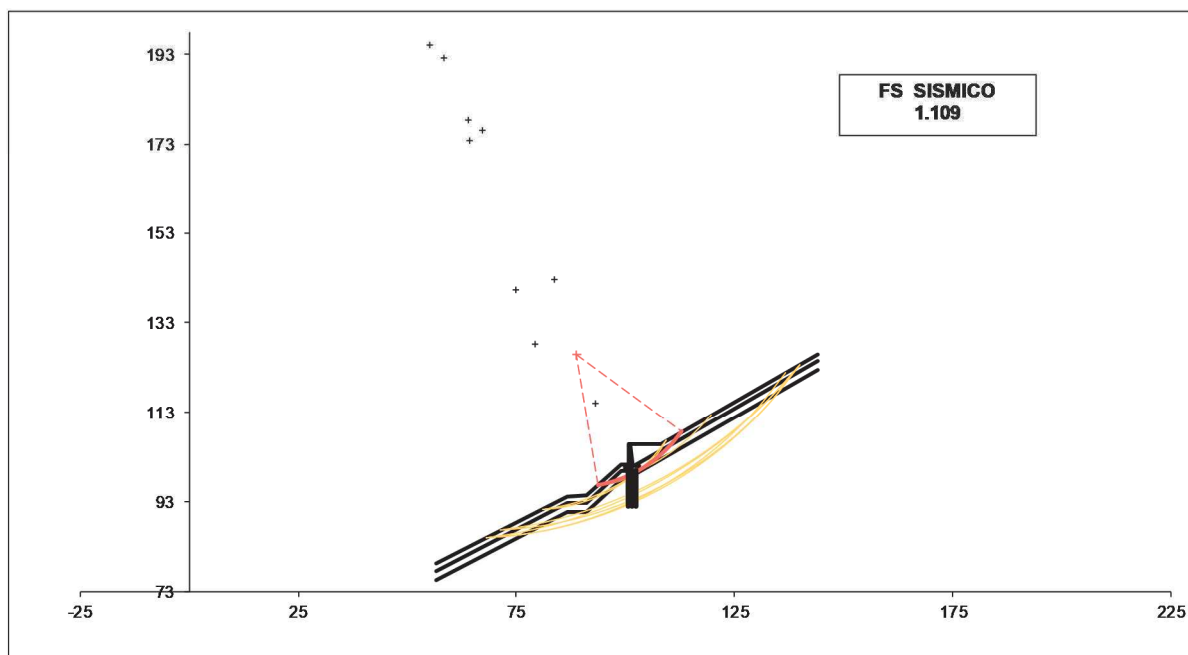
Condizione di Carico

SISMICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO



## 15.4 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                  |

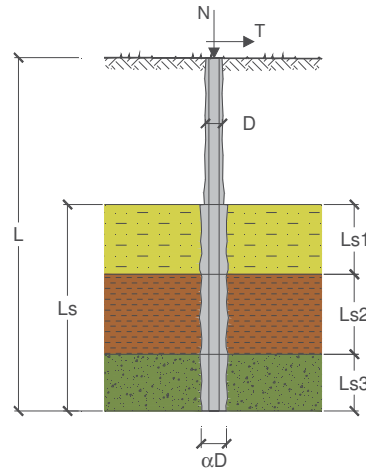
### 15.4.1 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

*Sollecitazioni Agenti:*

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



**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $l_{s_i}$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$ media<br>(MPa) | $s_i$ minima<br>(MPa) | $s_i$ calcolo<br>(MPa) | $Q_{s_i}$<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              |

$L_s = 8.00 \quad (m) \qquad Q_l = 509.08 \quad (kN)$

Capacità portante di punta

$Q_p = \%Punta \cdot Q_l$

(consigliato 10-15%)

% Punta

0%

$Q_p = 0.00 \quad (kN)$

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Q_{lim} = Q_b + Q_l$

$Q_{lim} = 509.08 \quad (kN)$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$F_s = Q_{lim} / N \quad (F_s > 1)$

$F_s = 1.05$

**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>)

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

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

$P_k = 42838.76 \quad (MN)$

$\eta = 88.51$



**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)**

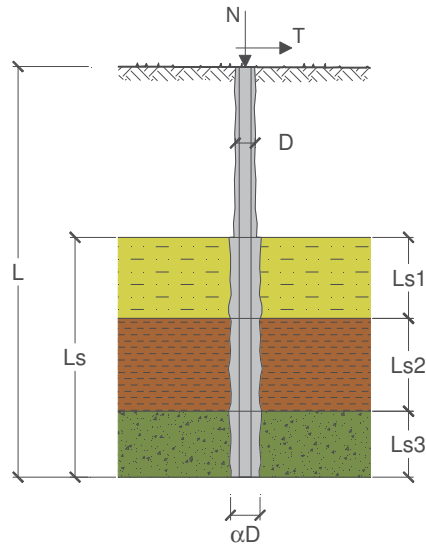
**15.4.2 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione**

**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) | $s_i$<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                    | 0.071                     | 117.09        |
| roccia integra   | 6.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                   | 0.150                    | 0.071                     | 351.27        |
|                  |                        |                 | 0.00                           |                         |                          | 0.000                     | 0.00          |

$$Ls = 8.00 \quad (m) \qquad Ql = 468.36 \quad (kN)$$

**Capacità portante di punta**  $Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

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

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + Ql$$

$$Qlim = 468.36 \quad (kN)$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$$Fs = 2.52$$

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

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

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

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

$$Pk = 42838.76 \quad (MN)$$

$$\eta = --$$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

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

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

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot Earm \cdot Jarm}}$$

$$b = 1.973 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 21.21 \quad (kNm)$$

## 15.5 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>pl,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 ε                     | 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      | CLASSE 1        |        |       |

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

|                   |      |                    |                              |
|-------------------|------|--------------------|------------------------------|
| V <sub>Ed</sub>   | 84   | [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 |

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 <sub>Ed</sub>   | 21 | [kNm] |                                 |
| M <sub>c,Rd</sub> | 85 | [kNm] | Resistenza a flessione del tubo |
|                   |    |       | FS 4.00                         |

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

|                   |      |      |   |
|-------------------|------|------|---|
| N <sub>Ed</sub>   | 484  | [kN] |   |
| N <sub>c,Rd</sub> | 1681 | [kN] | Resistenza a compressione/trazione del tubo |
|                   |      |      | FS 3.47                                     |

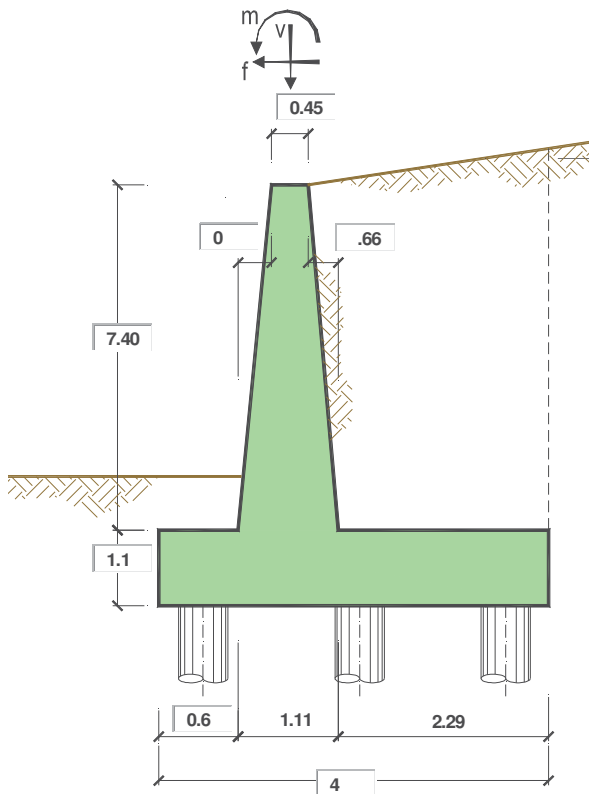
**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|           |     |       |                |     |       |    |         |
|-----------|-----|-------|----------------|-----|-------|----|---------|
| $V_{SLE}$ | 84  | [kN]  | $\tau$         | 26  | [MPa] |    |         |
| $M_{SLE}$ | 21  | [kNm] | $\sigma_M$     | 114 | [MPa] |    |         |
| $N_{SLE}$ | 484 | [kN]  | $\sigma_N$     | 97  | [MPa] |    |         |
|           |     |       | $\sigma_{TOT}$ | 216 | [MPa] | ok | FS 1.56 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

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

# 16 Allegato B: verifica del muro tipo B

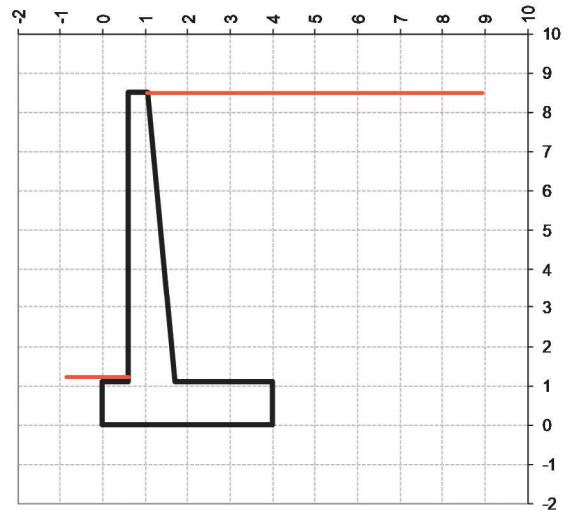


**OPERA** 1.10x4.00

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     | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_\psi$   | 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            | (°)                  | $\varphi'$                   | 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 | <input checked="" type="radio"/> no |

|                        |   | <b>SLE</b> |       | <b>STR/GEO</b> |  |
|------------------------|---|------------|-------|----------------|--|
|                        |   |            |       |                |  |
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico         | $k_a$      | 0.264 | 0.264          |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma + | $k_{as+}$  | 0.383 | 0.383          |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma - | $k_{as-}$  | 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> )   | $q_p$                        | 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                      |      |
| 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> )   | $q_s$                        | 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**

|                      |                                      |        | <b>SLE</b> | <b>STR/GEO</b> |
|----------------------|--------------------------------------|--------|------------|----------------|
| - 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) | 83.25      | 83.25          |
| Pm3 =                | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$ | (kN/m) | 61.05      | 61.05          |
| Pm4 =                | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$    | (kN/m) | 110.00     | 110.00         |
| Pm =                 | Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4                | (kN/m) | 254.30     | 254.30         |

|  |   |        |        |        |
|--|---|--------|--------|--------|
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |        |        |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                  | (kN/m) | 305.03 | 305.03 |
| 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) | 43.96  | 43.96  |
| Sovr =   | $q_p \cdot (B4 + B5)$                         | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Pt =   | Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr                        | (kN/m) | 348.98 | 348.98 |

|   |                       |        |    |      |
|---|-----------------------|--------|----|------|
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |                       |        |    |      |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4 + B5)$   | (kN/m) | 59 | 88.5 |
| Sovr acc. Sism  | $q_s \cdot (B4 + B5)$ | (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) | 68.68  | 68.68  |
| Mm3 = | $Pm3*(B1+B2+B3+1/3 B4)$ | (kN/m) | 77.53  | 77.53  |
| Mm4 = | $Pm4*(B/2)$             | (kN/m) | 220.00 | 220.00 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$ | (kN/m) | 366.21 | 366.21 |

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

|         |                               |        |        |        |
|---------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| Mt1 =   | $Pt1*(B1+B2+B3+B4+0,5*B5)$    | (kN/m) | 870.85 | 870.85 |
| 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) | 65.49  | 65.49  |
| Msovr = | $Sovr*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00   |
| Mt =    | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$     | (kN/m) | 936.35 | 936.35 |

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

|                |                           |         |        |        |
|----------------|---------------------------|---------|--------|--------|
| Sovr acc. Stat | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 148.98 | 223.46 |
| 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) |  | 47.13 |
| Ps v = | $Pm*kv$ | (kN/m) |  | 23.56 |

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

|        |         |        |  |       |
|--------|---------|--------|--|-------|
| Ptsh = | $Pt*kh$ | (kN/m) |  | 64.68 |
| Ptsv = | $Pt*kv$ | (kN/m) |  | 32.34 |

- 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) |  | 74.06  |
| MPs3 h= | $kh*Pm3*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 40.35  |
| MPs4 h= | $kh*Pm4*(H2/2)$       | (kN/m) |  | 11.21  |
| MPs h=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$ | (kN/m) |  | 125.62 |

- 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) |  | 6.36  |
| MPs3 v= | $kv*Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)$ | (kN/m) |  | 7.18  |
| MPs4 v= | $kv*Pm4*(B/2)$           | (kN/m) |  | 20.39 |
| MPs v=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$    | (kN/m) |  | 33.93 |

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

|          |                           |         |  |        |
|----------|---------------------------|---------|--|--------|
| MPts1 h= | $kh*Pt1*(H2 + H3/2)$      | (kNm/m) |  | 271.35 |
| MPts2 h= | $kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) |  | 0.00   |
| MPts3 h= | $kh*Pt3*(H2+H3*2/3)$      | (kNm/m) |  | 49.15  |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$   | (kNm/m) |  | 320.49 |

- 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) |  | 80.70 |
| 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) |  | 8.31  |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                      | (kNm/m) |  | 89.01 |

## 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) 171.96 | 223.55  |
| 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) 44.96  | 67.44   |
| - Componente orizzontale condizione statica |  |               |         |
| Sth =                                       | $St \cdot \cos \delta$                         | (kN/m) 159.44 | 207.28  |
| Sqh perm =                                  | $Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$            | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Sqh acc =                                   | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$             | (kN/m) 41.68  | 62.53   |
| - Componente verticale condizione statica   |  |               |         |
| Stv =                                       | $St \cdot \sin \delta$                         | (kN/m) 64.42  | 83.74   |
| Sqv perm =                                  | $Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$            | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Sqv acc =                                   | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$             | (kN/m) 16.84  | 25.26   |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   | SLE           | STR/GEO |
|-------------|---|---------------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$              | (kN/m) 451.75 | 587.28  |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                           | (kN/m) 257.68 | 334.98  |
| 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) 177.16 | 265.74  |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$               | (kN/m) 67.37  | 101.05  |

### 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) 667.70 | 687.03 |
| N acc min = | $v + Sqv \text{ acc}$                                     | (kN/m) 16.84  | 25.26  |
| N acc max = | $v + Sqv \text{ acc} + q \text{ acc}$                     | (kN/m) 75.84  | 113.76 |

Risultante forze orizzontali (T)

|          |                               |               |        |
|----------|-------------------------------|---------------|--------|
| T perm = | $Sth + Sqh \text{ perm} + fp$ | (kN/m) 159.44 | 207.28 |
| T acc =  | $Sqh \text{ acc} + f$         | (kN/m) 41.68  | 62.53  |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|                 |            |                 |         |
|-----------------|------------|-----------------|---------|
| MM perm =       | $\Sigma M$ | (kNm/m) 1108.49 | 1050.26 |
| MM acc (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) -109.79 | -164.69 |
| MM acc (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) 39.18   | 58.77   |



## 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) | 171.96  | 171.96 |
| Sst1 sism = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 100.51  | 100.51 |
| 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) | 159.44 | 159.44 |
| Sst1h sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 93.19  | 93.19  |
| 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) | 64.42 | 64.42 |
| Sst1v sism = | $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 37.65 | 37.65 |
| 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) | 451.75  | 451.75 |
| MSst1 sism=  | $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 396.08  | 396.08 |
| MSst2 stat = | $Sst1v \text{ stat} \cdot B$              | (kN/m) | 257.68  | 257.68 |
| MSst2 sism = | $Sst1v \text{ sism} \cdot B$              | (kN/m) | 150.61  | 150.61 |
| 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) | 761.26 | 761.26 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q \text{ acc}$ | (kN/m) | 761.26 | 761.26 |

Risultante forze orizzontali (T)

|     |  |        |        |        |
|-----|--|--------|--------|--------|
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh$ | (kN/m) | 364.44 | 364.44 |
|-----|--|--------|--------|--------|

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |         |        |        |
|-------------|------------|---------|--------|--------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 539.84 | 539.84 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) | 539.84 | 539.84 |

## 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) 171.96 | 171.96  |
| Sst1 sism = | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$ | (kN/m) 72.63  | 72.63   |
| 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) 159.44 | 159.44 |
| Sst1h sism = | $Sst1\ sism \cdot \cos \delta$ | (kN/m) 67.34  | 67.34  |
| 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) 64.42 | 64.42 |
| Sst1v sism = | $Sst1\ sism \cdot \sin \delta$ | (kN/m) 27.21 | 27.21 |
| 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

- Condizione sismica -

|              |                                    | SLE           | STR/GEO |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------|
| MSst1 stat = | $Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) 451.75 | 451.75  |
| MSst1 sism=  | $Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) 286.19 | 286.19  |
| MSst2 stat = | $Sst1v\ stat \cdot B$              | (kN/m) 257.68 | 257.68  |
| MSst2 sism = | $Sst1v\ sism \cdot B$              | (kN/m) 108.83 | 108.83  |
| 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) 639.01 | 639.01 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q\ acc$       | (kN/m) 639.01 | 639.01 |

Risultante forze orizzontali (T)

|     |  |               |        |
|-----|--|---------------|--------|
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh$ | (kN/m) 338.59 | 338.59 |
|-----|--|---------------|--------|

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |                |        |
|-------------|------------|----------------|--------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) 607.94 | 607.94 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) 607.94 | 607.94 |

**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) |
| Fila n° 4                                | distanza asse bordo valle (d4) | 3.50    | (m) | interasse pali (i4) = | 0.80 (m) |
| Asse Baricentrico della Palificata (yGp) |                                | = 2.000 |     | (m)                   |          |

**16.1 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] |       |
| statico | Nmin   | 687.03 | 25.26   | 323.80  | 215.21 | 207.28 | 62.53 |
|         | Nmax   | 687.03 | 113.76  | 323.80  | 168.75 |        |       |
| sisma+  | Nmin   | 761.26 |         | 982.67  |        | 364.44 |       |
|         | Nmax   | 761.26 |         | 982.67  |        |        |       |
| sisma-  | Nmin   | 639.01 |         | 670.07  |        | 338.59 |       |
|         | Nmax   | 639.01 |         | 670.07  |        |        |       |

Sollecitazioni sui pali SLU

| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | N pali all.4 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 271.82       | 185.58       | 99.34        | 13.10        | 53.96  |      |
|         | Nmax | 278.37       | 199.56       | 120.75       | 41.95        |        |      |
| sisma+  | Nmin | 388.09       | 230.87       | 73.64        | -83.59       | 72.89  |      |
|         | Nmax | 388.09       | 230.87       | 73.64        | -83.59       |        |      |
| sisma-  | Nmin | 288.62       | 181.41       | 74.20        | -33.02       | 67.72  |      |
|         | Nmax | 288.62       | 181.41       | 74.20        | -33.02       |        |      |

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 | rara             | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permanenti | Accidentali |
|         |                  |            | 16.84     | 75.84     |            | 143.48    | 39.18     |            | 41.68       |
|         | freq. quasi perm | 667.70     | 12.63     | 56.881190 | 226.92     | 107.61    | 29.39     | 159.44     | 31.26       |
|         |                  | 0.00       | 0.00      |           | 0.00       | 0.00      |           | 0.00       |             |
| sisma+  | Nmin             | 761.26     |           |           | 982.67     |           |           | 364.44     |             |
|         | Nmax             | 761.26     |           |           | 982.67     |           |           |            |             |
| sisma-  | Nmin             | 639.01     |           |           | 670.07     |           |           | 338.59     |             |
|         | Nmax             | 639.01     |           |           | 670.07     |           |           |            |             |

Sollecitazioni sui pali SLE/  
caratteristiche

| caso            |       | N pali all.1 |        | N pali all.2 |        | N pali all.3 |       | N pali all.4 |        | T pali |      |
|-----------------|-------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|--------|--------|------|
|                 |       | [kN]         | [kN]   | [kN]         | [kN]   | [kN]         | [kN]  | [kN]         | [kN]   | [kN]   | [kN] |
| statico<br>Nmin | rara  | 188.00       | 37.80  | 151.69       | 14.85  | 115.39       | -8.11 | 79.08        | -31.07 | 31.89  | 8.34 |
|                 | freq. |              | 28.35  |              | 11.13  |              | -6.08 |              | -23.30 |        | 6.25 |
|                 | quasi |              | 0.00   |              | 0.00   |              | 0.00  |              | 0.00   |        | 0.00 |
|                 | perm  |              |        |              |        |              |       |              |        |        |      |
| statico<br>Nmax | rara  | 188.00       | 24.57  | 151.69       | 18.30  | 115.39       | 12.03 | 79.08        | 5.76   | 31.89  | 8.34 |
|                 | freq. |              | 18.43  |              | 13.73  |              | 9.03  |              | 4.32   |        | 6.25 |
|                 | quasi |              | 0.00   |              | 0.00   |              | 0.00  |              | 0.00   |        | 0.00 |
|                 | perm  |              |        |              |        |              |       |              |        |        |      |
| sisma+          | Nmin  | 388.09       | 230.87 | 73.64        | -83.59 | 72.89        |       |              |        |        |      |
|                 | Nmax  | 388.09       | 230.87 | 73.64        | -83.59 |              |       |              |        |        |      |
| sisma-          | Nmin  | 288.62       | 181.41 | 74.20        | -33.02 | 67.72        |       |              |        |        |      |
|                 | Nmax  | 288.62       | 181.41 | 74.20        | -33.02 |              |       |              |        |        |      |

Sollecitazioni massime sui pali

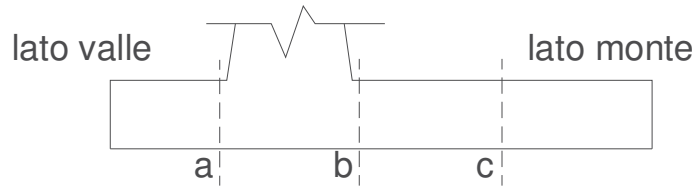
N max      **388.09**  
N min      **-83.59**

T max      **72.89**

## 16.2 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

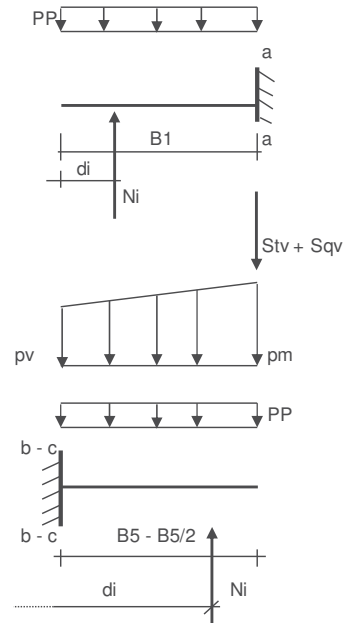
$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B^2 / 2 + p_{vb} \cdot B^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5$$

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

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

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

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



|              |     |   |        |                      |
|--------------|-----|---|--------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 27.50  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 133.20 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 133.20 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvc | = | 133.20 | (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 | 29.85   | 323.28 | -543.59 | -336.47 | -219.60 | -276.64 |
| sisma+  | 43.10   | 467.09 | -808.47 | -516.62 | -407.61 | -407.61 |
| sisma-  | 31.59   | 345.80 | -592.74 | -374.05 | -299.85 | -299.85 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

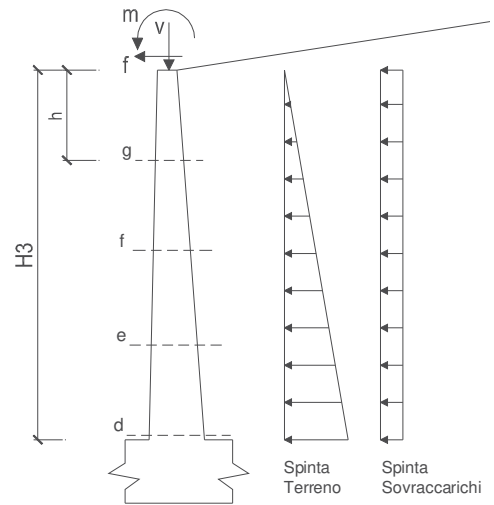
$$V_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



**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     | 7.40 | 387.51  | 201.41  | 0.00             | 588.92           | 0.00             | 144.30          | 144.30           |
| e-e     | 5.55 | 163.48  | 113.29  | 0.00             | 276.77           | 0.00             | 96.78           | 96.78            |
| f-f     | 3.70 | 48.44   | 50.35   | 0.00             | 98.79            | 0.00             | 56.89           | 56.89            |
| g-g     | 1.85 | 6.05    | 12.59   | 0.00             | 18.64            | 0.00             | 24.63           | 24.63            |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 7.40 | 157.10 | 54.43  | 0.00             | 211.53           |
| e-e     | 5.55 | 88.37  | 40.83  | 0.00             | 129.19           |
| f-f     | 3.70 | 39.27  | 27.22  | 0.00             | 66.49            |
| g-g     | 1.85 | 9.82   | 13.61  | 0.00             | 23.43            |

**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     | 7.40 | 298.09              | 281.87              | 0.00           | 0.00             | 84.99                | 664.95           | 0.00             | 157.67                  | 157.67           |
| e-e     | 5.55 | 125.75              | 118.92              | 0.00           | 0.00             | 43.88                | 288.55           | 0.00             | 105.75                  | 105.75           |
| f-f     | 3.70 | 37.26               | 35.23               | 0.00           | 0.00             | 17.76                | 90.25            | 0.00             | 62.16                   | 62.16            |
| g-g     | 1.85 | 4.66                | 4.40                | 0.00           | 0.00             | 4.00                 | 13.07            | 0.00             | 26.91                   | 26.91            |

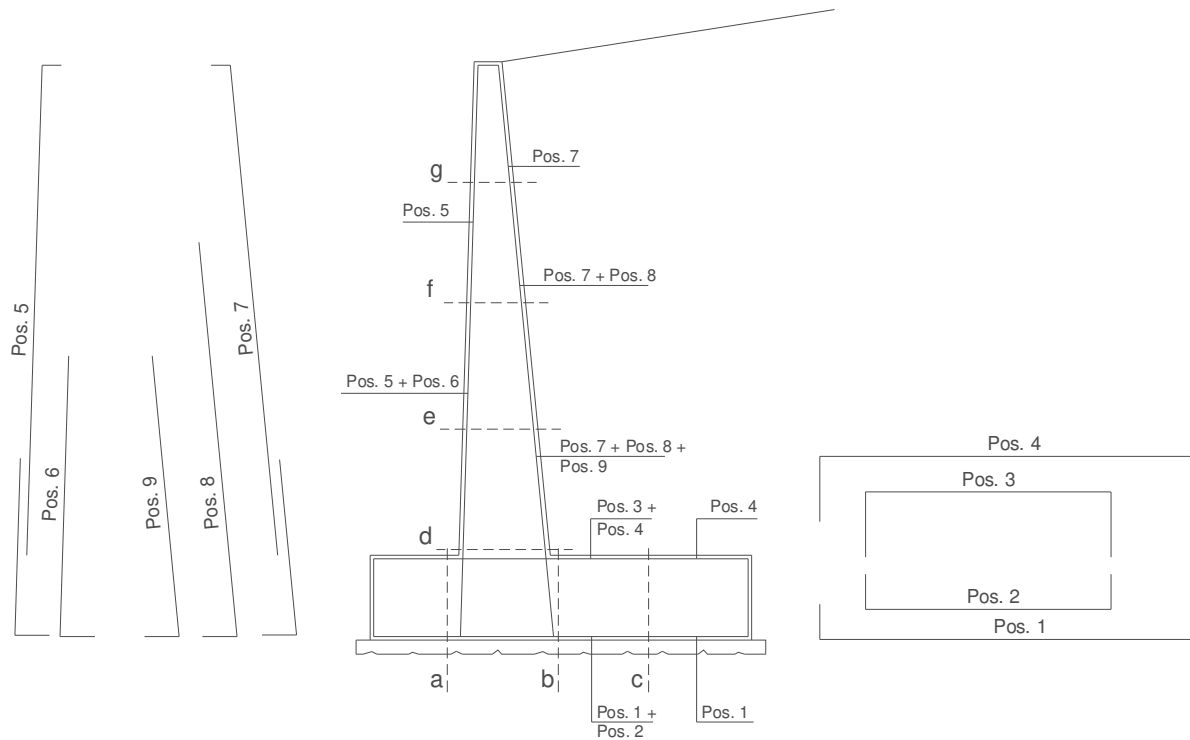
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m]         | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 7.40 | 120.85              | 76.18               | 0.00           | 0.00             | 26.74                | 223.77           |
| e-e     | 5.55 | 67.98               | 42.85               | 0.00           | 0.00             | 17.94                | 128.76           |
| f-f     | 3.70 | 30.21               | 19.05               | 0.00           | 0.00             | 10.54                | 59.80            |
| g-g     | 1.85 | 7.55                | 4.76                | 0.00           | 0.00             | 4.56                 | 16.88            |

**condizione sismica -**

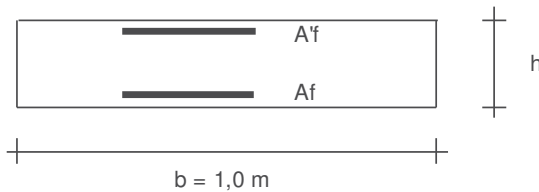
| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 7.40 | 298.09  | 203.67  | 0.00    | 0.00             | 84.99                | 586.75           | 0.00             | 130.93                  | 130.93           |
| e-e     | 5.55 | 125.75  | 85.92   | 0.00    | 0.00             | 43.88                | 255.56           | 0.00             | 87.81                   | 87.81            |
| f-f     | 3.70 | 37.26   | 25.46   | 0.00    | 0.00             | 17.76                | 80.48            | 0.00             | 51.62                   | 51.62            |
| g-g     | 1.85 | 4.66    | 3.18    | 0.00    | 0.00             | 4.00                 | 11.84            | 0.00             | 22.35                   | 22.35            |

| 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     | 7.40 | 120.85  | 55.05   | 0.00   | 0.00             | 26.74                | 202.63           |
| e-e     | 5.55 | 67.98   | 30.96   | 0.00   | 0.00             | 17.94                | 116.87           |
| f-f     | 3.70 | 30.21   | 13.76   | 0.00   | 0.00             | 10.54                | 54.52            |
| g-g     | 1.85 | 7.55    | 3.44    | 0.00   | 0.00             | 4.56                 | 15.56            |

**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       | 43.10    | 0.00     | 1.10     | 7.85               | 24.10              | 333.13    | 7.73        |
| b - b       | -808.47  | 0.00     | 1.10     | 24.10              | 7.85               | 948.81    | 1.17        |
| c - c       | -407.61  | 0.00     | 1.10     | 19.01              | 7.85               | 760.14    | 1.86        |
| d - d       | 664.95   | 157.67   | 1.11     | 30.32              | 22.07              | 1272.86   | 1.91        |
| e - e       | 288.55   | 105.75   | 0.95     | 30.32              | 22.07              | 1043.30   | 3.62        |
| f - f       | 98.79    | 56.89    | 0.78     | 30.32              | 15.71              | 819.02    | 8.29        |
| g - g       | 18.64    | 24.63    | 0.62     | 19.01              | 15.71              | 405.73    | 21.76       |

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



### 16.3 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 |         |         |            |         |         | <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 | 108.500 | 0                                   | 56.500      | 77.600       | 0                                   | 56.500      | 75.600  |
| 1           | 99.000  | 101.300 | 1          | 108.050 | 108.500 | 1                                   | 86.500      | 92.600       | 1                                   | 86.500      | 90.600  |
| 2           | 91.000  | 94.300  | 2          | 144.000 | 128.500 | 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     | 107.000      | 5                                   | 108.050     | 105.000 |
| 6           |         |         | 6          |         |         | 6                                   | 144.000     | 127.000      | 6                                   | 144.000     | 125.000 |
| 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> | <b>65</b> |
| <b>Xb</b> | <b>97</b> |
| <b>n1</b> | <b>10</b> |

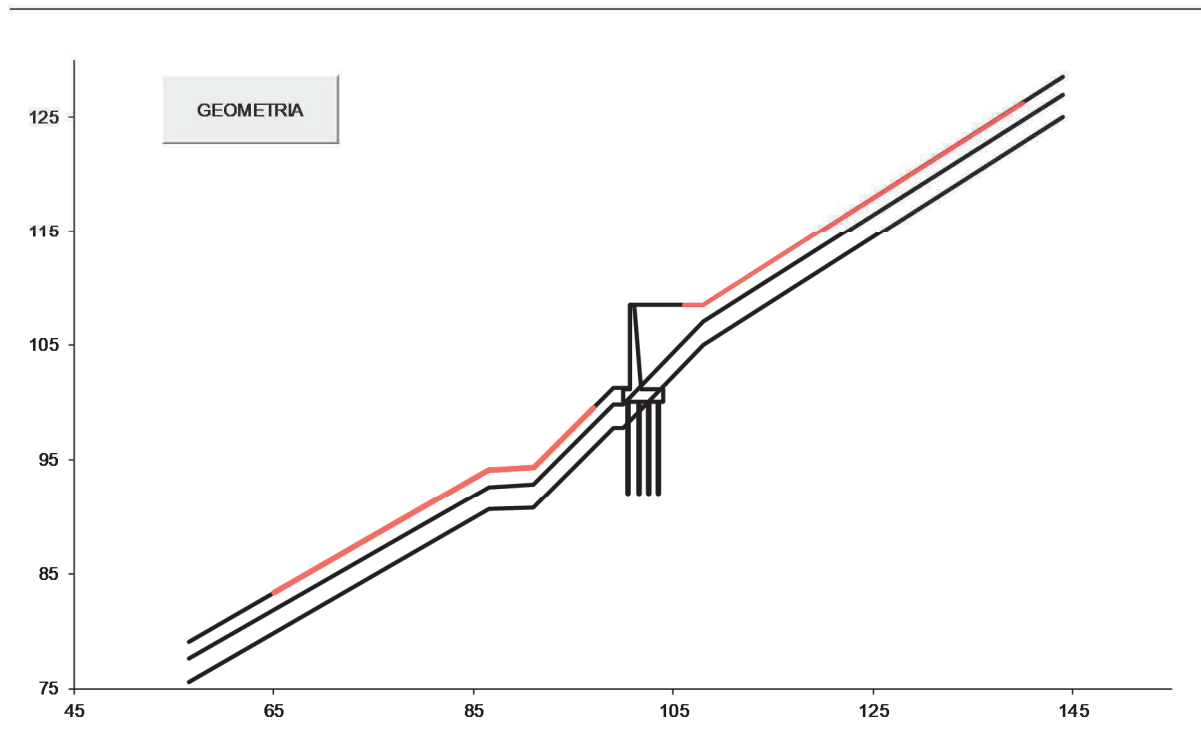
|           |            |
|-----------|------------|
| <b>Xc</b> | <b>106</b> |
| <b>Xd</b> | <b>140</b> |
| <b>n2</b> | <b>10</b>  |

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| <b>alfa min</b> | <b>50</b> |
| <b>alfa max</b> | <b>80</b> |
| <b>n alfa</b>   | <b>7</b>  |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b># superfici massimo</b> | <b>968</b> |
|----------------------------|------------|

**Caratteristiche dei pali**

|                             |        |                   |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Lunghezza pali              | 8.00   | 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                |



### 16.3.1 Risultati dell'analisi di stabilità

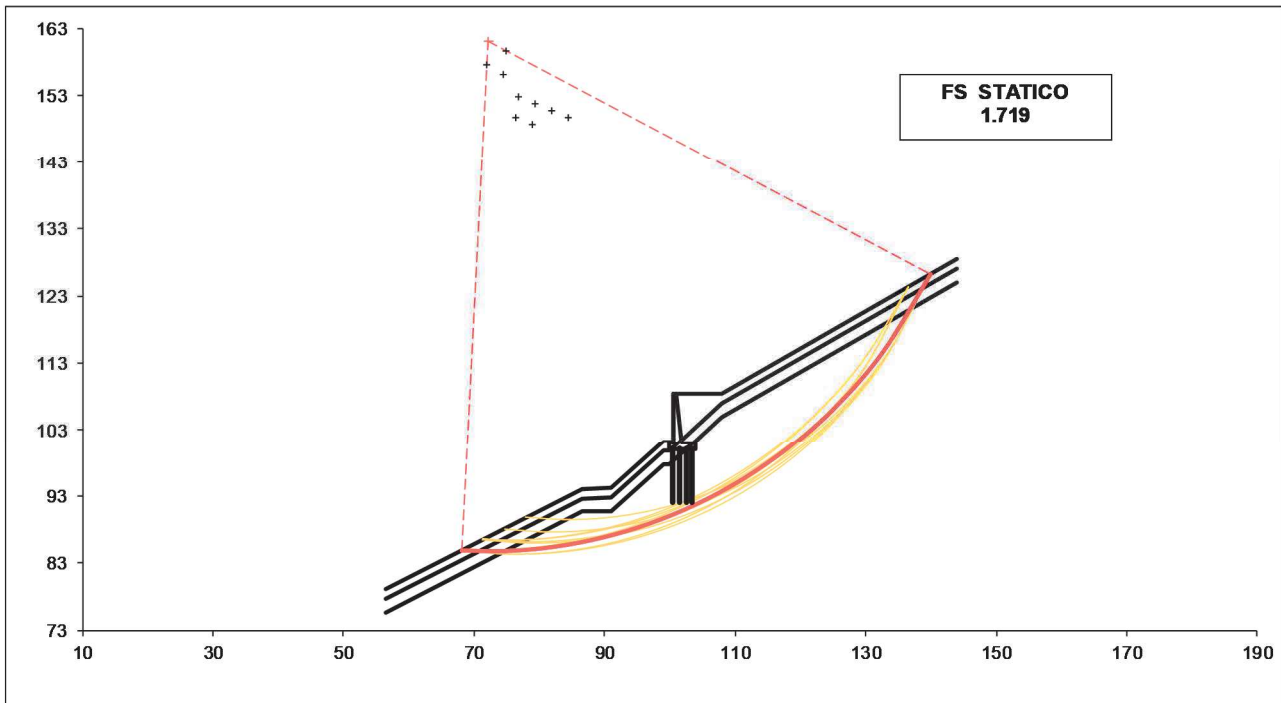
Condizione di Carico

STATICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO



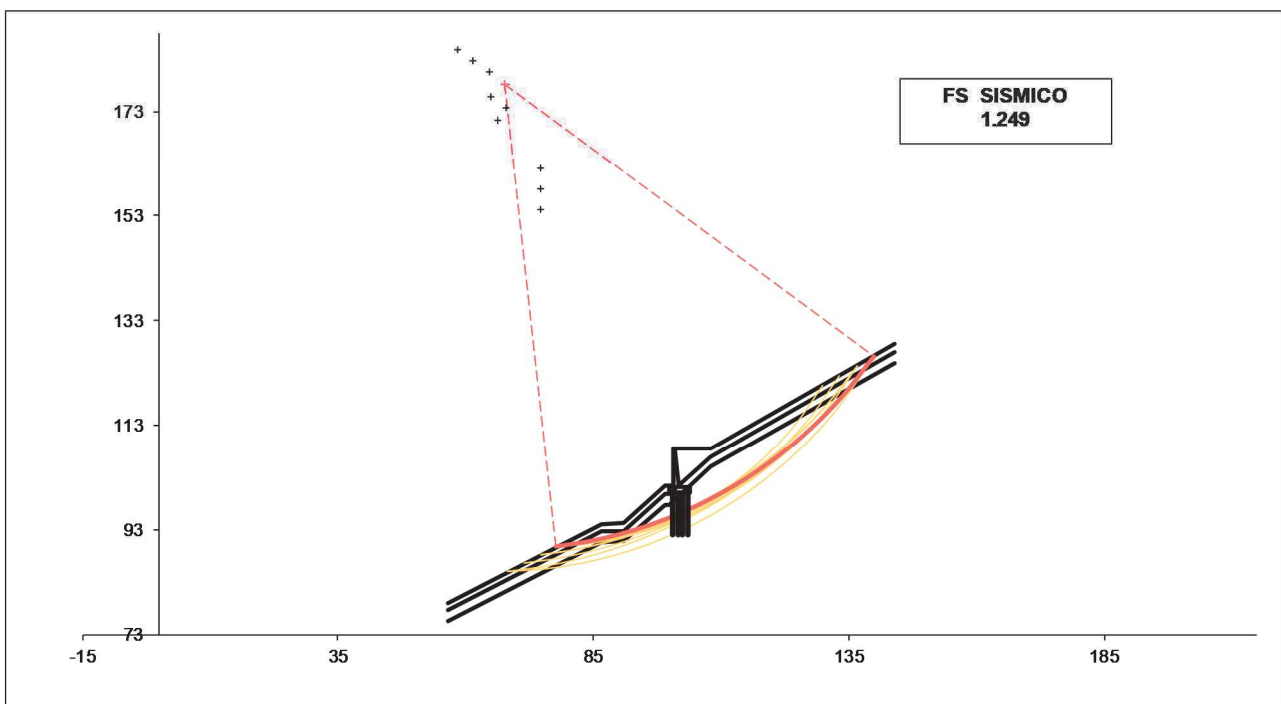
Condizione di Carico

SISMICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO



## 16.4 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:

IPE     INP     HEA     HEB     HEM     Tubi     ALTRO  
                   

## 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

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                  |

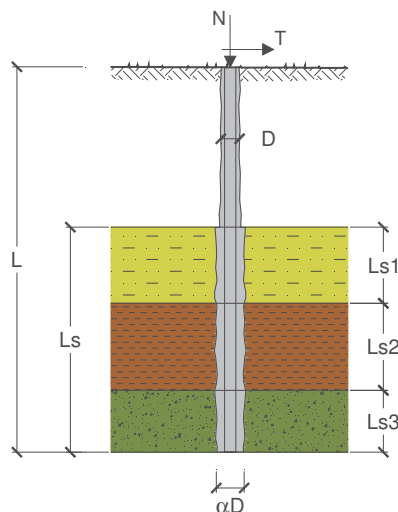
### 16.4.1 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

**Sollecitazioni Agenti:**

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | 388.09  |
| T (kN) |            |            | 72.89   |



#### 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                 | 0.077                  | 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**

$$Qp = \%Punta \cdot Ql$$

(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

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Fs = 1.31$

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

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

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

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

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

$\eta = 110.38$

**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 = 18.47 (kNm)**

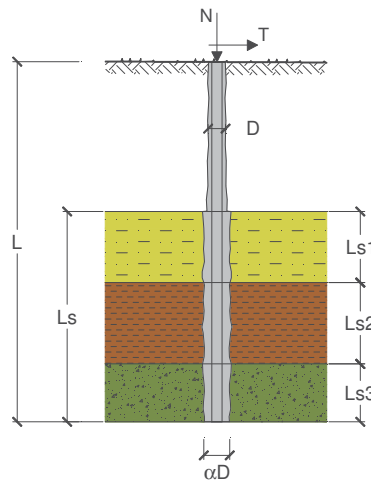
**16.4.2 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione**

OPERA:

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | -83.59  |
| T (kN) |            |            | 72.89   |



**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $ls_i$ (m) | $\alpha$ (-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$ (m) | $s_i$ media (MPa) | $s_i$ minima (MPa) | $s_i$ calcolo (MPa) | $Qsi$ (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 = 5.60**

---

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

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

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

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

$$b = 1.973 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 18.47 \quad (kNm)$$

## 16.5 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>pl,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 ε                     | 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      | CLASSE 1        |        |       |

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

|                   |      |                    |                              |
|-------------------|------|--------------------|------------------------------|
| V <sub>Ed</sub>   | 73   | [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 |

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}] \quad \text{FS} \quad 8.48$$

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE

|                   |    |       |                                 |
|-------------------|----|-------|---------------------------------|
| M <sub>Ed</sub>   | 18 | [kNm] |                                 |
| M <sub>c,Rd</sub> | 85 | [kNm] | Resistenza a flessione del tubo |
|                   |    |       | FS 4.59                         |

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

|                   |      |      |   |
|-------------------|------|------|---|
| N <sub>Ed</sub>   | 388  | [kN] |   |
| N <sub>c,Rd</sub> | 1681 | [kN] | Resistenza a compressione/trazione del tubo |
|                   |      |      | FS 4.33                                     |



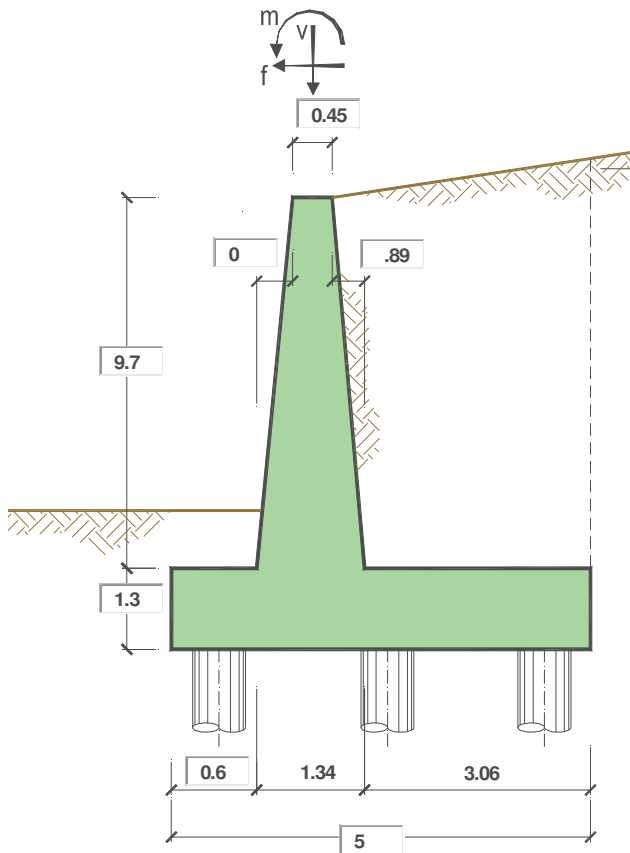
**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|           |     |       |                |     |       |    |         |
|-----------|-----|-------|----------------|-----|-------|----|---------|
| $V_{SLE}$ | 73  | [kN]  | $\tau$         | 23  | [MPa] |    |         |
| $M_{SLE}$ | 18  | [kNm] | $\sigma_M$     | 99  | [MPa] |    |         |
| $N_{SLE}$ | 388 | [kN]  | $\sigma_N$     | 78  | [MPa] |    |         |
|           |     |       | $\sigma_{TOT}$ | 182 | [MPa] | ok |         |
|           |     |       |                |     |       |    | FS 1.86 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|           |      |       |                |     |       |    |         |
|-----------|------|-------|----------------|-----|-------|----|---------|
| $V_{SLE}$ | 54   | [kN]  | $\tau$         | 17  | [MPa] |    |         |
| $M_{SLE}$ | 14   | [kNm] | $\sigma_M$     | 74  | [MPa] |    |         |
| $N_{SLE}$ | 287  | [kN]  | $\sigma_N$     | 58  | [MPa] |    |         |
|           |      |       | $\sigma_{TOT}$ | 135 | [MPa] | ok |         |
| coeff.    | 1.35 |       |                |     |       |    | FS 2.51 |

# 17 Allegato C: verifica del muro tipo C

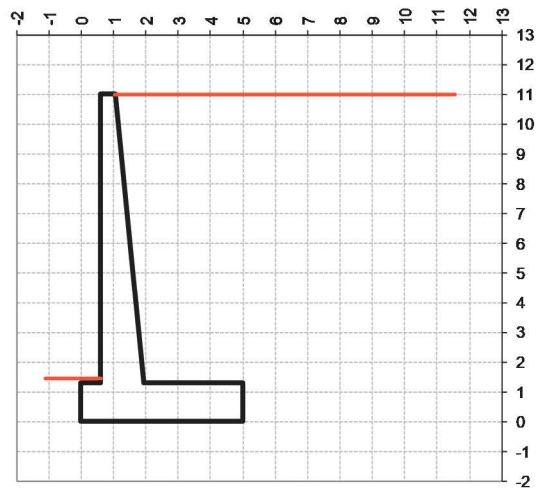


**OPERA** 1.30x5.00

**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 | $\gamma$      | $\gamma_f$      | 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            | (°)                  | $\varphi'$                   | 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 | <input checked="" type="radio"/> no |

|                        |   | <b>SLE</b> |       | <b>STR/GEO</b> |       |
|------------------------|---|------------|-------|----------------|-------|
|                        |   |            |       |                |       |
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico         | $k_a$      | 0.264 |                | 0.264 |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma + | $k_{as+}$  | 0.383 |                | 0.383 |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma - | $k_{as-}$  | 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> )   | $q_p$                        | 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  |
| 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> )   | $q_s$                        | 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**

|  |  | <b>SLE</b> | <b>STR/GEO</b> |
|--|--|------------|----------------|
| - Peso del Muro (Pm)   |  |            |                |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m)     | 0.00           |
| Pm2 =  | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m)     | 109.13         |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m)     | 107.91         |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m)     | 162.50         |
| Pm =   | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                      | (kN/m)     | 379.54         |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |  |            |                |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$                | (kN/m)     | 534.28         |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m)     | 0.00           |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$              | (kN/m)     | 77.70          |
| Sovr =   | $q_p \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m)     | 0.00           |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                     | (kN/m)     | 611.97         |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |  |            |                |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                            | (kN/m)     | 79             |
| Sovr acc. Sism   | $q_s \cdot (B4+B5)$                          | (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) | 90.03  | 90.03  |
| Mm3 = | $Pm3*(B1+B2+B3+1/3 B4)$ | (kN/m) | 145.32 | 145.32 |
| Mm4 = | $Pm4*(B/2)$             | (kN/m) | 406.25 | 406.25 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$ | (kN/m) | 641.60 | 641.60 |

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

|         |                               |        |         |         |
|---------|-------------------------------|--------|---------|---------|
| Mt1 =   | $Pt1*(B1+B2+B3+B4+0,5*B5)$    | (kN/m) | 1853.94 | 1853.94 |
| 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) | 127.68  | 127.68  |
| Msovr = | $Sovr*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kN/m) | 0.00    | 0.00    |
| Mt =    | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$     | (kN/m) | 1981.62 | 1981.62 |

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

|                |                           |         |        |        |
|----------------|---------------------------|---------|--------|--------|
| Sovr acc. Stat | $*(B1+B2+B3+1/2*(B4+B5))$ | (kNm/m) | 238.98 | 358.46 |
| 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) |  | 70.34 |
| Ps v = | $Pm*kv$ | (kN/m) |  | 35.17 |

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

|        |         |        |  |        |
|--------|---------|--------|--|--------|
| Ptsh = | $Pt*kh$ | (kN/m) |  | 113.42 |
| Ptsv = | $Pt*kv$ | (kN/m) |  | 56.71  |

- 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) |  | 124.38 |
| MPs3 h= | $kh*Pm3*(H2+H3/3)$    | (kN/m) |  | 90.66  |
| MPs4 h= | $kh*Pm4*(H2/2)$       | (kN/m) |  | 19.58  |
| MPs h=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$ | (kN/m) |  | 234.62 |

- 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) |  | 8.34  |
| MPs3 v= | $kv*Pm3*(B1+B2+B3+B4/3)$ | (kN/m) |  | 13.47 |
| MPs4 v= | $kv*Pm4*(B/2)$           | (kN/m) |  | 37.64 |
| MPs v=  | $MPs1+MPs2+MPs3+MPs4$    | (kN/m) |  | 59.45 |

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

|          |                           |         |  |        |
|----------|---------------------------|---------|--|--------|
| MPts1 h= | $kh*Pt1*(H2 + H3/2)$      | (kNm/m) |  | 608.95 |
| MPts2 h= | $kh*Pt2*(H2 + H3 + H4/3)$ | (kNm/m) |  | 0.00   |
| MPts3 h= | $kh*Pt3*(H2+H3*2/3)$      | (kNm/m) |  | 111.84 |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$   | (kNm/m) |  | 720.79 |

- 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) |  | 171.79 |
| 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) |  | 17.17  |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                      | (kNm/m) |  | 188.96 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |  | SLE    | STR/GEO |
|-----------|--|--------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot ka$ | 288.00 | 374.39  |
| Sq perm = | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | 0.00   | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | 58.18  | 87.27   |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                                    |        |        |
|------------|------------------------------------|--------|--------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$             | 267.03 | 347.13 |
| Sqh perm = | $perm \cdot \cos \delta$           | 0.00   | 0.00   |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$ | 53.94  | 80.92  |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                    |        |        |
|------------|------------------------------------|--------|--------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$             | 107.89 | 140.25 |
| Sqv perm = | $perm \cdot \sin \delta$           | 0.00   | 0.00   |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$ | 21.79  | 32.69  |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   | SLE    | STR/GEO |
|-------------|---|--------|---------|
| MSt1 =      | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$              | 979.09 | 1272.82 |
| MSt2 =      | $Stv \cdot B$                           | 539.43 | 701.25  |
| MSq1 perm = | $Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | 0.00   | 0.00    |
| MSq2 perm = | $Sqv \text{ perm} \cdot B$              | 0.00   | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$  | 296.69 | 445.04  |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$               | 108.97 | 163.46  |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

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

### AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

|             |   |         |         |
|-------------|---|---------|---------|
| N perm =    | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv \text{ perm} + Sqv \text{ acc}$ | 1099.40 | 1131.76 |
| N acc min = | $v + Sqv \text{ acc}$                                     | 21.79   | 32.69   |
| N acc max = | $v + Sqv \text{ acc} + q \text{ acc}$                     | 100.79  | 151.19  |

Risultante forze orizzontali (T)

|          |                               |        |        |
|----------|-------------------------------|--------|--------|
| T perm = | $Sth + Sqh \text{ perm} + fp$ | 267.03 | 347.13 |
| T acc =  | $Sqh \text{ acc} + f$         | 53.94  | 80.92  |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|                 |            |         |         |
|-----------------|------------|---------|---------|
| MM perm =       | $\Sigma M$ | 2183.55 | 2051.65 |
| MM acc (Nmin) = | $\Sigma M$ | -187.72 | -281.58 |
| MM acc (Nmax) = | $\Sigma M$ | 51.26   | 76.88   |

## 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) | 288.00  |
| Sst1 sism | $= 0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 168.33  |
| Ssq1 perm | $= qp \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00    |
| Ssq1 acc  | $= qs \cdot (H2+H3+H4) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione sismica

+

|            |   |        |        |
|------------|---|--------|--------|
| Sst1h stat | $= Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 267.03 |
| Sst1h sism | $= Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 156.08 |
| Ssq1h perm | $= Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00   |
| Ssq1h acc  | $= Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 0.00   |

- Componente verticale condizione sismica +

|            |   |        |        |
|------------|---|--------|--------|
| Sst1v stat | $= Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 107.89 |
| Sst1v sism | $= Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 63.06  |
| Ssq1v perm | $= Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00   |
| Ssq1v acc  | $= Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 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) | 979.09  |
| MSst1 sism | $= Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 858.42  |
| MSst2 stat | $= Sst1v \text{ stat} \cdot B$              | (kN/m) | 539.43  |
| MSst2 sism | $= Sst1v \text{ sism} \cdot B$              | (kN/m) | 315.30  |
| MSsq1      | $= Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4)/2)$              | (kN/m) | 0.00    |
| MSsq2      | $= Ssq1v \cdot B$                           | (kN/m) | 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) | 1254.33 |
| Nmax | $= Pm + Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv + q \text{ acc}$ | (kN/m) | 1254.33 |

Risultante forze orizzontali

|   |   |        |        |
|---|---|--------|--------|
| T | $= Sst1h + Ssq1h + fp + fs + Ps h + Ptsh$ | (kN/m) | 606.86 |
|---|---|--------|--------|

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|           |              |         |        |
|-----------|--------------|---------|--------|
| MM (Nmin) | $= \Sigma M$ | (kNm/m) | 933.44 |
| MM (Nmax) | $= \Sigma M$ | (kNm/m) | 933.44 |

## 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) 288.00 | 288.00  |
| Sst1 sism =                                   | $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4)^2 \cdot kas - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) 121.63 | 121.63  |
| 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) 267.03 | 267.03  |
| Sst1h sism =                                  | $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) 112.78 | 112.78  |
| 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) 107.89 | 107.89  |
| Sst1v sism =                                  | $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) 45.56  | 45.56   |
| 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

|                        |   | SLE           | STR/GEO |
|------------------------|---|---------------|---------|
| - Condizione sismica - |   |               |         |
| MSst1 stat =           | $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4)/3)$ | (kN/m) 979.09 | 979.09  |
| MSst1 sism=            | $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) 620.27 | 620.27  |
| MSst2 stat =           | $Sst1v \text{ stat} \cdot B$              | (kN/m) 539.43 | 539.43  |
| MSst2 sism =           | $Sst1v \text{ sism} \cdot B$              | (kN/m) 227.82 | 227.82  |
| 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) 1053.08 | 1053.08 |
| Nmax = | $Pm+Pt+vp+vs+Sst1v+Ssq1v+Ps v+Ptsv+q \text{ acc}$ | (kN/m) 1053.08 | 1053.08 |

Risultante forze orizzontali

|     |   |               |        |
|-----|---|---------------|--------|
| (T) |   |               |        |
| T = | $Sst1h + Ssq1h + fp + fs + Ps h + Ptsh$ | (kN/m) 563.56 | 563.56 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|             |            |                 |         |
|-------------|------------|-----------------|---------|
| MM (Nmin) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) 1084.13 | 1084.13 |
| MM (Nmax) = | $\Sigma M$ | (kNm/m) 1084.13 | 1084.13 |

**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) |
| Fila n° 4                                | distanza asse bordo valle (d4) | 3.50 | (m) | interasse pali (i4) = | 0.80 | (m) |
| Fila n° 5                                | distanza asse bordo valle (d5) | 4.50 | (m) | interasse pali (i5) = | 0.80 | (m) |
| Asse Baricentrico della Palificata (yGp) |                                |      | =   | 2.500                 |      | (m) |

**17.1 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       | 1131.76     | 32.69      | 777.75      | 363.31     | 347.13      | 80.92 |
|         | Nmax       | 1131.76     | 151.19     | 777.75      | 301.10     |             |       |
| sisma+  | Nmin       | 1254.33     |            | 2202.39     |            | 606.86      |       |
|         | Nmax       | 1254.33     |            | 2202.39     |            |             |       |
| sisma-  | Nmin       | 1053.08     |            | 1548.58     |            | 563.56      |       |
|         | Nmax       | 1053.08     |            | 1548.58     |            |             |       |

Sollecitazioni sui pali SLU

| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | N pali all.4 | N pali all.5 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 368.88       | 277.60       | 186.31       | 95.03        | 3.74         | 68.49  |      |
|         | Nmax | 377.89       | 291.58       | 205.27       | 118.96       | 32.66        |        |      |
| sisma+  | Nmin | 553.08       | 376.88       | 200.69       | 24.50        | -151.69      | 97.10  |      |
|         | Nmax | 553.08       | 376.88       | 200.69       | 24.50        | -151.69      |        |      |
| sisma-  | Nmin | 416.27       | 292.38       | 168.49       | 44.61        | -79.28       | 90.17  |      |
|         | Nmax | 416.27       | 292.38       | 168.49       | 44.61        | -79.28       |        |      |

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]       |
|                            | Permanenti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permane nti | Acc. Nmin | Acc. Nmax | Permane nti | Accident ali |
| statico<br>o rara<br>freq. | 1099.40    | 21.79     | 100.79    | 564.94      | 242.21    | 51.26     | 267.03      | 53.94        |
|                            |            | 16.35     | 75.60     |             | 181.66    | 38.44     |             | 40.46        |



|         |            |  |         |      |  |         |      |  |        |
|---------|------------|--|---------|------|--|---------|------|--|--------|
|         | quasi perm |  | 0.00    | 0.00 |  | 0.00    | 0.00 |  | 0.00   |
| sism a+ | Nmin       |  | 1254.33 |      |  | 2202.39 |      |  | 606.86 |
|         | Nmax       |  | 1254.33 |      |  | 2202.39 |      |  |        |
| sism a- | Nmin       |  | 1053.08 |      |  | 1548.58 |      |  | 563.56 |
|         | Nmax       |  | 1053.08 |      |  | 1548.58 |      |  |        |

Sollecitazioni sui pali  
SLE/ caratteristiche

| caso         | N pali all.1 |             | N pali all.2 |             | N pali all.3 |             | N pali all.4 |             | N pali all.5 |             | T pali     |             |
|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|
|              | [kN]         | [kN]        | [kN]         | [kN]        | [kN]         | [kN]        | [kN]         | [kN]        | [kN]         | [kN]        | [kN]       | [kN]        |
| statico Nmin | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti | Accidentali |
|              |              | 42.24       |              | 22.86       |              | 3.49        |              | -           |              | -           |            | 8.63        |
|              | 266.29       | 31.68       | 221.10       | 17.15       | 175.90       | 2.62        | 130.71       | 11.92       | 85.51        | 26.45       | 42.72      | 6.47        |
|              | quasi perm   |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00       |             |
| statico Nmax | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti   | Accidentali | Permanenti | Accidentali |
|              |              | 24.33       |              | 20.23       |              | 16.13       |              | 12.03       |              | 7.93        |            | 8.63        |
|              | 266.29       | 18.25       | 221.10       | 15.17       | 175.90       | 12.10       | 130.71       | 9.02        | 85.51        | 5.94        | 42.72      | 6.47        |
|              | quasi perm   |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00         |             | 0.00       |             |
| sisma +      | Nmin         | 553.08      | 376.88       | 200.69      | 24.50        | -151.69     | 97.10        |             |              |             |            |             |
|              | Nmax         | 553.08      | 376.88       | 200.69      | 24.50        | -151.69     | 97.10        |             |              |             |            |             |
| sisma -      | Nmin         | 416.27      | 292.38       | 168.49      | 44.61        | -79.28      | 90.17        |             |              |             |            |             |
|              | Nmax         | 416.27      | 292.38       | 168.49      | 44.61        | -79.28      | 90.17        |             |              |             |            |             |

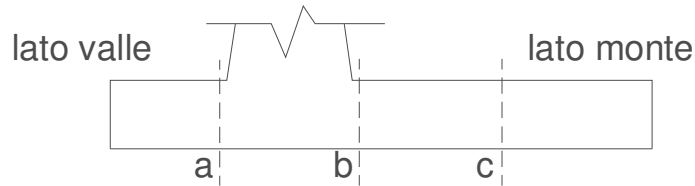
Sollecitazioni massime sui pali

N max **553.08**  
 N min **-151.69**  
  
 T max **97.10**

## 17.2 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

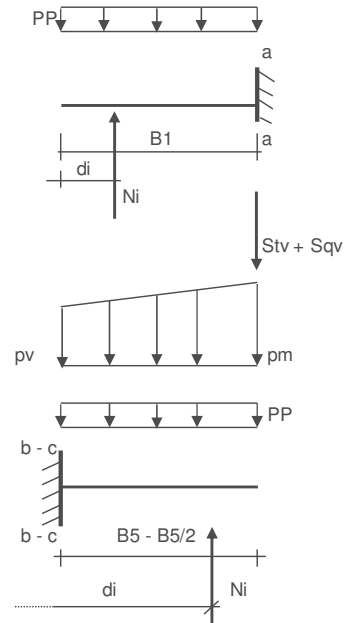
$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B^2 / 2 + p_{vb} \cdot B^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (Stv + Sqv) \cdot B_5$$

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

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

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

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



|              |     |   |        |                      |
|--------------|-----|---|--------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 32.50  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 174.60 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 174.60 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvc | = | 174.60 | (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 | 41.39   | 441.60 | -1171.11 | -450.32 | -498.62 | -366.34 |
| sisma+  | 62.74   | 670.04 | -1879.68 | -771.51 | -676.15 | -676.15 |
| sisma-  | 46.73   | 502.64 | -1398.08 | -561.18 | -484.29 | -484.29 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

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

$$N_{ext} = v$$

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

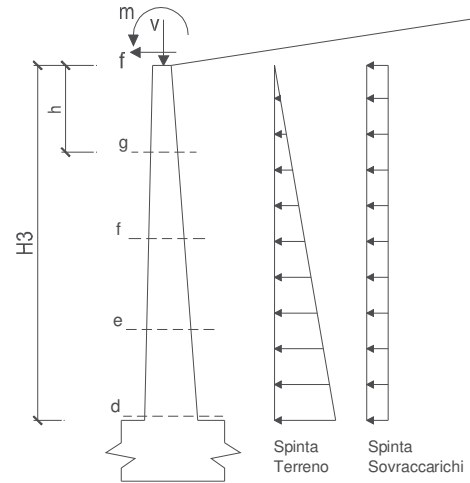
$$V_{t\ stat} = \frac{1}{2} K_{a\ orizz.} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



**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     | 9.70 | 872.78  | 346.07  | 0.00             | 1218.85          | 0.00             | 217.04          | 217.04           |
| e-e     | 7.28 | 368.20  | 194.66  | 0.00             | 562.87           | 0.00             | 142.54          | 142.54           |
| f-f     | 4.85 | 109.10  | 86.52   | 0.00             | 195.61           | 0.00             | 81.54           | 81.54            |
| g-g     | 2.43 | 13.64   | 21.63   | 0.00             | 35.27            | 0.00             | 34.03           | 34.03            |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 9.70 | 269.93 | 71.35  | 0.00             | 341.29           |
| e-e     | 7.28 | 151.84 | 53.52  | 0.00             | 205.35           |
| f-f     | 4.85 | 67.48  | 35.68  | 0.00             | 103.16           |
| g-g     | 2.43 | 16.87  | 17.84  | 0.00             | 34.71            |

**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     | 9.70 | 671.37              | 634.85              | 0.00           | 0.00             | 162.75               | 1468.97          | 0.00             | 237.15                  | 237.15           |
| e-e     | 7.28 | 283.23              | 267.83              | 0.00           | 0.00             | 82.45                | 633.52           | 0.00             | 155.75                  | 155.75           |
| f-f     | 4.85 | 83.92               | 79.36               | 0.00           | 0.00             | 32.60                | 195.88           | 0.00             | 89.10                   | 89.10            |
| g-g     | 2.43 | 10.49               | 9.92                | 0.00           | 0.00             | 7.14                 | 27.55            | 0.00             | 37.18                   | 37.18            |

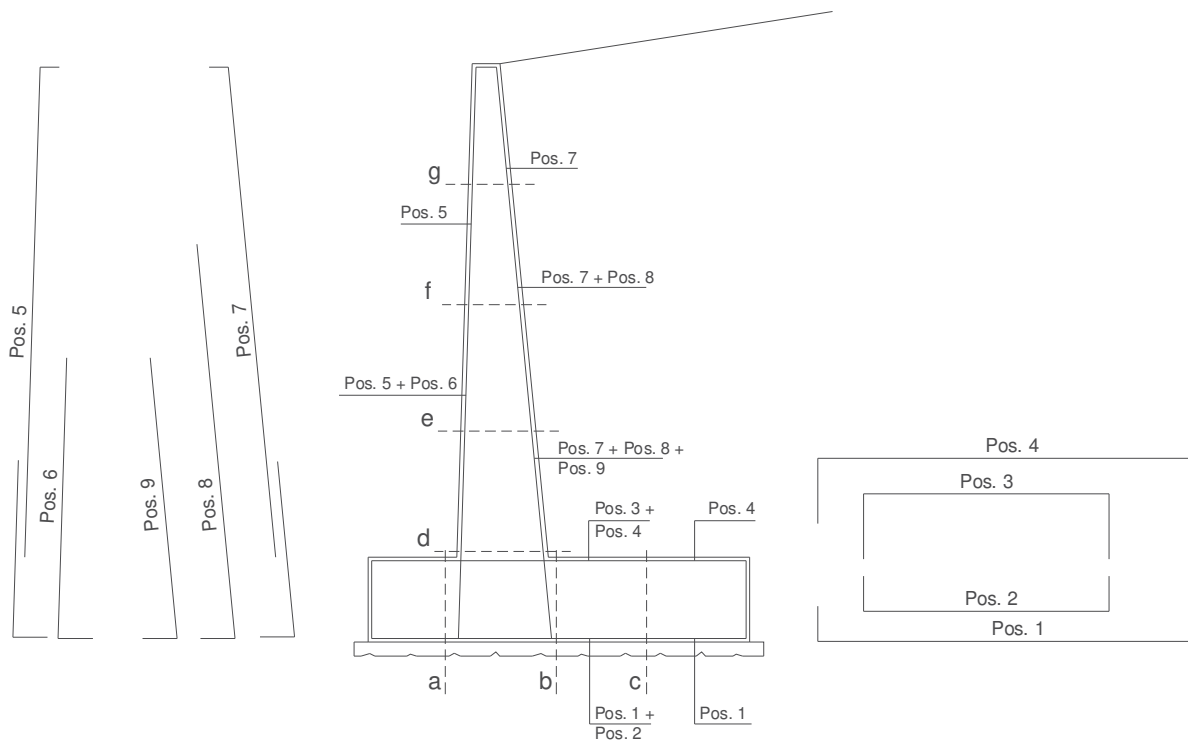
| sezione | h    | V <sub>t stat</sub> | V <sub>t sism</sub> | V <sub>q</sub> | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]              | [kN/m]              | [kN/m]         | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 9.70 | 207.64              | 130.90              | 0.00           | 0.00             | 40.22                | 378.76           |
| e-e     | 7.28 | 116.80              | 73.63               | 0.00           | 0.00             | 26.42                | 216.84           |
| f-f     | 4.85 | 51.91               | 32.72               | 0.00           | 0.00             | 15.11                | 99.75            |
| g-g     | 2.43 | 12.98               | 8.18                | 0.00           | 0.00             | 6.31                 | 27.46            |

**condizione sismica -**

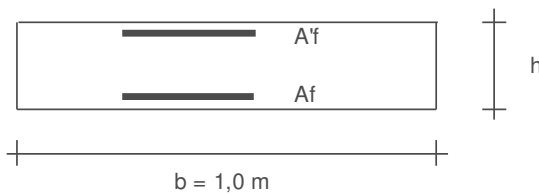
| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 9.70 | 671.37  | 458.72  | 0.00    | 0.00             | 162.75               | 1292.84          | 0.00             | 196.93                  | 196.93           |
| e-e     | 7.28 | 283.23  | 193.52  | 0.00    | 0.00             | 82.45                | 559.21           | 0.00             | 129.34                  | 129.34           |
| f-f     | 4.85 | 83.92   | 57.34   | 0.00    | 0.00             | 32.60                | 173.87           | 0.00             | 73.98                   | 73.98            |
| g-g     | 2.43 | 10.49   | 7.17    | 0.00    | 0.00             | 7.14                 | 24.80            | 0.00             | 30.87                   | 30.87            |

| 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     | 9.70 | 207.64  | 94.58   | 0.00   | 0.00             | 40.22                | 342.44           |
| e-e     | 7.28 | 116.80  | 53.20   | 0.00   | 0.00             | 26.42                | 196.42           |
| f-f     | 4.85 | 51.91   | 23.65   | 0.00   | 0.00             | 15.11                | 90.67            |
| g-g     | 2.43 | 12.98   | 5.91    | 0.00   | 0.00             | 6.31                 | 25.19            |

**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       | 62.74    | 0.00     | 1.30     | 11.31              | 45.24              | 585.08    | 9.33        |
| b - b       | -1879.68 | 0.00     | 1.30     | 45.24              | 11.31              | 2079.23   | 1.11        |
| c - c       | -676.15  | 0.00     | 1.30     | 22.62              | 11.31              | 1078.46   | 1.59        |
| d - d       | 1468.97  | 237.15   | 1.34     | 33.93              | 22.07              | 1783.17   | 1.21        |
| e - e       | 633.52   | 155.75   | 1.12     | 33.93              | 22.07              | 1422.01   | 2.24        |
| f - f       | 195.88   | 89.10    | 0.90     | 33.93              | 15.71              | 1082.21   | 5.52        |
| g - g       | 35.27    | 34.03    | 0.67     | 22.62              | 15.71              | 532.84    | 15.11       |

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

### 17.3 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 |         |         |            |         |         | <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 | 111.000 | 0                                   | 56.500      | 77.600       | 0                                   | 56.500      | 75.600  |
| 1           | 99.000  | 101.300 | 1          | 108.050 | 111.000 | 1                                   | 86.500      | 92.600       | 1                                   | 86.500      | 90.600  |
| 2           | 91.000  | 94.300  | 2          | 144.000 | 131.000 | 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     | 109.500      | 5                                   | 108.050     | 107.500 |
| 6           |         |         | 6          |         |         | 6                                   | 144.000     | 129.500      | 6                                   | 144.000     | 127.500 |
| 7           |         |         | 7          |         |         | 7                                   |             |              | 7                                   |             |         |
| 8           |         |         | 8          |         |         | 8                                   |             |              | 8                                   |             |         |
| 9           |         |         | 9          |         |         | 9                                   |             |              | 9                                   |             |         |
| 10          |         |         | 10         |         |         | 10                                  |             |              | 10                                  |             |         |

#### Sovraccarichi

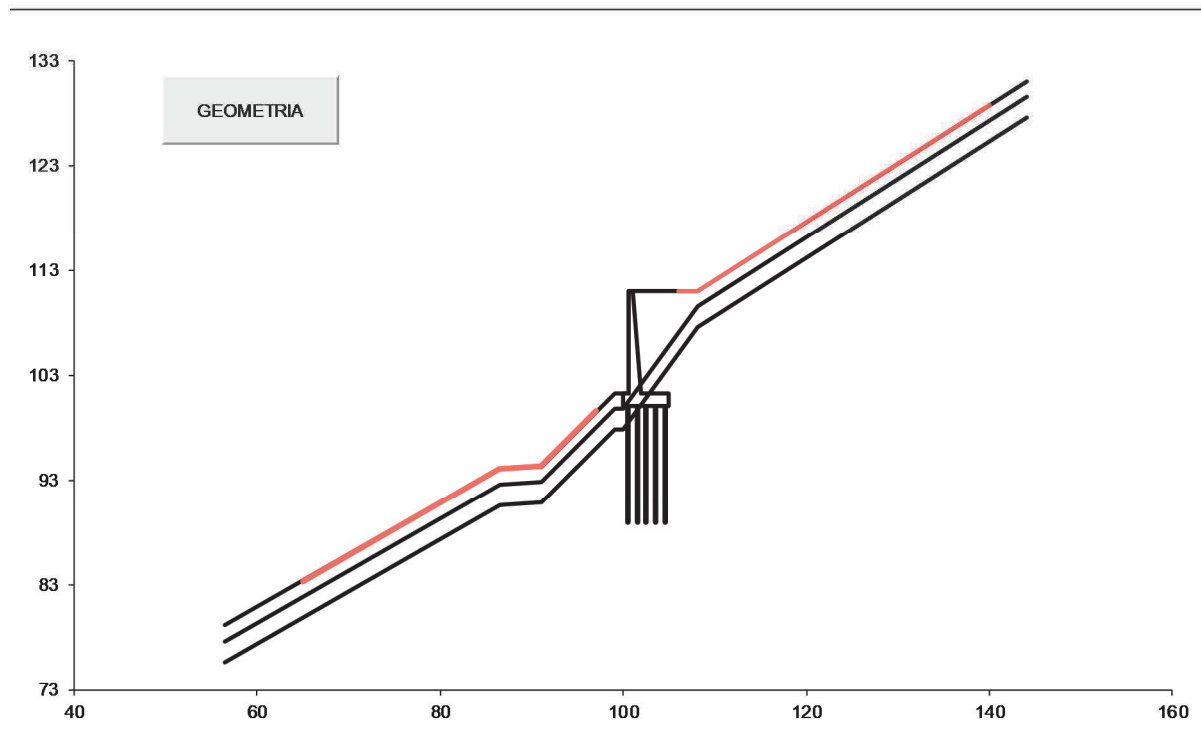
|  | $X_{in}$ | $Q_{in}$ | $X_{fin}$ | $Q_{fin}$ | % sisma |
|--|----------|----------|-----------|-----------|---------|
| sovraccarico 1 <input checked="" type="checkbox"/> | 102.050  | 26       | 107.050   | 26        | 38%     |
| sovraccarico 2 <input type="checkbox"/>            |          |  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

#### 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              | 11.00  | 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                |



### 17.3.1 Risultati dell'analisi di stabilità

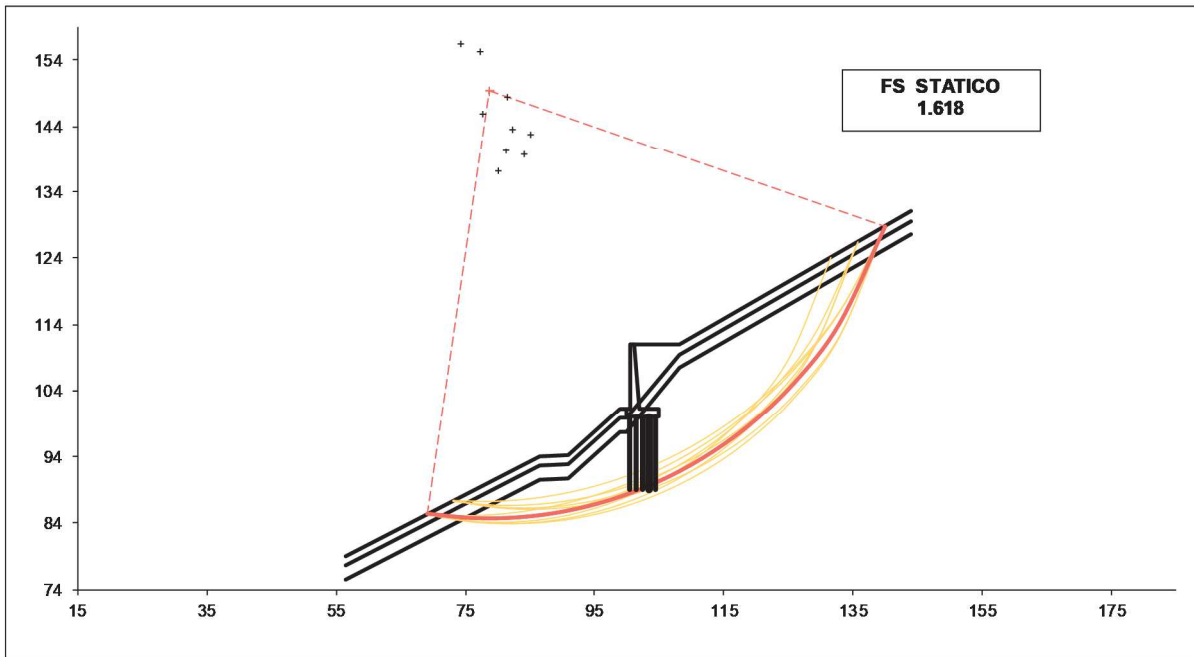
Condizione di Carico

STATICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO



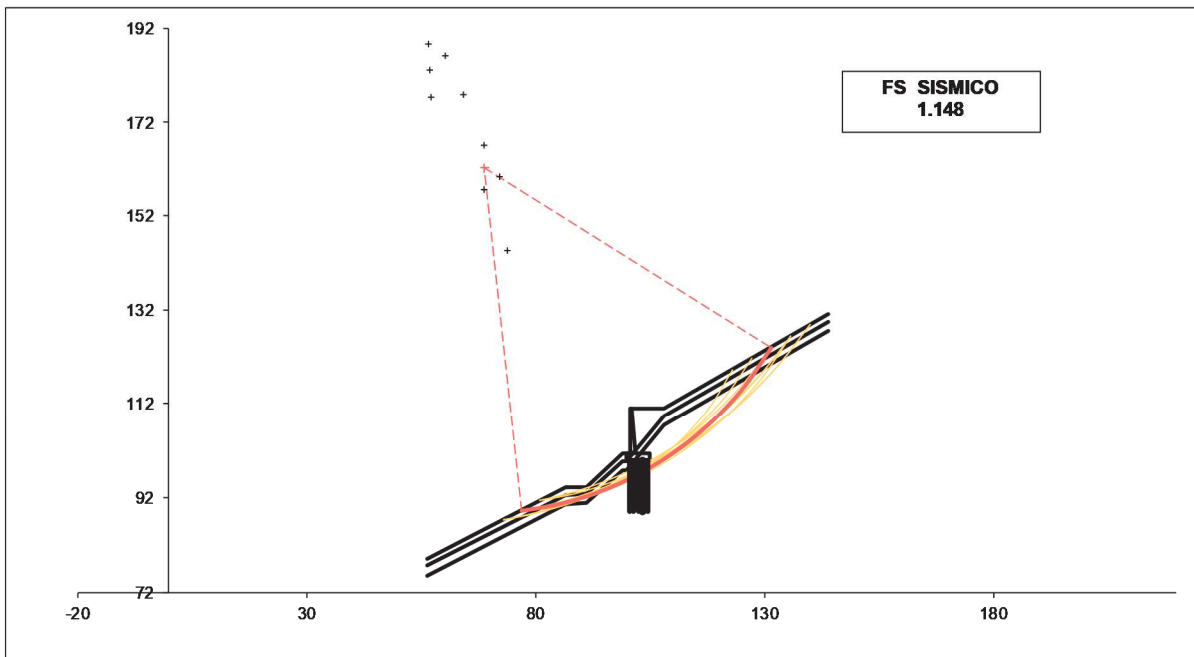
Condizione di Carico

SISMICA

# superfici da disegnare

10

DISEGNO





## 17.4 Verifica di capacità portante dei micropali di fondazione

### Caratteristiche del micropalo:

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

Lunghezza del micropalo (L): **11.00 (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>)** 5000

Area a taglio (A<sub>taglio</sub>): (mm<sup>2</sup>) 4000

Momento di inerzia della sezione di armatura (I<sub>arm</sub>): **1.564E+07 (mm<sup>4</sup>)** 1.001E+07

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W<sub>arm</sub>): **185 857 (mm<sup>3</sup>)** 2000000

Dimensione Armatura (D<sub>arm</sub>): (mm) 210

Tipo di acciaio

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     | 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              | <input checked="" type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> ≥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  |

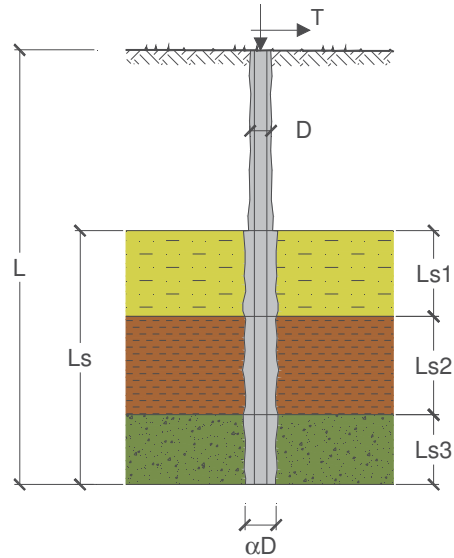
### 17.4.1 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

**Sollecitazioni Agenti:**

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | 553.08  |
| T (kN) |            |            | 97.10   |



**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $ls_i$ (m) | $\alpha$ (-) | $Ds_i = \alpha * D$ (m) | $s_i$ media (MPa) | $s_i$ minima (MPa) | $s_i$ calcolo (MPa) | $Qsi$ (kN) |
|------------------|---------------------|--------------|-------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------|
| roccia fessurata | 2.00                | 1.10         | 0.26                    | 0.150             | 0.150              | 0.077               | 127.27     |
| roccia integra   | 9.00                | 1.10         | 0.26                    | 0.150             | 0.150              | 0.077               | 572.72     |
|                  |                     |              | 0.00                    |                   |                    | 0.000               | 0.00       |

$Ls = 11.00$  (m)

$Ql = 699.99$  (kN)

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta * Ql$

(consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$

$Qp = 0.00$  (kN)

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + Ql$

$Qlim = 699.99$  (kN)

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

$Fs = 1.27$

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

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k * D_{am}$ ):

$139.69$  (N/mm<sup>2</sup>)

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

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

$Pk = 42838.76$  (MN)

$\eta = 77.46$

**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 = 24.60 (kNm)**

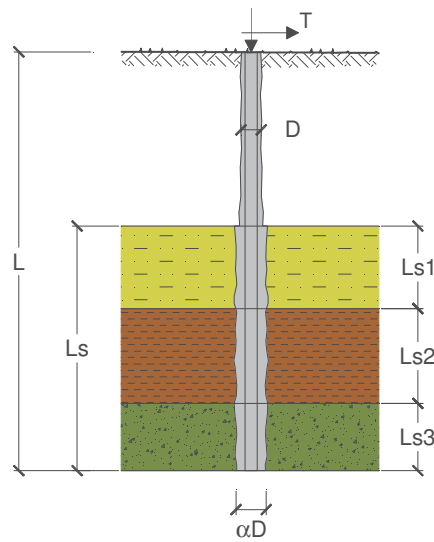
**17.4.2 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a trazione**

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Sollecitazioni Agenti:

|        | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|--------|------------|------------|---------|
| N (kN) |            |            | -151.69 |
| T (kN) |            |            | 97.10   |



**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $ls_i$ (m) | $\alpha$ (-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$ (m) | $s_i$ media (MPa) | $s_i$ minima (MPa) | $s_i$ calcolo (MPa) | $Qs_i$ (kN) |
|------------------|---------------------|--------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| roccia fessurata | 2.00                | 1.10         | 0.26                        | 0.150             | 0.150              | 0.071               | 117.09      |
| roccia integra   | 9.00                | 1.10         | 0.26                        | 0.150             | 0.150              | 0.071               | 526.90      |
|                  |                     |              | 0.00                        |                   |                    | 0.000               | 0.00        |

**Ls = 11.00 (m)      Ql = 643.99 (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 = 643.99 (kN)**

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

**Fs = 4.25**

**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 \* ( $\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}$ )<sup>0.5</sup>**

**$\eta = Pk / N$  (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 = 24.60 (kNm)**

## 17.5 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>pl,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            | [-]   |
| <u>Classificazione</u>               |                 |                 |       |
| Diametro                             | d               | 168.30          | [mm]  |
| Spessore                             | t               | 10.00           | [mm]  |
| Rapporto tra diametro e spessore     | d/t             | 16.83           | [-]   |
| <i>Classificazione della sezione</i> |                 | <b>CLASSE 1</b> |       |

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$  **97** [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

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = 0 \quad f_{y,red} \quad \mathbf{355} \quad \text{[MPa]} \quad \text{Valore di } \rho \quad \text{FS} \quad \mathbf{6.36}$$

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  **25** [kNm]  
 $M_{c,Rd}$  **85** [kNm] Resistenza a flessione del tubo FS **3.45**

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

$N_{Ed}$  **553** [kN]  
 $N_{c,Rd}$  **1681** [kN] Resistenza a compressione/trazione del tubo FS **3.04**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                           |                                 |                   |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| $V_{SLE}$ <b>97</b> [kN]  | $\tau$ 31 [MPa]                 |                   |
| $M_{SLE}$ <b>25</b> [kNm] | $\sigma_M$ 132 [MPa]            |                   |
| $N_{SLE}$ <b>553</b> [kN] | $\sigma_N$ 111 [MPa]            |                   |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>249</b> [MPa] | ok FS <b>1.36</b> |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| $V_{SLE}$ <b>72</b> [kN]  | $\tau$ 23 [MPa]                 |
| $M_{SLE}$ <b>18</b> [kNm] | $\sigma_M$ 98 [MPa]             |
| $N_{SLE}$ <b>410</b> [kN] | $\sigma_N$ 82 [MPa]             |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>185</b> [MPa] |
| coeff. <b>1.35</b>        | FS <b>1.83</b>                  |

## 18 Allegato D: 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                                 |        |

## 18.1 Muro tipo A

### FORZE VERTICALI

|  |   | SLE    | STR/GEO |
|--|---|--------|---------|
| - Peso del Muro (Pm)   |   |        |         |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 0.00    |
| 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  |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) | 19.74   |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00    |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 159.27  |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |   |        |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 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   |
| Mm2 =   | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kN/m)  | 47.33  |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kN/m)  | 32.71  |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kN/m)  | 101.25 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$                   | (kN/m)  | 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 |
| Mt2 =   | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kN/m)  | 0.00   |
| Mt3 =   | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kN/m)  | 26.38  |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kN/m)  | 0.00   |
| Mt =  | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kN/m)  | 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   |
| 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= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$ | (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 |

**18.1.1 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   | 79.45  | 700.00 |
|         | Nmax   | 343.66 | 0.00    | 57.85   | 79.45  | 700.00 |

*Sollecitazioni sui pali combinazione eccezionale*

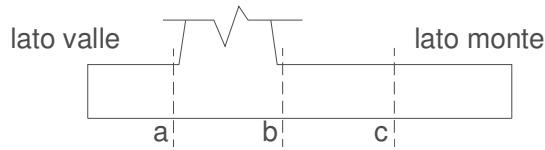
| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 394.78       | 91.64        | -211.50    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

## 18.1.2 Verifiche del muro

### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE



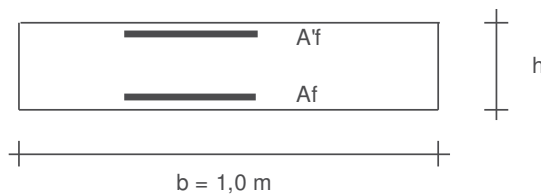
|              |     |   |       |                      |
|--------------|-----|---|-------|----------------------|
| Peso Proprio | PP  | = | 22.50 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pm  | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|              | pvb | = | 91.80 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|         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

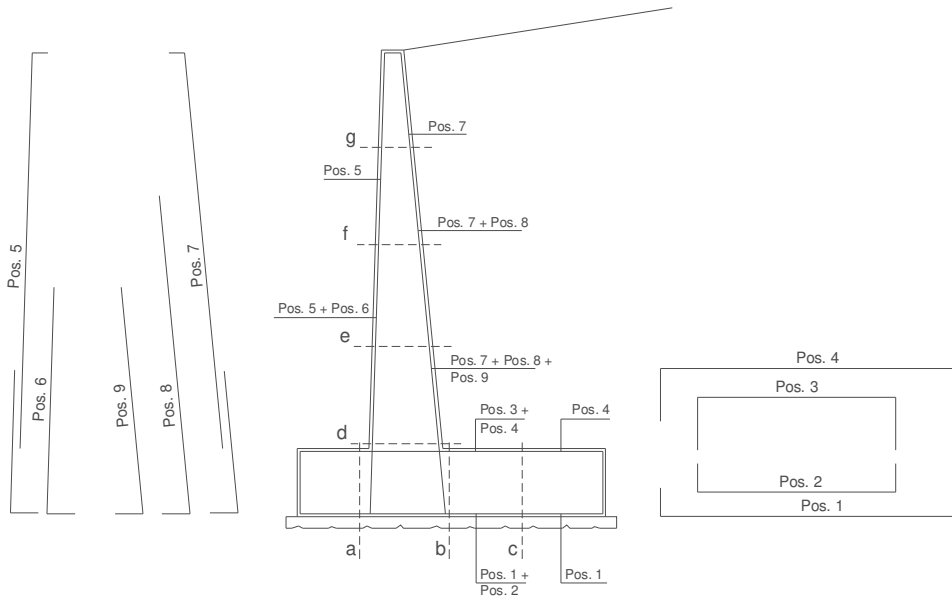
| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 5.10 | 57.40  | 0.00   | 100.00           | 157.40           |
| 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 |

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

**Sollecitazioni Agenti:**

|               |        |
|---------------|--------|
| <b>N (kN)</b> | 349.78 |
| <b>T (kN)</b> | 47.85  |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $Is_i$<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 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          |

$Ls = 8.00$  (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**

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Qlim = Qb + Ql$

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

$Qlim = 995.26$  (kN)

$Fs = 2.85$

**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)                       $\eta = 122.47$

**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)

## 18.1.4 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) |
|------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|---------------|
| 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          |

$Ls = 8.00$  (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)

## 18.2 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] |

coeff. 1.35      FS      ok 3.11

### 18.3 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) | 83.25  | 83.25   |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 61.05  | 61.05   |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 110.00 | 110.00  |
| Pm =   | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                     | (kN/m) | 254.30 | 254.30  |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |        |         |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                | (kN/m) | 305.03 | 305.03  |
| 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) | 43.96  | 43.96   |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 348.98 | 348.98  |
| - 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)  | 68.68  | 68.68  |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kN/m)  | 77.53  | 77.53  |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kN/m)  | 220.00 | 220.00 |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$                   | (kN/m)  | 366.21 | 366.21 |
| - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro |   |         |        |        |
| Mt1 =   | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kN/m)  | 870.85 | 870.85 |
| 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)  | 65.49  | 65.49  |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kN/m)  | 0.00   | 0.00   |
| Mt =  | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kN/m)  | 936.35 | 936.35 |
| - 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) | 171.96  |
| Sq perm = | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2+H3+H4) \cdot ka$                  | (kN/m) | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                          |        |        |
|------------|--------------------------|--------|--------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 159.44 |
|            | Sq                       |        |        |
| Sqh perm = | $perm \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00   |
| Sqh acc =  | $Sq \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00   |

- Componente verticale condizione statica

|           |                          |        |       |
|-----------|--------------------------|--------|-------|
| Stv =     | $St \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 64.42 |
|           | Sq                       |        |       |
| Sqv perm= | $perm \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  |
| Sqv acc = | $Sq \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  |

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|            |                                       | SLE    | STR/GEO |
|------------|---------------------------------------|--------|---------|
| MSt1 =     | $Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$            | (kN/m) | 451.75  |
| MSt2 =     | $Stv \cdot B$                         | (kN/m) | 257.68  |
| MSq1 perm= | $Sqh \cdot perm \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 0.00    |
| MSq2 perm= | $Sqv \cdot perm \cdot B$              | (kN/m) | 0.00    |
| MSq1 acc = | $Sqh \cdot acc \cdot ((H2+H3+H4)/2)$  | (kN/m) | 0.00    |
| MSq2 acc = | $Sqv \cdot acc \cdot B$               | (kN/m) | 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) | 950.00 | 950.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

|  |   |         |         |         |
|--|---|---------|---------|---------|
| Risultante forze verticali (N)                         |   |         |         |         |
| N perm   |   |         |         |         |
| =  | $Pm + Pt + vp + Stv + Sqv perm + Sqv acc$ | (kN/m)  | 667.70  | 667.70  |
| 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)  | 159.44  | 159.44  |
| 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) | 1108.49 | 1108.49 |
| MM acc (Nmin)  | $= \Sigma M$                              | (kNm/m) | -950.00 | -950.00 |
| MM acc (Nmax)  | $= \Sigma M$                              | (kNm/m) | -950.00 | -950.00 |

**18.3.1 Calcolo delle sollecitazioni**

Risultante forze verticali ( $N_p = N$ )

Risultante forze orizzontali ( $T_p = T$ )

Momento rispetto al baricentro della palificata ( $M_p$ )  $M_p = yGp*N_p - MM$

Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata combinazione eccezionale

| caso | Np     |        | Mp      |         | Tp     |        |        |
|------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
|      | [kN/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |        |
| urto | Nmin   | 667.70 | 0.00    | 226.92  | 950.00 | 159.44 | 100.00 |
|      | Nmax   | 667.70 | 0.00    | 226.92  | 950.00 |        |        |

Sollecitazioni sui pali combinazione eccezionale

| caso    |      | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | N pali all.4 | T pali |      |
|---------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|
|         |      | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]   | [kN] |
| statico | Nmin | 416.00       | 227.69       | 39.39        | -148.92      | 51.89  |      |
|         | Nmax | 416.00       | 227.69       | 39.39        | -148.92      |        |      |

Sollecitazioni massime sui pali

N max      **416.00**  
 N min      **-148.92**  
  
 T max      **51.89**

**18.3.2 Verifiche del muro**

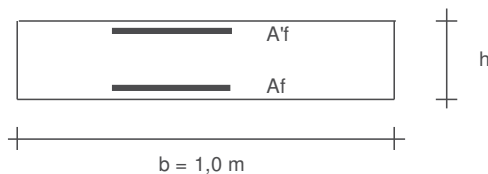
Peso Proprio                      PP      =              27.50      (kN/m<sup>2</sup>)  
  
    pm      =              133.20      (kN/m<sup>2</sup>)  
    pvb     =              133.20      (kN/m<sup>2</sup>)  
    pvc     =              133.20      (kN/m<sup>2</sup>)

| caso    | Ma      | Va     | Mb      | Vb      | Mc      | Vc      |
|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m] | [kN/m]  | [kNm/m] | [kN/m]  |
| statico | 47.05   | 503.50 | -863.20 | -569.34 | -299.17 | -434.57 |

| 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     | 7.40 | 298.09  | 0.00    | 840.00           | 1138.09          | 0.00             | 144.30          | 144.30           |
| e-e     | 5.55 | 125.75  | 0.00    | 655.00           | 780.75           | 0.00             | 96.78           | 96.78            |
| f-f     | 3.70 | 37.26   | 0.00    | 470.00           | 507.26           | 0.00             | 56.89           | 56.89            |
| g-g     | 1.85 | 4.66    | 0.00    | 285.00           | 289.66           | 0.00             | 24.63           | 24.63            |

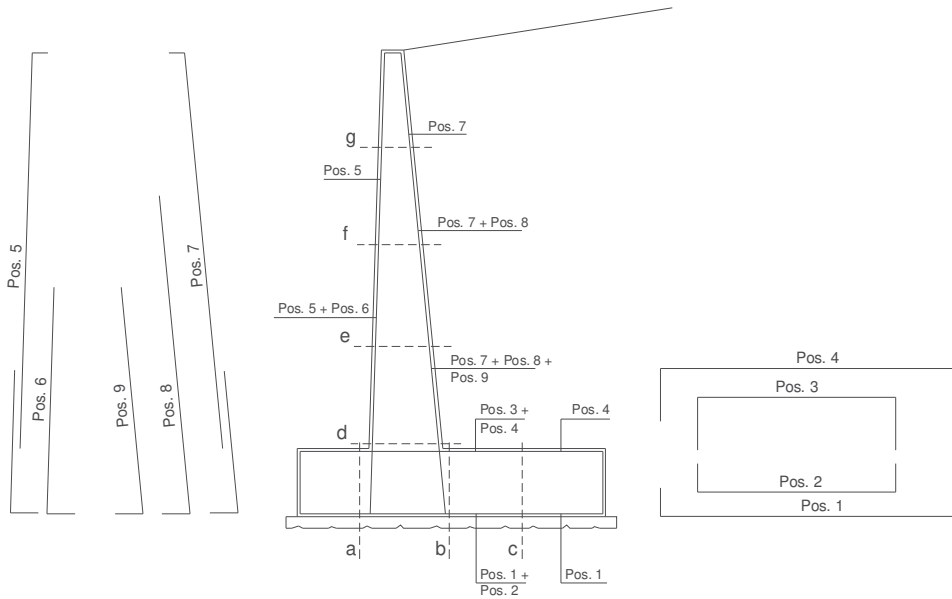
| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 7.40 | 120.85 | 0.00   | 100.00           | 220.85           |
| e-e     | 5.55 | 67.98  | 0.00   | 100.00           | 167.98           |
| f-f     | 3.70 | 30.21  | 0.00   | 100.00           | 130.21           |
| g-g     | 1.85 | 7.55   | 0.00   | 100.00           | 107.55           |

**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 | 47.05   | 0.00   | 1.10 | 7.85               | 24.10              | 333.13  | 7.08 |
| b - b | -863.20 | 0.00   | 1.10 | 24.10              | 7.85               | 948.81  | 1.10 |
| c - c | -299.17 | 0.00   | 1.10 | 19.01              | 7.85               | 760.14  | 2.54 |
| d - d | 1138.09 | 144.30 | 1.11 | 30.32              | 22.07              | 1266.40 | 1.11 |
| e - e | 780.75  | 96.78  | 0.95 | 30.32              | 22.07              | 1039.70 | 1.33 |
| f - f | 507.26  | 56.89  | 0.78 | 30.32              | 15.71              | 819.02  | 1.61 |
| g - g | 289.66  | 24.63  | 0.62 | 19.01              | 15.71              | 405.73  | 1.40 |

**18.3.3 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione**

**Sollecitazioni Agenti:**

|               |        |
|---------------|--------|
| <b>N (kN)</b> | 389.96 |
| <b>T (kN)</b> | 48.96  |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

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

| Tipo di Terreno  | Spessore Is <sub>i</sub><br>(m) | α<br>(-) | Ds <sub>i</sub> = α * D<br>(m) | s <sub>i</sub><br>(MPa) | s <sub>i</sub> | s <sub>i</sub><br>calcolo<br>(MPa) | Qs <sub>i</sub><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                    |

$$Ls = 8.00 \quad (m) \qquad Ql = 995.26 \quad (kN)$$

**Capacità portante di punta**  $Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

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

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + Ql$$

$$Qlim = 995.26 \quad (kN)$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

$$Fs = 2.55$$

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

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

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

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

$$Pk = 42838.76 \quad (MN)$$

$$\eta = 109.85$$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

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

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

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot Earm \cdot Jarm}}$$

$$b = 1.973 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 12.41 \quad (kNm)$$

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

*Sollecitazioni Agenti:*

|        |         |
|--------|---------|
| N (kN) | -135.06 |
| T (kN) | 48.96   |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

| Tipo di Terreno         | Spessore $Is_i$<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)       $QI = 995.26$  (kN)

**Capacità portante di punta**

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

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

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + QI$

$Qlim = 995.26$  (kN)

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

$Fs = 7.37$

**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):

$M = 12.41$  (kN m)

### 18.4 Verifica strutturale del palo

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$  49 [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

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [MPa] \quad FS \quad 12.62$$

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  12 [kNm]  
 $M_{c,Rd}$  85 [kNm] Resistenza a flessione del tubo FS 6.84

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

$N_{Ed}$  390 [kN]  
 $N_{c,Rd}$  1681 [kN] Resistenza a compressione/trazione del tubo FS 4.31

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                    |                          |            |
|--------------------|--------------------------|------------|
| $V_{SLE}$ 49 [kN]  | $\tau$ 15 [MPa]          |            |
| $M_{SLE}$ 12 [kNm] | $\sigma_M$ 67 [MPa]      |            |
| $N_{SLE}$ 390 [kN] | $\sigma_N$ 78 [MPa]      |            |
|                    | $\sigma_{TOT}$ 148 [MPa] | ok FS 2.29 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                    |                          |      |
|--------------------|--------------------------|------|
| $V_{SLE}$ 36 [kN]  | $\tau$ 11 [MPa]          |      |
| $M_{SLE}$ 9 [kNm]  | $\sigma_M$ 49 [MPa]      |      |
| $N_{SLE}$ 289 [kN] | $\sigma_N$ 58 [MPa]      |      |
|                    | $\sigma_{TOT}$ 109 [MPa] | ok   |
| coeff. 1.35        | FS                       | 3.09 |

## 18.5 Muro tipo C

### FORZE VERTICALI

|  |   | SLE    | STR/GEO |
|--|---|--------|---------|
| - Peso del Muro (Pm)   |   |        |         |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 0.00    |
| Pm2 =  | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$          | (kN/m) | 109.13  |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) | 107.91  |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 162.50  |
| Pm =   | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4$                     | (kN/m) | 379.54  |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |   |        |         |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                | (kN/m) | 534.28  |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) | 77.70   |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) | 0.00    |
| Pt =   | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) | 611.97  |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |   |        |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 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    |
| Mm2 =   | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kN/m)  | 90.03   |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kN/m)  | 145.32  |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kN/m)  | 406.25  |
| Mm =  | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4$                   | (kN/m)  | 641.60  |
| - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro |   |         |         |
| Mt1 =   | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kN/m)  | 1853.94 |
| Mt2 =   | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kN/m)  | 0.00    |
| Mt3 =   | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kN/m)  | 127.68  |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kN/m)  | 0.00    |
| Mt =  | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kN/m)  | 1981.62 |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |   |         |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$    | (kNm/m) | 0.00    |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$   | (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) | 288.00 | 288.00  |
| 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) | 267.03 | 267.03 |
|            | Sq                       |        |        |        |
| 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) | 107.89 | 107.89 |
|           | Sq                       |        |        |        |
| 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) | 979.09 | 979.09  |
| MSt2 =     | $Stv \cdot B$                         | (kN/m) | 539.43 | 539.43  |
| MSq1 perm= | $Sqh \cdot perm \cdot ((H2+H3+H4)/2)$ | (kN/m) | 0.00   | 0.00    |



|            |                        |        |      |      |
|------------|------------------------|--------|------|------|
| MSq2 perm= | Sqv perm*B             | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| MSq1 acc = | Sqh acc*((H2+H3+H4)/2) | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| MSq2 acc = | Sqv acc*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) | 1200.00 | 1200.00 |

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

|           |   |   |        |         |         |
|-----------|---|---|--------|---------|---------|
| N perm    | = | Pm + Pt + vp + Stv + Sqv perm + Sqv acc | (kN/m) | 1099.40 | 1099.40 |
| 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) | 267.03 | 267.03 |
| T acc  | = | Sqh acc+ f          | (kN/m) | 100.00 | 100.00 |

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

|               |   |    |         |          |          |
|---------------|---|----|---------|----------|----------|
| MM perm       | = | ΣM | (kNm/m) | 2183.55  | 2183.55  |
| MM acc (Nmin) | = | ΣM | (kNm/m) | -1200.00 | -1200.00 |
| MM acc (Nmax) | = | ΣM | (kNm/m) | -1200.00 | -1200.00 |

**18.5.1 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]       |
| urto | Permanenti | Accidentali | Permane nti | Accident ali | Permane nti | Accident ali |
|      | Nmin       | 0.00        | 564.94      | 1200.00      | 267.03      | 100.00       |
| Nmax | 1099.40    | 0.00        | 564.94      | 1200.00      |             |              |

Sollecitazioni sui pali combinazione eccezionale

| caso    | N pali all.1 | N pali all.2 | N pali all.3 | N pali all.4 | N pali all.5 | T pali  |      |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|------|
|         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]         | [kN]    | [kN] |
| statico | Nmin         | 317.10       | 175.90       | 34.71        | -106.49      | 58.72   |      |
|         | Nmax         | 458.29       | 317.10       | 175.90       | 34.71        | -106.49 |      |

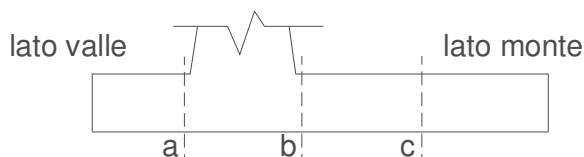
Sollecitazioni massime sui pali

N max     **458.29**  
 N min     **-106.49**

T max     **58.72**

### 18.5.2 Verifiche del muro

CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE



Peso Proprio            PP     =            32.50     (kN/m<sup>2</sup>)  
                                   pm     =            174.60     (kN/m<sup>2</sup>)  
                                   pvb    =            174.60     (kN/m<sup>2</sup>)  
                                   pvc    =            174.60     (kN/m<sup>2</sup>)

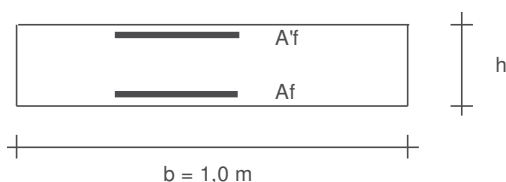
| caso    | Ma      | Va     | Mb       | Vb      | Mc      | Vc      |
|---------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|
|         | [kNm/m] | [kN/m] | [kNm/m]  | [kN/m]  | [kNm/m] | [kN/m]  |
| statico | 51.44   | 553.37 | -1449.67 | -611.45 | -543.26 | -514.47 |

**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     | 9.70 | 671.37  | 0.00    | 1070.00          | 1741.37          | 0.00             | 217.04          | 217.04           |
| e-e     | 7.28 | 283.23  | 0.00    | 827.50           | 1110.73          | 0.00             | 142.54          | 142.54           |
| f-f     | 4.85 | 83.92   | 0.00    | 585.00           | 668.92           | 0.00             | 81.54           | 81.54            |
| g-g     | 2.43 | 10.49   | 0.00    | 342.50           | 352.99           | 0.00             | 34.03           | 34.03            |

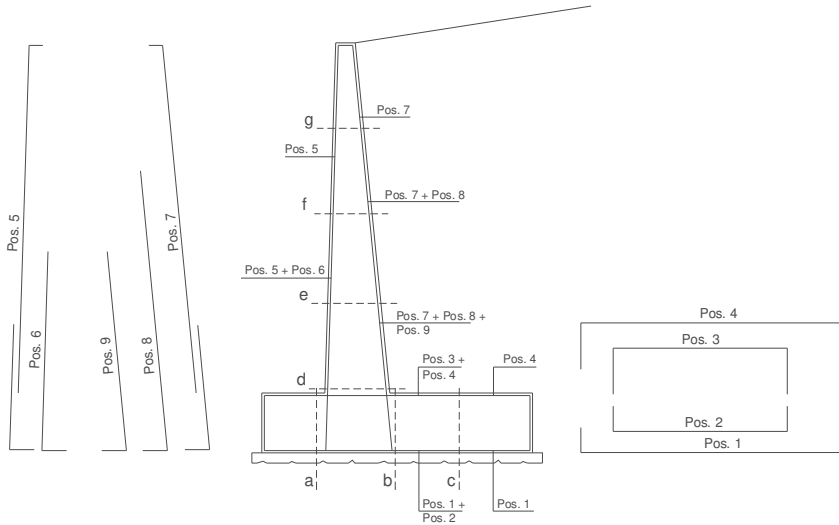
| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 9.70 | 207.64 | 0.00   | 100.00           | 307.64           |
| e-e     | 7.28 | 116.80 | 0.00   | 100.00           | 216.80           |
| f-f     | 4.85 | 51.91  | 0.00   | 100.00           | 151.91           |
| g-g     | 2.43 | 12.98  | 0.00   | 100.00           | 112.98           |

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 | 51.44    | 0.00   | 1.30 | 11.31              | 45.24              | 585.08  | 11.37 |
| b - b | -1449.67 | 0.00   | 1.30 | 45.24              | 11.31              | 2079.23 | 1.43  |
| c - c | -543.26  | 0.00   | 1.30 | 22.62              | 11.31              | 1078.46 | 1.99  |
| d - d | 1741.37  | 217.04 | 1.34 | 33.93              | 22.07              | 1771.22 | 1.02  |
| e - e | 1110.73  | 142.54 | 1.12 | 33.93              | 22.07              | 1415.60 | 1.27  |
| f - f | 668.92   | 81.54  | 0.90 | 33.93              | 15.71              | 1079.30 | 1.61  |
| g - g | 352.99   | 34.03  | 0.67 | 22.62              | 15.71              | 532.84  | 1.51  |

**18.5.3 Verifica a capacità portante del micropalo soggetto a compressione**

*Sollecitazioni Agenti:*

|        |        |
|--------|--------|
| N (kN) | 458.29 |
| T (kN) | 58.72  |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

*Capacità portante di fusto*

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

| Tipo di Terreno  | Spessore $Is_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha * D$<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   | 9.00                   | 1.10            | 0.26                       | 0.150          | 0.150 | 0.150                     | 1119.66        |
|                  |                        |                 | 0.00                       |                |       | 0.000                     | 0.00           |

$$Ls = 11.00 \quad (m) \qquad Ql = 1368.48 \quad (kN)$$

**Capacità portante di punta**  $Qp = \%Punta \cdot Ql$  (consigliato 10-15%)

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

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + Ql$$

$$Qlim = 1368.48 \quad (kN)$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

$$Fs = 2.99$$

**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>)

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

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

$$Pk = 42838.76 \quad (MN)$$

$$\eta = 93.47$$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

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

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

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

$$b = 1.973 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 14.88 \quad (kNm)$$

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

**Sollecitazioni Agenti:**

|        |         |
|--------|---------|
| N (kN) | -106.49 |
| T (kN) | 58.72   |

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

| Tipo di Terreno         | Spessore $Is_i$<br>(m) | $\alpha$<br>(-) | $Ds_i = \alpha \cdot D$<br>(m) | $s_i$<br>media<br>(MPa) | $s_i$<br>minima<br>(MPa) | $s_i$<br>calcolo<br>(MPa) | $Qsi$<br>(kN) |
|-------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| <i>roccia fessurata</i> | 2.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                   | 0.150                    | 0.071                     | 117.09        |
| <i>roccia integra</i>   | 9.00                   | 1.10            | 0.26                           | 0.150                   | 0.150                    | 0.071                     | 526.90        |
|                         |                        |                 | 0.00                           |                         |                          | 0.000                     | 0.00          |

$$Ls = 11.00 \quad (m) \qquad QI = 643.99 \quad (kN)$$

**Capacità portante di punta**

$$Qp = \%Punta \cdot QI$$

(consigliato 10-15%)

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

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + QI$$

$$Qlim = 643.99 \quad (kN)$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$$Fs = 6.05$$

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

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

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

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

$$b = 1.973 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 14.88 \quad (kN m)$$

## 18.6 Verifica strutturale del palo

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO**

$V_{Ed}$  **59** [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

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = 0$$

$f_{y,red}$  **355** [MPa] Valore di : FS **10.52**

**VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE**

$M_{Ed}$  **15** [kNm]  
 $M_{c,Rd}$  **85** [kNm] Resistenza a flessione del tubo FS **5.70**

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

$N_{Ed}$  **458** [kN]  
 $N_{c,Rd}$  **1681** [kN] Resistenza a compressione/trazione del tubo FS **3.67**

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|                           |                                 |                   |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| $V_{SLE}$ <b>59</b> [kN]  | $\tau$ 19 [MPa]                 |                   |
| $M_{SLE}$ <b>15</b> [kNm] | $\sigma_M$ 80 [MPa]             |                   |
| $N_{SLE}$ <b>458</b> [kN] | $\sigma_N$ 92 [MPa]             |                   |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>175</b> [MPa] | ok FS <b>1.93</b> |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|                           |                                 |    |
|---------------------------|---------------------------------|----|
| $V_{SLE}$ <b>43</b> [kN]  | $\tau$ 14 [MPa]                 |    |
| $M_{SLE}$ <b>11</b> [kNm] | $\sigma_M$ 59 [MPa]             |    |
| $N_{SLE}$ <b>339</b> [kN] | $\sigma_N$ 68 [MPa]             |    |
|                           | $\sigma_{TOT}$ <b>130</b> [MPa] | ok |
| coeff. <b>1.35</b>        | FS <b>2.61</b>                  |    |

## 19 Allegato E: verifica paratia provvisoria – Sezione I

### 19.1 Sollecitazioni agenti sui pali

Si riportano le sollecitazioni allo SLU e SLV utilizzate successivamente per le verifiche strutturali degli elementi.

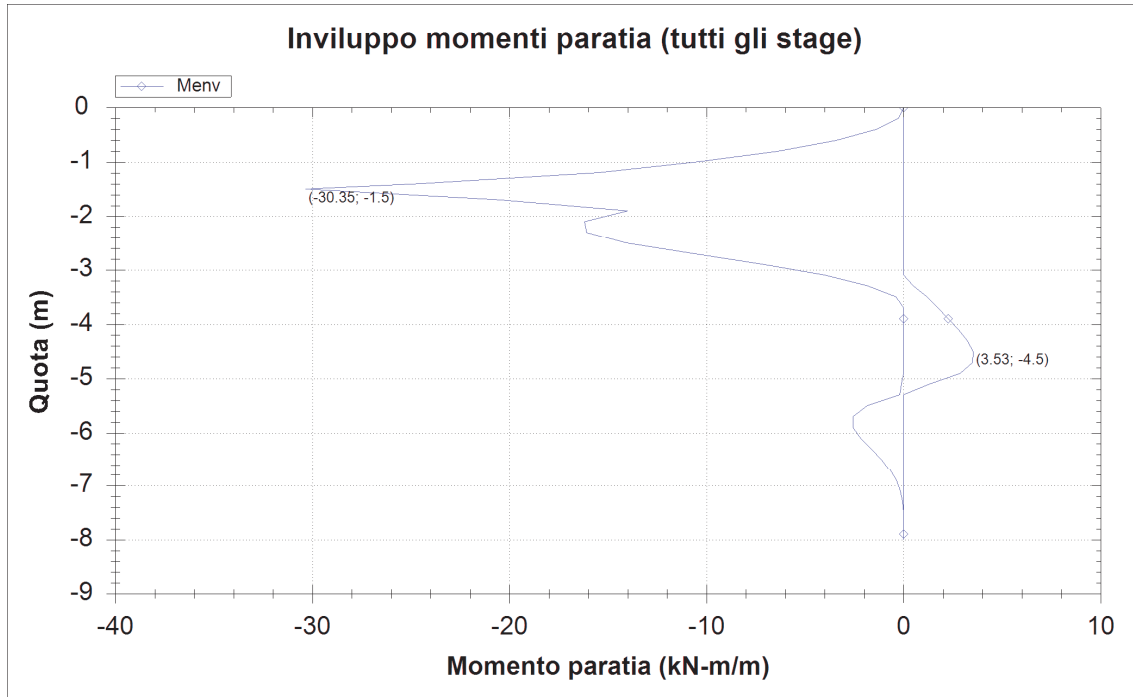


Figura 13: Diagramma dei momenti flettenti (A1+M1+R1)

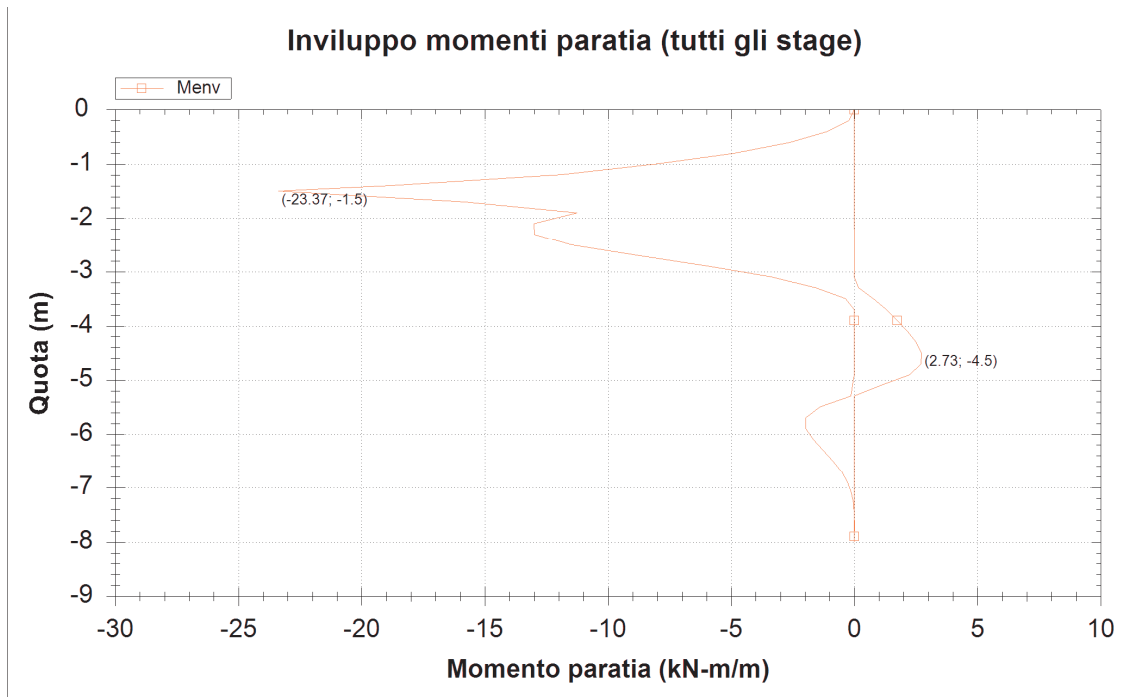


Figura 14: Diagramma dei momenti flettenti (EQK+M1+R1)

---

| <b>Paratia di pali</b> | <b>M [kNm/m]</b> | <b>i<sub>pali</sub> [m]</b> | <b>M<sub>palo</sub> [kNm]</b> |
|------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| SLU (A1+M1+R1)         | 30.4             | 0.6                         | 18.2                          |
| SLV (EQK+M1+R1)        | 23.4             | 0.6                         | 14.0                          |

*Tabella 19: Valori dei momenti flettenti sulla paratia*



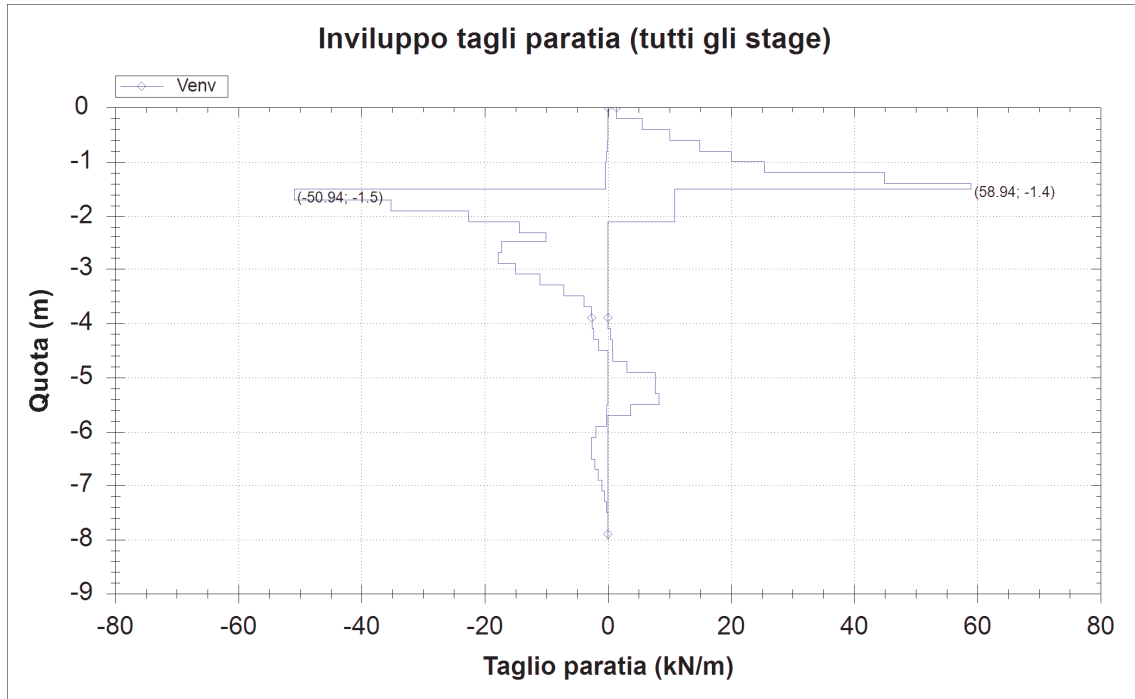


Figura 15: Diagramma del taglio (A1+M1+R1)

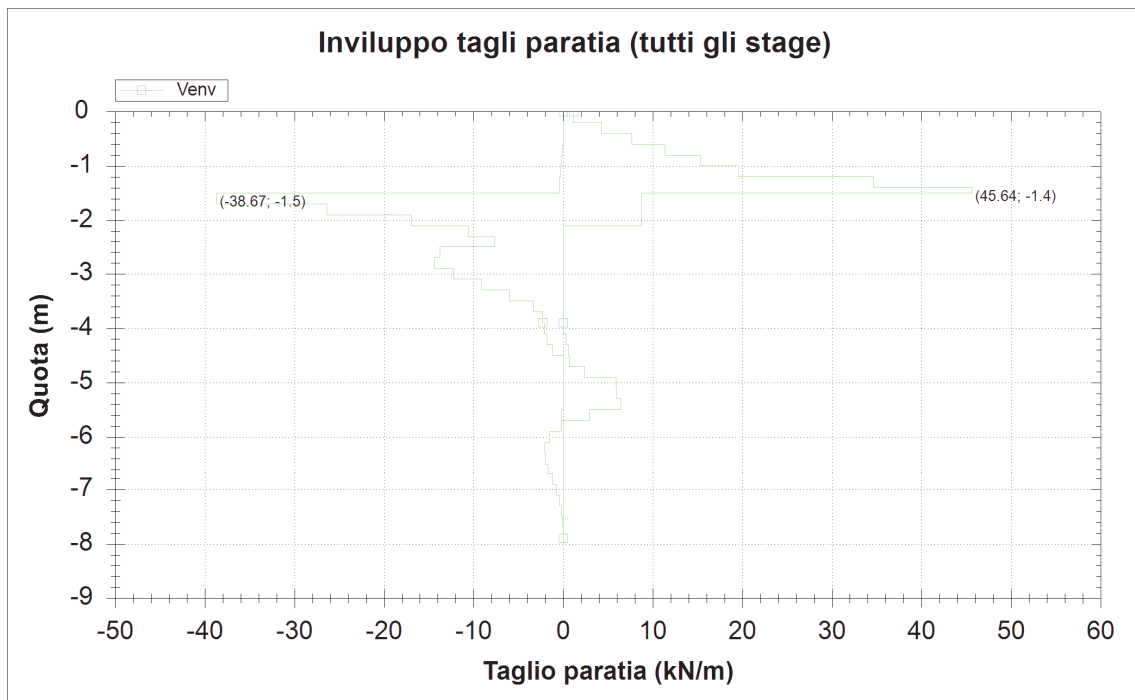


Figura 16: Diagramma del taglio (EQK+M1+R1)

| Paratia di pali | T [kN/m] | $i_{pali}$ [m] | Tpalo [kN] |
|-----------------|----------|----------------|------------|
| SLU (A1+M1+R1)  | 58.9     | 0.6            | 35.3       |
| SLV (EQK+M1+R1) | 45.6     | 0.6            | 27.4       |

Tabella 20: Valori del taglio sulla paratia

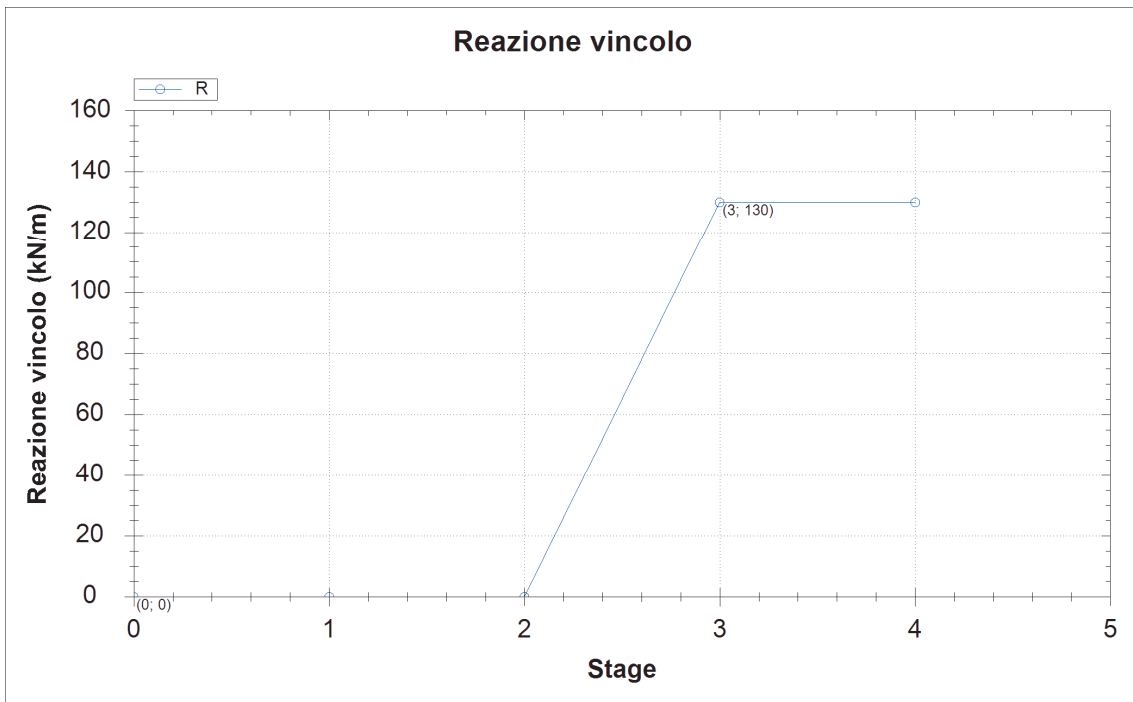


Figura 17: Reazione sul tirante (A1+M1+R1)

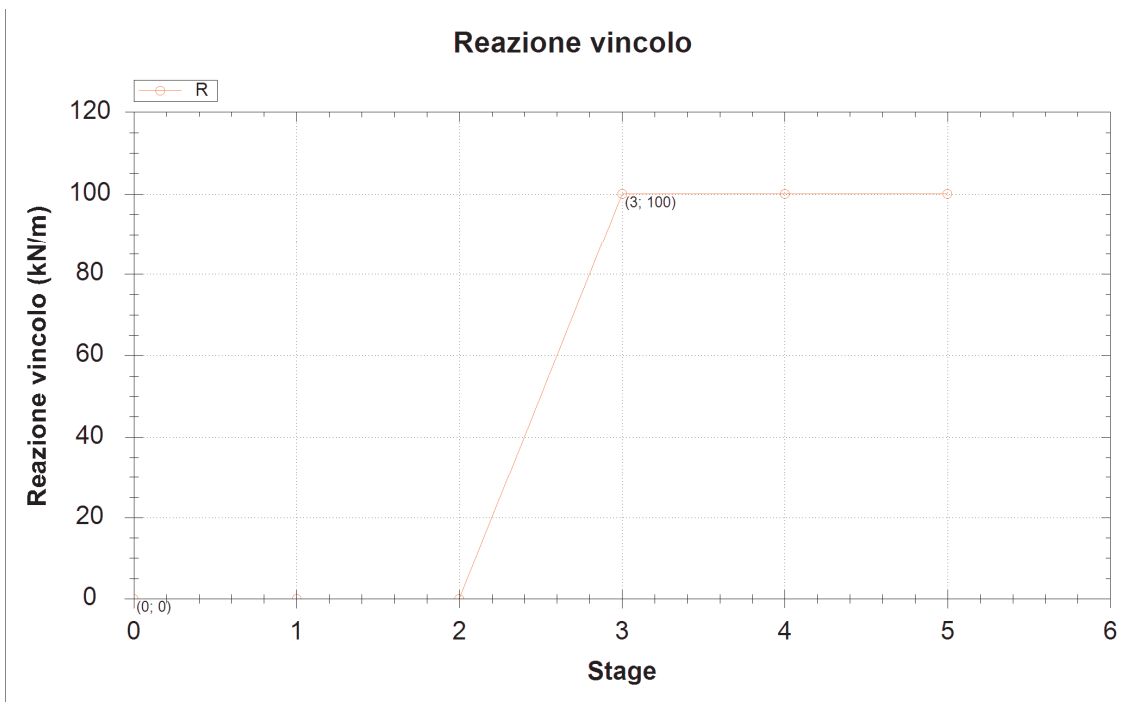


Figura 18: Reazione sul tirante (EQK+M1+R1)

## 19.2 Verifica strutturale dei pali

L'armatura longitudinale è costituita da un tubo in acciaio  $\phi$  273 e spessore 10 mm.

Si riporta la verifica allo SLU/SLV.

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

|                           |   |        |      |
|---------------------------|---|--------|------|
| Diametro esterno nominale | D | 273.00 | [mm] |
| Spessore nominale         | t | 10.00  | [mm] |
| Diametro interno nominale | d | 253.00 | [mm] |

#### CARATTERISTICHE MECCANICHE

|  |                    |       |                    |
|--|--------------------|-------|--------------------|
| Area della sezione trasversale                       | A                  | 82.6  | [cm <sup>2</sup> ] |
| Momento d'inerzia                                    | I                  | 7154  | [cm <sup>4</sup> ] |
| Raggio d'inerzia                                     | i                  | 9.31  | [cm]               |
| Modulo di resistenza elastico                        | W <sub>el,yy</sub> | 524   | [cm <sup>3</sup> ] |
| Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte | W <sub>pl,yy</sub> | 692   | [cm <sup>3</sup> ] |
| Momento d'inerzia torsionale                         | I <sub>t</sub>     | 14308 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Modulo di torsione                                   | C <sub>t</sub>     | 1048  | [cm <sup>3</sup> ] |

#### CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

|                                      |                 |                 |       |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Valore di snervamento dell'acciaio   | f <sub>yk</sub> | 275             | [MPa] |
| Coefficiente $\epsilon$              | $\epsilon$      | 0.92            | [-]   |
| <b>Classificazione</b>               |                 |                 |       |
| Diametro                             | d               | 273.00          | [mm]  |
| Spessore                             | t               | 10.00           | [mm]  |
| Rapporto tra diametro e spessore     | d/t             | 27.30           | [-]   |
| <i>Classificazione della sezione</i> |                 | <b>CLASSE 1</b> |       |

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

|                   |      |                    |                              |
|-------------------|------|--------------------|------------------------------|
| V <sub>Ed</sub>   | 35.3 | [kN]               |                              |
| A <sub>V</sub>    | 52.6 | [cm <sup>2</sup> ] | Area a taglio                |
| $\gamma_{MO}$     | 1.05 |                    |                              |
| V <sub>c,Rd</sub> | 795  | [kN]               | Resistenza a taglio del tubo |

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{t,Rd}} - 1 \right]^{-1} = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}] \quad \text{FS } 22.5$$

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE

|                   |      |       |                                 |
|-------------------|------|-------|---------------------------------|
| M <sub>Ed</sub>   | 18.2 | [kNm] |                                 |
| M <sub>c,Rd</sub> | 181  | [kNm] | Resistenza a flessione del tubo |
|                   |      |       | FS 10.0                         |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|           |            |                |          |    |        |
|-----------|------------|----------------|----------|----|--------|
| $V_{SLE}$ | 35.3 [kN]  | $\tau$         | 7 [MPa]  |    |        |
| $M_{SLE}$ | 18.2 [kNm] | $\sigma_M$     | 35 [MPa] |    |        |
| $N_{SLE}$ | 0 [kN]     | $\sigma_N$     | 0 [MPa]  |    |        |
|           |            | $\sigma_{TOT}$ | 37 [MPa] | ok |        |
|           |            |                |          |    | FS 7.2 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|           |            |                |          |    |        |
|-----------|------------|----------------|----------|----|--------|
| $V_{SLE}$ | 26.1 [kN]  | $\tau$         | 5 [MPa]  |    |        |
| $M_{SLE}$ | 13.5 [kNm] | $\sigma_M$     | 26 [MPa] |    |        |
| $N_{SLE}$ | 0 [kN]     | $\sigma_N$     | 0 [MPa]  |    |        |
|           |            | $\sigma_{TOT}$ | 27 [MPa] | ok |        |
| coeff.    | 1.35       |                |          |    | FS 9.7 |

**19.3 Verifica degli spostamenti orizzontali**

Allo SLE, analizzando tutte le fasi di calcolo, si individuano deformazioni massime lungo lo sviluppo della paratia che risultano inferiori al mm.

Nelle figure che seguono si mostrano i diagrammi degli spostamenti orizzontali. Tali spostamenti risultano compatibili con l'opera.

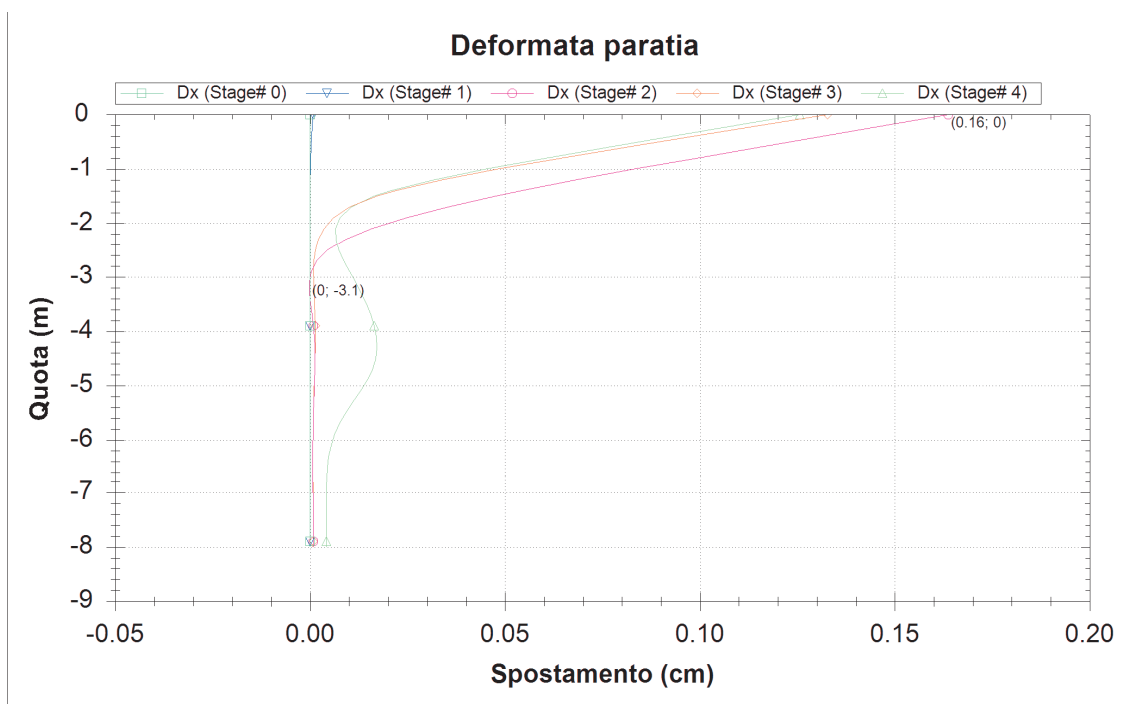


Figura 19: Diagramma degli spostamenti orizzontali (SLE)

## 20 Allegato F: verifica paratia provvisoria – Sezione II

### 20.1 Sollecitazioni agenti sui pali

Si riportano le sollecitazioni allo SLU e SLV utilizzate successivamente per le verifiche strutturali degli elementi.

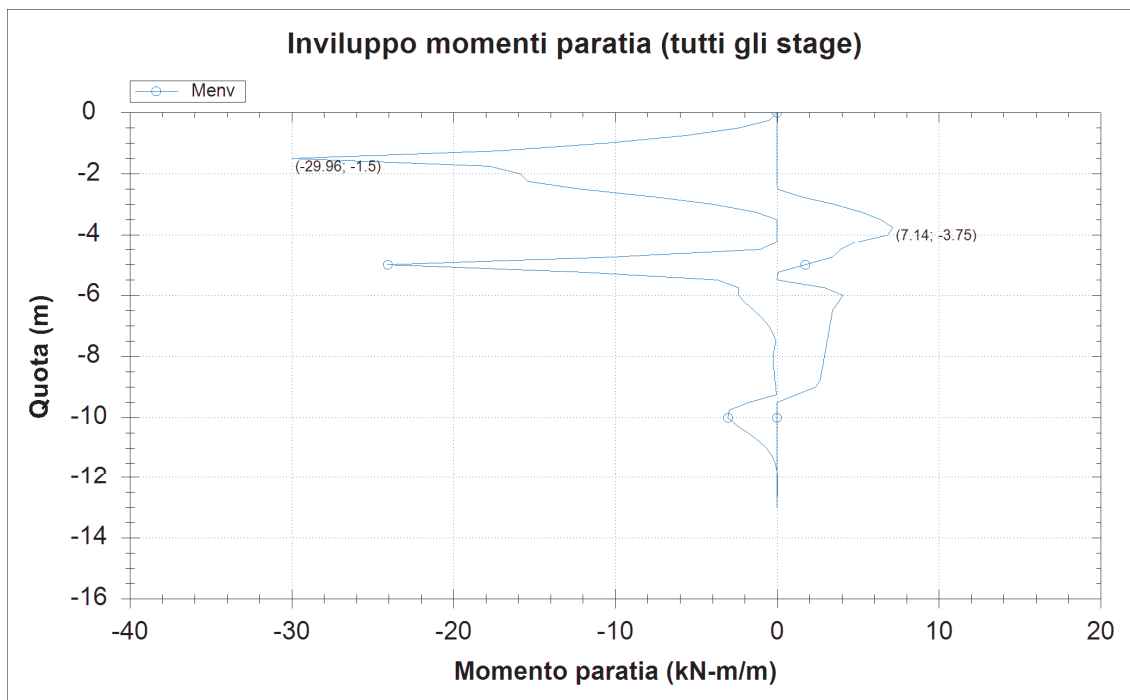


Figura 20: Diagramma dei momenti flettenti (A1+M1+R1)

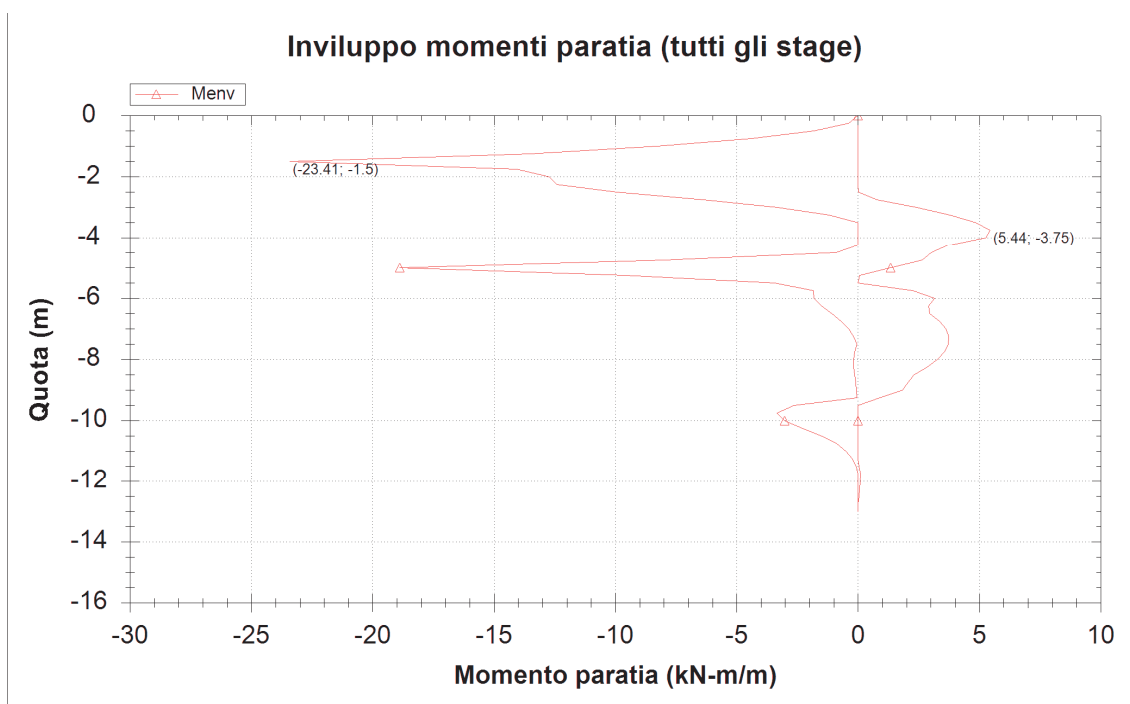


Figura 21: Diagramma dei momenti flettenti (EQK+M1+R1)

---

| <b>Paratia di pali</b> | <b>M [kNm/m]</b> | <b>i<sub>pali</sub> [m]</b> | <b>M<sub>palo</sub> [kNm]</b> |
|------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| SLU (A1+M1+R1)         | 30.0             | 0.6                         | 18                            |
| SLV (EQK+M1+R1)        | 23.4             | 0.6                         | 14                            |

*Tabella 21: Valori dei momenti flettenti sulla paratia*

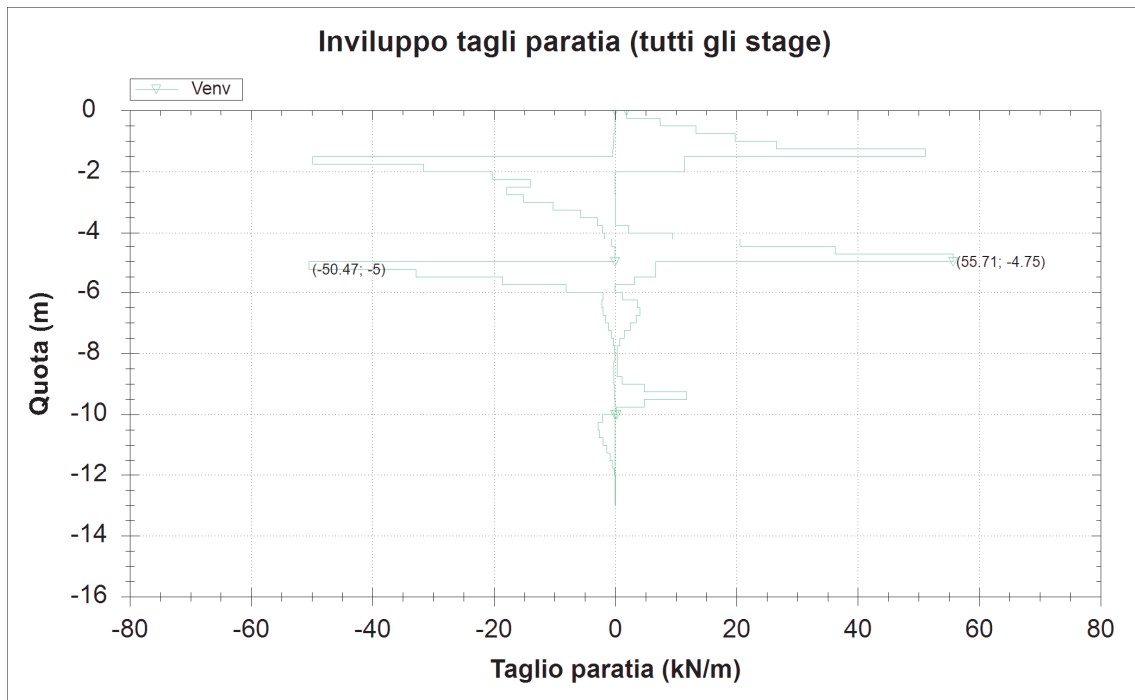


Figura 22: Diagramma del taglio (A1+M1+R1)

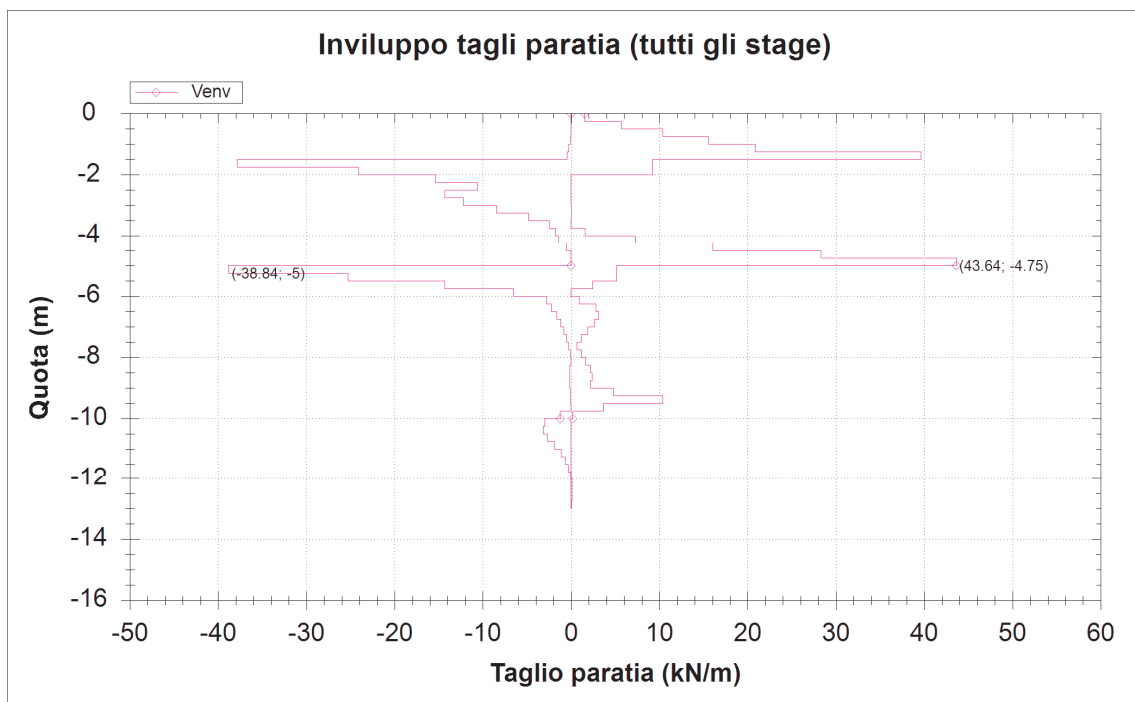


Figura 23: Diagramma del taglio (EQK+M1+R1)

| Paratia di pali | T [kN/m] | $i_{pali}$ [m] | Tpalo [kN] |
|-----------------|----------|----------------|------------|
| SLU (A1+M1+R1)  | 55.7     | 0.6            | 33.4       |
| SLV (EQK+M1+R1) | 43.6     | 0.6            | 26.2       |

Tabella 22: Valori del taglio sulla paratia

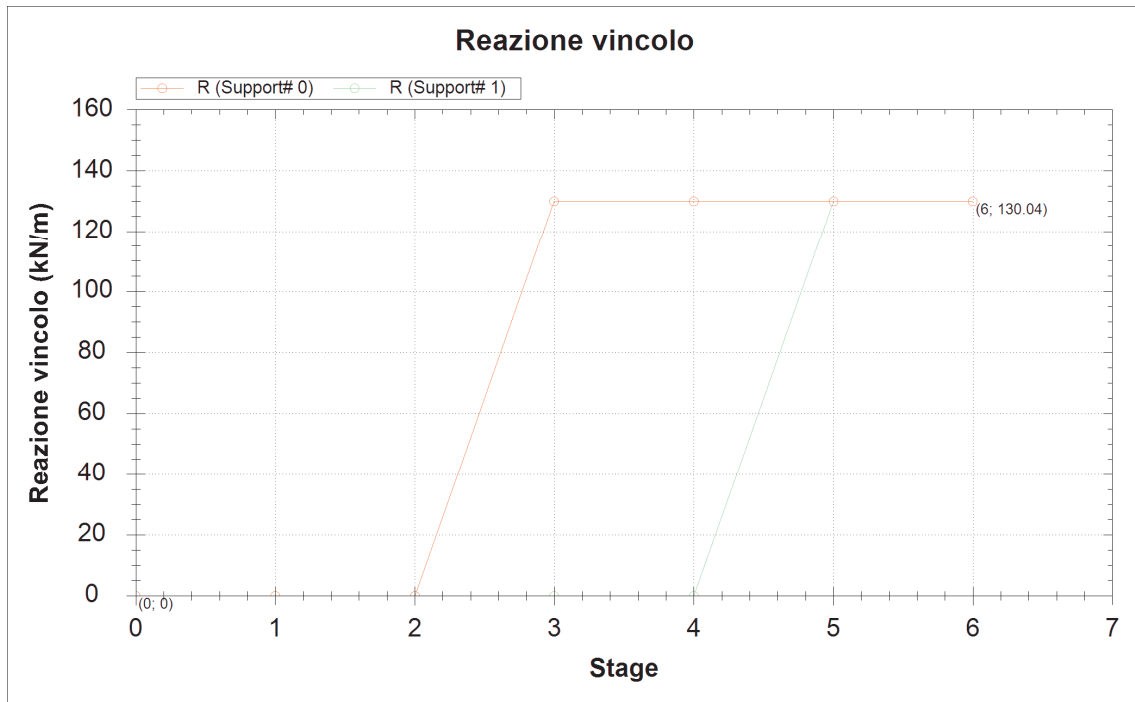


Figura 24: Reazioni tiranti (A1+M1+R1)

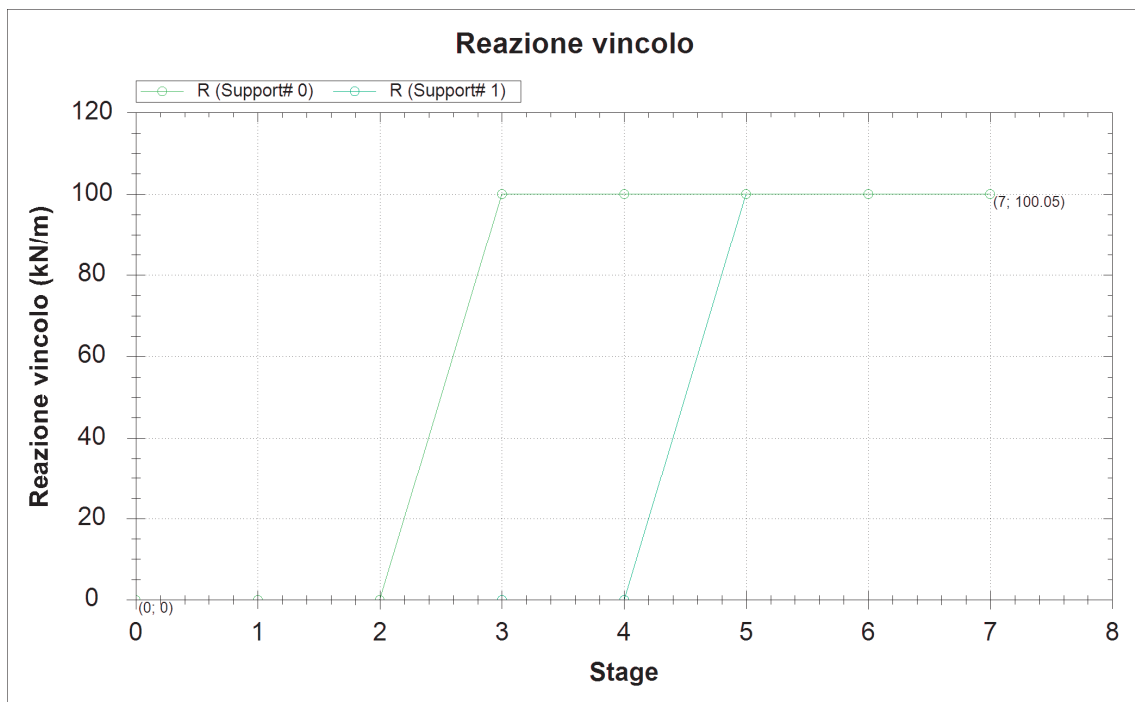


Figura 25: Reazioni tiranti (EQK+M1+R1)



## 20.2 Verifica strutturale dei pali

L'armatura longitudinale è costituita da un tubo in acciaio  $\phi$  273 e spessore 10 mm.  
Si riporta la verifica allo SLU/SLV.

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

|                           |   |        |      |
|---------------------------|---|--------|------|
| Diametro esterno nominale | D | 273.00 | [mm] |
| Spessore nominale         | t | 10.00  | [mm] |
| Diametro interno nominale | d | 253.00 | [mm] |

#### CARATTERISTICHE MECCANICHE

|  |                    |       |                    |
|--|--------------------|-------|--------------------|
| Area della sezione trasversale                       | A                  | 82.6  | [cm <sup>2</sup> ] |
| Momento d'inerzia                                    | I                  | 7154  | [cm <sup>4</sup> ] |
| Raggio d'inerzia                                     | i                  | 9.31  | [cm]               |
| Modulo di resistenza elastico                        | W <sub>el,yy</sub> | 524   | [cm <sup>3</sup> ] |
| Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte | W <sub>pl,yy</sub> | 692   | [cm <sup>3</sup> ] |
| Momento d'inerzia torsionale                         | I <sub>t</sub>     | 14308 | [cm <sup>4</sup> ] |
| Modulo di torsione                                   | C <sub>t</sub>     | 1048  | [cm <sup>3</sup> ] |

#### CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

|                                      |                 |                 |       |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Valore di snervamento dell'acciaio   | f <sub>yk</sub> | 275             | [MPa] |
| Coefficiente $\epsilon$              | $\epsilon$      | 0.92            | [-]   |
| <b>Classificazione</b>               |                 |                 |       |
| Diametro                             | d               | 273.00          | [mm]  |
| Spessore                             | t               | 10.00           | [mm]  |
| Rapporto tra diametro e spessore     | d/t             | 27.30           | [-]   |
| <i>Classificazione della sezione</i> |                 | <b>CLASSE 1</b> |       |

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - TAGLIO

|                   |      |                    |                              |
|-------------------|------|--------------------|------------------------------|
| V <sub>Ed</sub>   | 33.4 | [kN]               |                              |
| A <sub>V</sub>    | 52.6 | [cm <sup>2</sup> ] | Area a taglio                |
| $\gamma_{MO}$     | 1.05 |                    |                              |
| V <sub>c,Rd</sub> | 795  | [kN]               | Resistenza a taglio del tubo |

nessuna riduzione delle tensioni di snervamento per la verifica a flessione

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 = - \quad f_{y,red} = - \quad [\text{MPa}] \quad \text{FS} \quad 23.8$$

#### VERIFICA DI RESISTENZA ALLO SLU - FLESSIONE

|                   |      |       |                                 |
|-------------------|------|-------|---------------------------------|
| M <sub>Ed</sub>   | 18.0 | [kNm] |                                 |
| M <sub>c,Rd</sub> | 181  | [kNm] | Resistenza a flessione del tubo |
|                   |      |       | FS 10.1                         |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLU**

|           |            |                |          |    |        |
|-----------|------------|----------------|----------|----|--------|
| $V_{SLE}$ | 33.4 [kN]  | $\tau$         | 6 [MPa]  |    |        |
| $M_{SLE}$ | 18.0 [kNm] | $\sigma_M$     | 34 [MPa] |    |        |
| $N_{SLE}$ | 0 [kN]     | $\sigma_N$     | 0 [MPa]  |    |        |
|           |            | $\sigma_{TOT}$ | 36 [MPa] | ok | FS 7.3 |

**VERIFICHE TENSIONALI - SLE**

|           |            |                |          |    |  |
|-----------|------------|----------------|----------|----|--|
| $V_{SLE}$ | 24.7 [kN]  | $\tau$         | 5 [MPa]  |    |  |
| $M_{SLE}$ | 13.3 [kNm] | $\sigma_M$     | 25 [MPa] |    |  |
| $N_{SLE}$ | 0 [kN]     | $\sigma_N$     | 0 [MPa]  |    |  |
|           |            | $\sigma_{TOT}$ | 27 [MPa] | ok |  |
| coeff.    | 1.35       | FS             | 9.8      |    |  |

**20.3 Verifica degli spostamenti orizzontali**

Allo SLE, analizzando tutte le fasi di calcolo, si individuano deformazioni massime lungo lo sviluppo della paratia che risultano inferiori al mm.

Nelle figure che seguono si mostrano i diagrammi degli spostamenti orizzontali. Tali spostamenti risultano compatibili con l'opera.

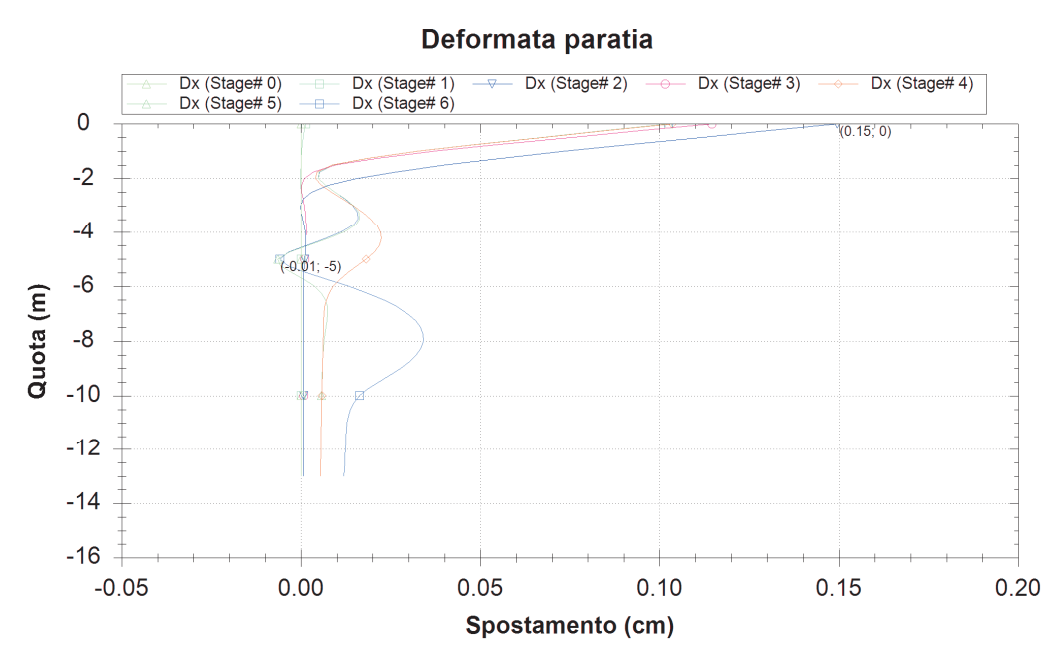


Figura 26: Diagramma degli spostamenti orizzontali (SLE)

---

## 21 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 (ubiccate 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.