

**ITINERARIO RAGUSA-CATANIA**

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte"  
con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"  
LOTTO 1 - Dallo svincolo n. 1 sulla S.S. 115 (compreso) allo svincolo n. 3 sulla S.P. 5 (escluso)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PA895**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE**

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Marco Leonardi

Ordine dei Geologi della Regione Lazio n° 1541

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Ambrogio Signorelli

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° A35111

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N. Granieri  
Dott. Ing. F. Durastanti  
Dott. Ing. V. Truffini  
Dott. Arch. A. Bracchini  
Dott. Ing. L. Nani

Dott. Ing. M. Abram  
Dott. Ing. F. Pambianco  
Dott. Ing. M. Briganti Botta  
Dott. Ing. L. Gagliardini  
Dott. Geol. G. Cerquiglioni

MANDANTI:



Dott. Ing. G. Guiducci  
Dott. Ing. A. Signorelli  
Dott. Ing. E. Moscatelli  
Dott. Ing. A. Bela

Dott. Ing. G. Lucibello  
Dott. Arch. G. Guastella  
Dott. Geol. M. Leonardi  
Dott. Ing. G. Parente



Dott. Arch. E. A. E. Crimi  
Dott. Ing. M. Panfili  
Dott. Arch. P. Ghirelli  
Dott. Ing. D. Pelle

Dott. Ing. L. Ragnacci  
Dott. Arch. A. Strati  
Archeol. M. G. Liseno



Dott. Ing. D. Carlacchini  
Dott. Ing. S. Sacconi  
Dott. Ing. C. Consorti

Dott. Ing. F. Aloe  
Dott. Ing. A. Salvemini



Dott. Ing. V. Rotisciani  
Dott. Ing. G. Pulli  
Dott. Ing. F. Macchioni

Dott. Ing. G. Verini Supplizi  
Dott. Ing. V. Piunno  
Geom. C. Sugaroni



Dott. Ing. P. Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



**CAVALCAVIA**  
**CAVALCAVIA AL KM 0+000**  
**Relazione di calcolo interventi sottostrutture**

| CODICE PROGETTO |             |          | NOME FILE                                |            |             | REVISIONE   | SCALA: |
|-----------------|-------------|----------|------------------------------------------|------------|-------------|-------------|--------|
| PROGETTO        | LIV. PROG.  | N. PROG. | T01CV01STRRE03A                          |            |             |             |        |
| L O 4 0 8 Z     | E           | 2 1 0 1  | CODICE ELAB. T 0 1 C V 0 1 S T R R E 0 3 |            |             | A           | -      |
| D               |             |          |                                          |            |             |             |        |
| C               |             |          |                                          |            |             |             |        |
| B               |             |          |                                          |            |             |             |        |
| A               | EMISSIONE   |          | Ottobre 2021                             | A. Oliveti | G. Guiducci | N. Granieri |        |
| REV.            | DESCRIZIONE |          | DATA                                     | REDATTO    | VERIFICATO  | APPROVATO   |        |

## INDICE

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA .....</b>                                               | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>                               | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>INTERVENTI PREVISTI.....</b>                                     | <b>7</b>  |
| 3.1      | SCHEMA DI VINCOLO .....                                             | 7         |
| 3.2      | ISOLATORI ELASTOMERICI E DISPOSITIVI DI APPOGGIO .....              | 7         |
| <b>4</b> | <b>MATERIALI.....</b>                                               | <b>8</b>  |
| 4.1      | MATERIALI INTERVENTI .....                                          | 8         |
| 4.1.1    | Calcestruzzo C32/40 (nuovi getti: placcaggio paramento spalle)..... | 8         |
| 4.1.2    | Malta cementizia C25/30 per tiranti.....                            | 8         |
| 4.1.3    | Acciaio B450C per interventi rinforzo.....                          | 8         |
| 4.1.4    | Acciaio per tiranti.....                                            | 8         |
| <b>5</b> | <b>SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>6</b> | <b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>                           | <b>10</b> |
| 6.1      | PARAMETRI CARATTERISTICI .....                                      | 10        |
| <b>7</b> | <b>CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA.....</b>                  | <b>11</b> |
| 7.1      | ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE .....                    | 11        |
| 7.2      | AZIONE SISMICA PROVENIENTE DALL'IMPALCATO.....                      | 12        |
| <b>8</b> | <b>DESCRIZIONE INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO.....</b>           | <b>13</b> |
| 8.1      | RINFORZO SPALLE.....                                                | 13        |
| 8.1.1    | Rinforzo muro frontale .....                                        | 13        |
| 8.1.2    | Rinforzo muri andatori.....                                         | 15        |
| 8.2      | ARRETRAMENTO PARAGHIAIA.....                                        | 17        |
| <b>9</b> | <b>METODO DI CALCOLO .....</b>                                      | <b>18</b> |
| 9.1      | CRITERI DI VERIFICA.....                                            | 18        |

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>9.2 OPERE DI FONDAZIONE.....</b>                  | <b>20</b> |
| 9.2.1 Fondazioni superficiali .....                  | 20        |
| 9.2.2 Verifica dei tiranti .....                     | 23        |
| <b>10 INTERVENTI GEOTECNICI .....</b>                | <b>27</b> |
| <b>10.1 INTERVENTO SUI MURI FRONTALI SPALLE.....</b> | <b>27</b> |
| 10.1.1 Geometria spalla .....                        | 27        |
| 10.1.2 Descrizione terreni.....                      | 29        |
| 10.1.3 Stratigrafia .....                            | 30        |
| 10.1.4 Condizioni di carico .....                    | 31        |
| 10.1.5 Combinazioni di carico .....                  | 32        |
| 10.1.6 Dati sismici .....                            | 35        |
| 10.1.7 Risultati per combinazione .....              | 36        |
| 10.1.8 Verifiche Geotecniche.....                    | 38        |
| 10.1.9 Sollecitazioni Paramento e Fondazione.....    | 41        |
| 10.1.10 Verifiche strutturali.....                   | 44        |
| 10.1.11 Verifiche dei tiranti passivi.....           | 48        |
| <b>10.2 INTERVENTO SUI MURI ANDATORI .....</b>       | <b>52</b> |
| 10.2.1 Geometria muri andatori.....                  | 52        |
| 10.2.2 Descrizione terreni.....                      | 53        |
| 10.2.3 Stratigrafia .....                            | 54        |
| 10.2.4 Condizioni di carico .....                    | 55        |
| 10.2.5 Combinazioni di carico .....                  | 56        |
| 10.2.6 Dati sismici .....                            | 59        |
| 10.2.7 Risultati per combinazione .....              | 60        |
| 10.2.8 Verifiche Geotecniche.....                    | 62        |

---

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 10.2.9 Sollecitazioni Paramento e Fondazione.....                               | 66        |
| 10.2.10 Verifiche strutturali.....                                              | 68        |
| 10.2.11 Verifiche dei tiranti passivi.....                                      | 72        |
| 10.2.12 Verifica travi di ripartizione .....                                    | 74        |
| <b>10.3 INTERVENTO DI ARRETRAMENTO PARAGHIAIA .....</b>                         | <b>75</b> |
| <b>10.4 INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE CORDOLI IN TESTA AI MURI ANDATORI .....</b> | <b>81</b> |
| 10.4.1 Verifica testa del muro andatore.....                                    | 82        |
| 10.4.2 Verifica sezione di attacco tra cordolo e muro andatore .....            | 84        |
| <b>11 CONCLUSIONI .....</b>                                                     | <b>86</b> |

## 1 PREMESSA

La presente relazione, redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo "Itinerario Ragusa-Catania. Collegamento viario compreso tra lo svincolo della SS 514 di "Chiaromonte" con la SS 115 e lo svincolo della "Ragusana" - Lotto 1 contiene i calcoli e le verifiche degli interventi sulle spalle del cavalcavia ubicato al km0+000 della S.S.194 "Ragusana".

L'opera presenta un impalcato con 6 travi in c.a.p., accostate, ad interasse di 1.85m e di luce variabile da 21.52 a 21.73m.

La piattaforma stradale è composta da una carreggiata di larghezza di 10.5m da due cordoli di larghezza pari a 0.75m ognuno su cui sono posizionate le barriere di sicurezza e le reti di protezione. La pavimentazione è formata da uno strato di usura di spessore pari a 4 cm e da uno strato di collegamento (binder) di spessore pari a 7 cm. Tra quest'ultimo e la soletta è interposta l'impermeabilizzazione.

L'impalcato è isolato sismicamente con isolatori elastomerici.

Le due spalle hanno identica geometria e sono sottoposte agli stessi carichi provenienti dall'impalcato. Per tale motivo l'intervento proposto in tale relazione è valido per entrambe le spalle.

A seguire si riportano immagini relative alla carpenteria delle spalle.

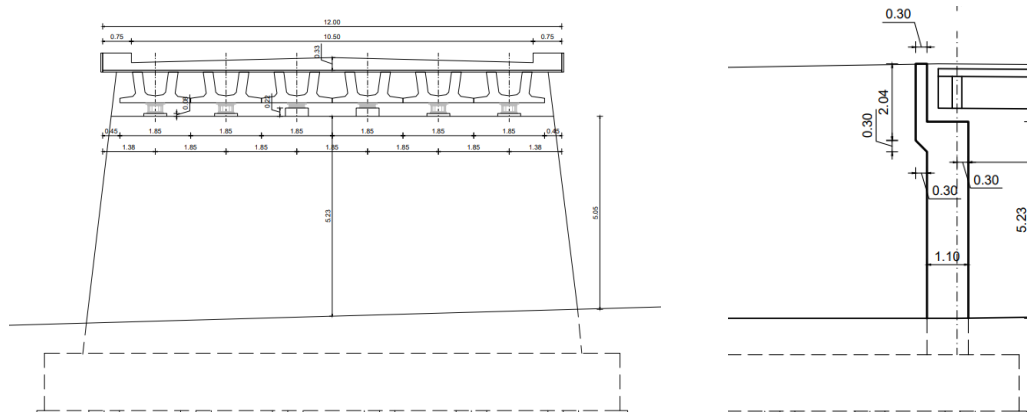


Figura 1.1 Carpenteria delle spalle.

Gli interventi trattati in tale relazione si effettuano al fine di ottenere l'adeguamento sismico delle strutture del cavalcavia e consiste nel rinforzo delle spalle e dei muri andatori, e nell'arretramento dei muri paraghiaia esistenti al fine di consentire lo spostamento previsto dall'impalcato durante l'evento sismico. Si riporta di seguito una sezione longitudinale dell'opera esistente.



Figura 1.2 Vista laterale dell'opera (stato attuale)

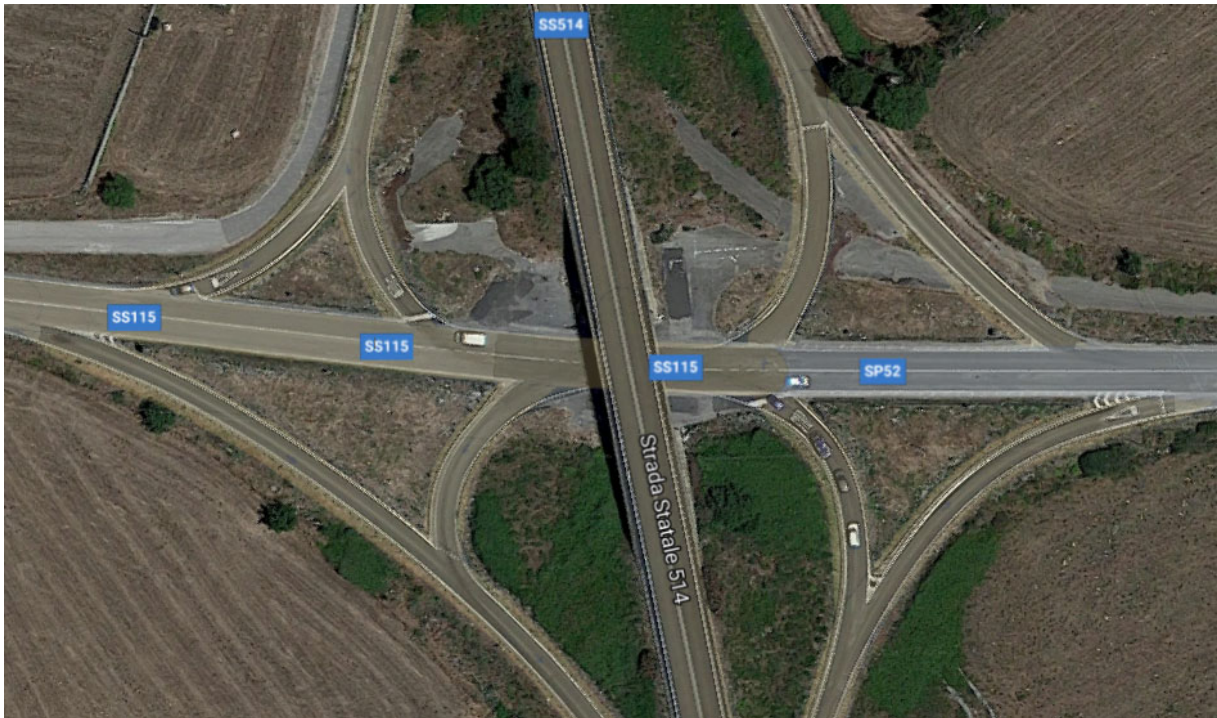


Figura 1.3 Vista laterale e planimetrica dell'opera (stato attuale)



## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il principale riferimento normativo da considerare per lo studio e l'analisi di strutture esistenti è il D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" che fornisce i criteri generali che regolano il processo di conoscenza e valutazione della sicurezza.

Per la definizione del numero di prove e rilievi, anche per scopi diversi dalla verifica sismica, si possono prendere in considerazione i criteri forniti da:

- Circolare n.617 del 2 Febbraio 2009 Ministero Infrastrutture e Trasporti, Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- EN1998-3, Eurocodice 8, Progettazione sismica delle strutture, Parte 3, Valutazione e rinforzo degli edifici.
- Valutazione e consolidamento sismico dei ponti esistenti – Pinto P.E., Lupoi A., Franchin P. Iuss Press 2009;
- ANAS, Quaderni Tecnici – Quaderno tecnico 1 – Valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo;
- AASHTO, The Manual for Bridge Evaluation;
- ASCE, ASCE 41-17, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings;
- FEMA, FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings;
- FHWA, Manual for Design, Construction and Maintenance of Orthotropic Steel Deck Bridges.

### 3 INTERVENTI PREVISTI

Si riporta sinteticamente la lista degli interventi da effettuare:

- Demolizione e sostituzione dell'impalcato esistente e del relativo sistema di appoggi, realizzando un nuovo impalcato isolato sismicamente che trasmetterà alle sottostrutture limitate azioni orizzontali in condizioni sismiche;
- Arretramento paraghiaia per consentire gli spostamenti sismici di progetto;
- Rinforzo di spalle e relativi muri andatori mediante realizzazione di tiranti e paretine di placcaggio.

In tale relazione si trattano il secondo e il terzo punto dell'elenco riportato sopra; il primo punto è trattato nella specifica relazione di calcolo.

#### 3.1 SCHEMA DI VINCOLO

Risulta fondamentale, al fine di comprendere il comportamento strutturale dell'opera, descrivere il nuovo schema di vincolo che verrà realizzato mediante gli interventi descritti in precedenza. L'impalcato è così vincolato:

I due tronchi di impalcato vengono così vincolati: In corrispondenza delle spalle è presente un giunto di dilatazione che permette le dilatazioni termiche sia longitudinali e trasversali.

Al fine di calibrare correttamente la rigidezza traslazionale del sistema isolato per garantire l'efficacia del sistema di isolamento (riduzione azione sismica alle sottostrutture) ma al tempo stesso garantire spostamenti sismici compatibili con la funzionalità dell'opera, gli appoggi su entrambe le spalle sono di due tipi.

- Appoggi multidirezionale (per la coppia di travi centrali)
- Isolatori elastomerici per le rimanenti travi (4 travi).

Per dettagli su specifiche tecniche degli appoggi si rimanda allo specifico elaborato.

#### 3.2 ISOLATORI ELASTOMERICI E DISPOSITIVI DI APPOGGIO

Per l'isolamento sismico del cavalcavia in oggetto si prevede l'utilizzo di isolatori elastomerici. Nella definizione dei dispositivi si è fatto riferimento a dei dispositivi attualmente in commercio, tuttavia si evidenzia che potranno esser adottati dei dispositivi fabbricati da un differente produttore, ovviamente a patto che questi ultimi siano dotati di caratteristiche tecniche del tutto equivalenti (comunque "non inferiori") a quelle definite.



## 4 MATERIALI

Al fine delle verifiche strutturali verranno utilizzati i parametri relativi ai materiali di seguito indicati:

### 4.1 MATERIALI INTERVENTI

#### 4.1.1 Calcestruzzo C32/40 (nuovi getti: placcaggio paramento spalle)

Le caratteristiche del materiale adottate come riferimento per il calcolo sono le seguenti:

- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$  MPa;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot 0.85 / (1.5) = 18.81$  MPa;
- Modulo di Elasticità normale:  $E = 33$  GPa;
- Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0.2$ ;
- Peso per unità di volume:  $\gamma_c = 25$  kN/m<sup>3</sup>;
- Coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha_c = 0.0000125 \cdot (1/^\circ\text{C})$ .

#### 4.1.2 Malta cementizia C25/30 per tiranti

Le caratteristiche del materiale adottate come riferimento per il calcolo sono le seguenti:

- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$  MPa;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot 0.85 / (1.5) = 14.11$  MPa.

#### 4.1.3 Acciaio B450C per interventi rinforzo

Le caratteristiche del materiale adottate come riferimento per il calcolo sono le seguenti:

- $f_{yd} = f_y / (1.15) = 391$  MPa;
- Modulo di Elasticità normale:  $E = 200$  GPa;
- Peso per unità di volume:  $\gamma_c = 78.5$  kN/m<sup>3</sup>;

È stato considerato un comportamento elastico-perfettamente plastico (non incrudente).

#### 4.1.4 Acciaio per tiranti

Le caratteristiche del materiale adottate come riferimento per il calcolo sono le seguenti:

- Tensione di snervamento dell'acciaio:  $f_{yk} = 835$  MPa;
- Tensione a rottura:  $f_{tk} = 1035$  MPa.

È stato considerato un comportamento elastico-perfettamente plastico (non incrudente).

## 5 SOFTWARE DI CALCOLO

La modellazione dei muri di sostegno, per le verifiche geotecniche e la determinazione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali, è stata eseguita con il software di calcolo **MAX Analisi e Calcolo Muri di Sostegno**, versione 15 della Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS).

Le verifiche geotecniche delle fondazioni delle pile e delle spalle sono condotte con l'ausilio di fogli di calcolo Excel pubblicati dalla casa editrice DEI (M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI).

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si è ricorso al seguente programma:

- **"VcaSLU"** – ver. 7.7 del 30 agosto 2011, sviluppato dal Prof. Piero Gelfi.

Il programma consente la verifica di sezioni in cemento armato normale e precompresso, soggette a presso-flessione o tenso-flessione retta o deviata sia allo Stato Limite Ultimo che con il Metodo n e permette inoltre di tracciare il domino M-N.

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 6.1 PARAMETRI CARATTERISTICI

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati nel calcolo per il dimensionamento degli interventi:

Tabella 6-1 Parametri fisico/meccanici caratteristici

| Descrizione           | $\gamma$ | $\gamma_{\text{sat}}$ | $\phi$ | $\delta$ | $c$   | $c_a$ |
|-----------------------|----------|-----------------------|--------|----------|-------|-------|
|                       | [kN/mc]  | [kN/mc]               | [°]    | [°]      | [kPa] | [kPa] |
| Rilevato              | 19.0     | 19.0                  | 34.0   | 22.67    | 0     | 0     |
| Unità 1 - Mcm litoide | 24.5     | 24.5                  | 27.0   | 18.00    | 215   | 108   |

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

## 7 CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008 le azioni sismiche, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione massima orizzontale attesa su suolo rigido ( $V_{s,eq} > 800$  m/s) con superficie topografica orizzontale.

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Per la determinazione dell'azione sismica dell'opera in esame sono state considerate le seguenti coordinate di riferimento:

- longitudine 16,65020°;
- latitudine 36,93974°.

Al fine di definire compiutamente lo spettro di progetto, la normativa richiede di precisare la vita nominale delle opere strutturali  $V_N$ , intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata ed effettuare una scelta in merito alla classe d'uso della struttura e alle condizioni del suolo di fondazione.

I parametri principali utilizzati per la definizione dello spettro riguardanti le scelte progettuali sono:

- Vita nominale ( $V_N$ ) = 50 anni;
- Classe d'uso IV ( $C_U=2,0$ );
- Periodo di riferimento dell'opera:  $V_R = V_N \cdot C_U = 100$  anni;
- Categoria Topografica T1;
- Categoria di Sottosuolo A.
- 

### 7.1 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE

Sulla base delle ipotesi di progetto adottate è stata determinata l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_{max}$ :

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

dove:

- $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ );
- $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

In particolare, il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$  è stato valutato in base alle espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV di seguito riportata:

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

| Categoria sottosuolo | $S_s$                                                           | $C_c$                        |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| A                    | 1,00                                                            | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, sono stati utilizzati i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.V:

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento                                               | $S_T$ |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| T1                    | -                                                                                     | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio                                            | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°       | 1,4   |

Tabella 7-1 Coefficiente sismico calcolato per il sito di riferimento, per lo SLV

| Opera di riferimento | $a_g$               | Categoria Sottosuolo | Categoria Topografica | $a_{max}$           |
|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| (descrizione)        | (m/s <sup>2</sup> ) | -                    | -                     | (m/s <sup>2</sup> ) |
| Cavalcavia km 0+000  | 0,283               | A                    | T1                    | <b>0.283</b>        |

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,283 = 0,283 \text{ g}$$

## 7.2 AZIONE SISMICA PROVENIENTE DALL'IMPALCATO

Per la determinazione dell'azione sismica proveniente dall'impalcato è stata eseguita un'analisi dinamica lineare (modale con spettri di risposta) riportata nella relazione di calcolo dell'impalcato.

La sollecitazione di taglio agli SLV su una spalla è pari a 289 kN; poiché il calcolo della spalla è effettuato al metro lineare l'azione di taglio indicata viene divisa per la larghezza della spalla.

## 8 DESCRIZIONE INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

### 8.1 RINFORZO SPALLE

#### 8.1.1 Rinforzo muro frontale

L'intervento prevede il rinforzo del paramento verticale mediante placcaggio (33 cm circa) del muro frontale e posa in opera di tre ordini tiranti passivi per un totale di 17 tiranti/muro.

Lo sviluppo del muro di placcaggio è previsto per una lunghezza di 11.0m e per 5.50 m in altezza a partire dall'estradosso del plinto di fondazione.

Prima dell'esecuzione del placcaggio sarà necessario scarificare per uno spessore massimo di 3 cm la superficie del paramento della spalla.

I tiranti sono costituiti da una barra a filettatura continua  $\varnothing 40$  tipo Dywidag a bulbo iniettato con tecnologia esecutiva IGU.

Di seguito si elencano le caratteristiche:

- Diametro perforazione:  $\varnothing 150$ ;
- Inclinazione:  $5.0^\circ$  ad eccezione dell'ordine di tiranti più basso:  $0.0^\circ$
- Lunghezza totale primo ordine tiranti: 20.0 m, di cui 13.0 m di lunghezza libera e 7.0 m di bulbo;
- Lunghezza totale secondo ordine tiranti: 18.0 m, di cui 11.0 m di lunghezza libera e 7.0 m di bulbo;
- Lunghezza totale terzo ordine tiranti: 16.0 m, di cui 9.0 m di lunghezza libera e 7.0 m di bulbo;
- Tecnologia IGU pressione maggiore di 1.0 MPa;
- Malta C25/30.

L'acciaio delle barre è del tipo 835/1035 con tensione di snervamento  $f_{yk}=835$  MPa e tensione a rottura  $f_{tk}=1035$  MPa.

La quota del foro di perforazione, per ciascun ordine di tiranti, si trova ad 1.20 m per il primo ordine di tiranti, a 3.2 m per il secondo ed a 5.2 m per il terzo a partire dal piano dei baggioli.

Le seguenti figure mostrano il prospetto frontale e la sezione trasversale della spalla SP1 con i tiranti.



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

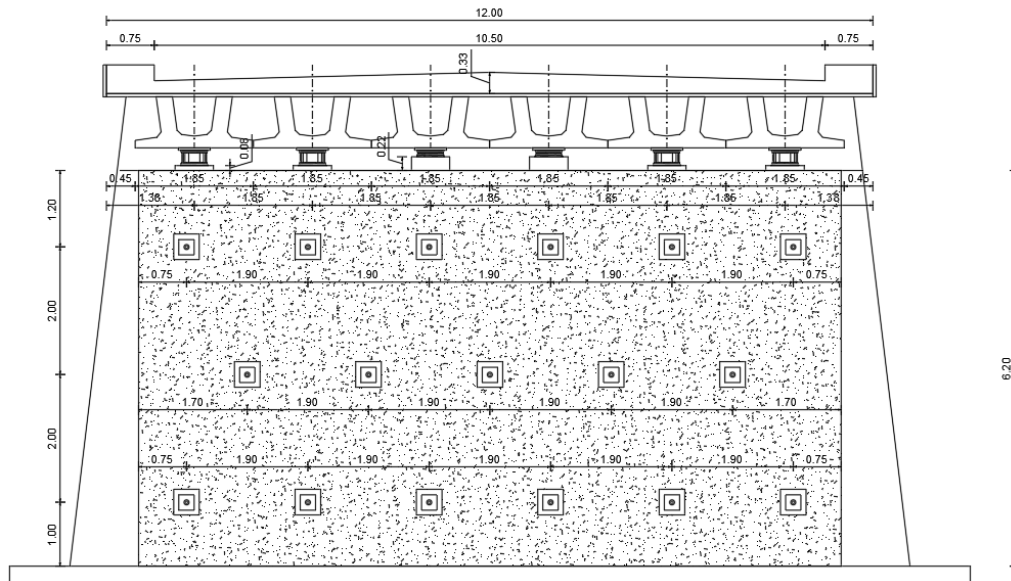


Figura 8-1 Intervento su muro frontale paramento

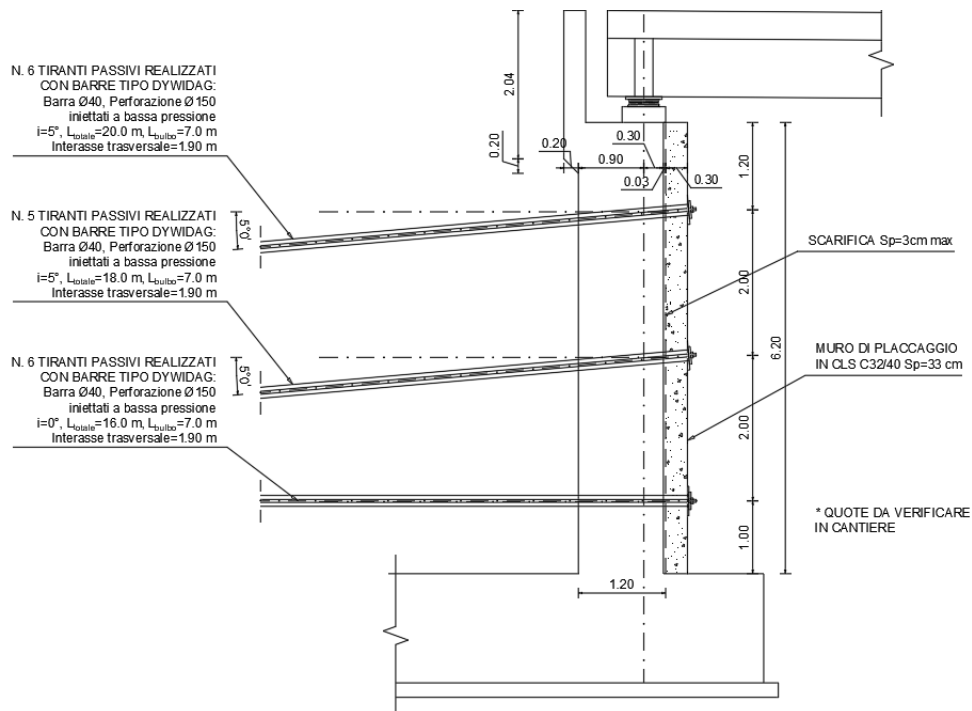


Figura 8-2 Sezione longitudinale paramento

La ripartizione delle azioni dei tiranti sul paramento della spalla viene garantita dal placcaggio stesso. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico di progetto.

### 8.1.2 Rinforzo muri andatori

L'intervento prevede il rinforzo del paramento verticale mediante posa in opera di due ordini di tiranti passivi di collegamento tra i due muri andatori paralleli; per un totale di 10 tiranti/muro.

I tiranti sono costituiti da una barra a filettatura continua  $\varnothing 40$  tipo Dywidag a bulbo iniettato con tecnologia esecutiva IGU.

Di seguito si elencano le caratteristiche:

- Diametro perforazione:  $\varnothing 80$ ;
- Inclinazione:  $0.0^\circ$
- Tecnologia IGU pressione maggiore di 1.0 MPa;
- Malta C25/30.

L'acciaio delle barre è del tipo 835/1035 con tensione di snervamento  $f_{yk}=835$  MPa e tensione a rottura  $f_{tk}=1035$  MPa.

Le seguenti figure mostrano il prospetto frontale di un muro andatore con i tiranti e travi di ripartizione.

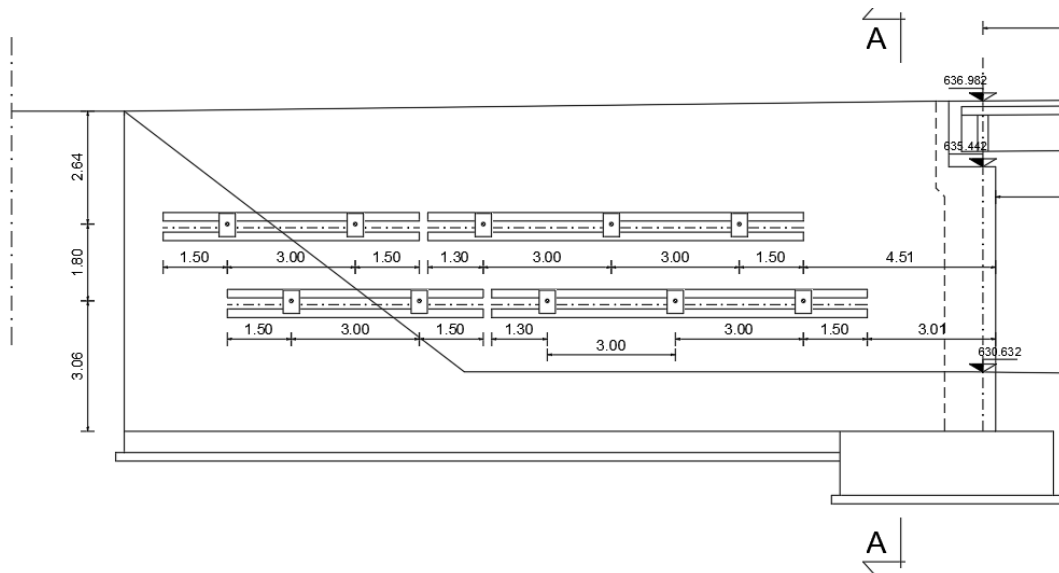


Figura 8-3 Intervento su muri andatori

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**DETTAGLIO CARPENTERIA METALLICA**

scala 1:10

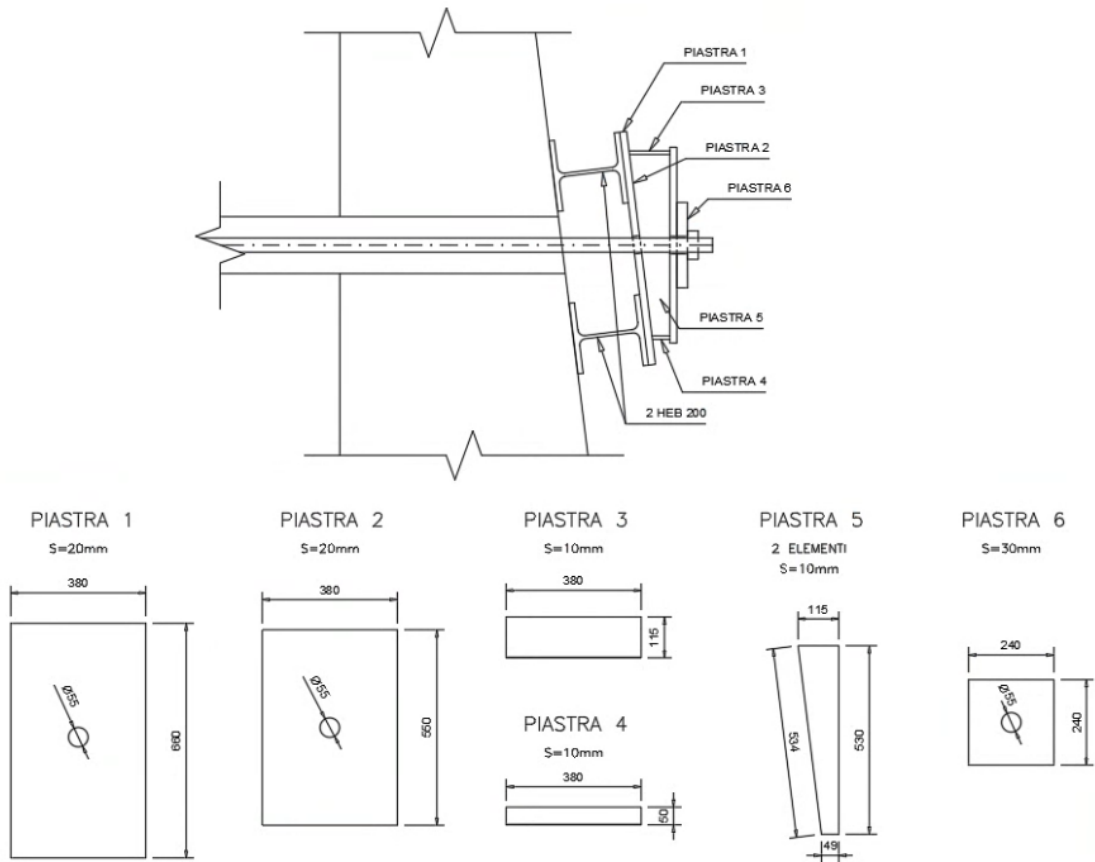


Figura 8-4 Dettaglio di carpenteria metallica

La ripartizione delle azioni dei tiranti sul paramento dei muri andatori viene garantita dalle travi di ripartizione.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico di progetto.

## 8.2 ARRETRAMENTO PARAGHIAIA

Al fine di consentire gli spostamenti dell'impalcato in fase sismica (spostamento massimo degli isolatori agli SLC), è necessario demolire l'attuale paraghiaia per ricostruirla in una posizione più arretrata. Nelle immagini successive si riportano le sezioni longitudinali del paraghiaia pre e post intervento.

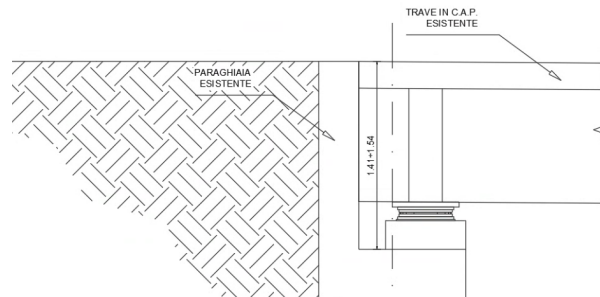


Figura 8-5 Posizione paraghiaia pre-intervento

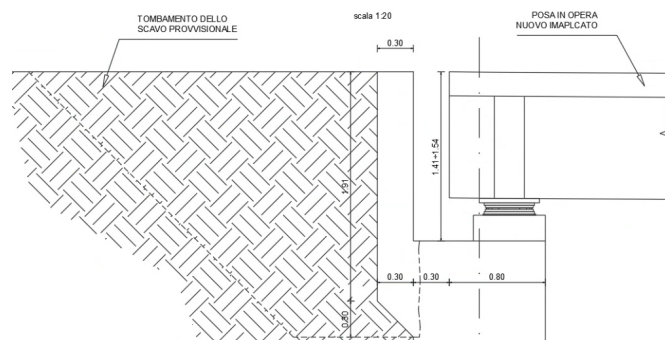


Figura 8-6 Posizione paraghiaia post-intervento

Per tutti i dettagli di intervento si vedano gli specifici elaborati grafici.

## 9 METODO DI CALCOLO

### 9.1 CRITERI DI VERIFICA

Nel presente paragrafo sono descritti i criteri di verifica e dimensionamento delle opere geotecniche.

Le verifiche sono state eseguite in accordo al DM 14/01/2008.

Per ogni stato limite ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$

e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

L'effetto delle azioni e la resistenza sono espressi in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F \cdot F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Azioni

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I del DM 14/01/2008. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 della citata norma. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel Cap. 2 del DM 14/01/2008.

In caso di analisi in condizione statica, si adottano i seguenti coefficienti parziali:

Tabella 9-1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (tab. 6.2.1 del DM 14/01/2008).

| Carichi                    | Effetto     | Coefficiente parziale | EQU | A1   | A2   |
|----------------------------|-------------|-----------------------|-----|------|------|
| Permanenti                 | Favorevole  | $\gamma_{G1}$         | 0,9 | 1,00 | 1,00 |
|                            | Sfavorevole |                       | 1,1 | 1,30 | 1,00 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole  | $\gamma_{G2}$         | 0,8 | 0,8  | 0,8  |
|                            | Sfavorevole |                       | 1,5 | 1,5  | 1,3  |
| Variabili                  | Favorevole  | $\gamma_{Qi}$         | 0,0 | 0,0  | 0,0  |
|                            | Sfavorevole |                       | 1,5 | 1,5  | 1,3  |

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella Tab. 6.2.II del DM 14/01/2008 e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$ ;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$ ;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$ .

Tabella 9-2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (tab. 6.2.II del DM 14/01/2008).

| Parametro                       | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale | M1   | M2   |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\tan\phi'$                                             | $\gamma_{\phi'}$      | 1,00 | 1,25 |
| Coesione efficace               | $c'$                                                    | $\gamma_{c'}$         | 1,00 | 1,25 |
| Resistenza non drenata          | $c_u$                                                   | $\gamma_{c_u}$        | 1,00 | 1,40 |
| Peso dell'unità di volume       | $\gamma$                                                | $\gamma_{\gamma}$     | 1,00 | 1,00 |



Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

In condizioni sismiche, le verifiche agli SLU devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto.

## 9.2 OPERE DI FONDAZIONE

### 9.2.1 Fondazioni superficiali

Le verifiche di sicurezza per le fondazioni superficiali fanno riferimento agli stati limite ultimi di tipo geotecnico:

- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione terreno;
- Collasso per scorrimento del piano di posa;
- Stabilità globale.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (a2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I. Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Tabella 9-3 Coefficienti parziali per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali (tab. 6.4.I del DM 14/01/2008).

| Verifica      | Coefficiente parziale (R3) |
|---------------|----------------------------|
| Carico limite | $\gamma_R = 2,3$           |
| Scorrimento   | $\gamma_R = 1,1$           |

#### 9.2.1.1.1.1 Carico limite verticale

L'espressione generale per il calcolo del carico limite fa riferimento alla formula di Brinch-Hansen (1970):

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

nella quale:

$N_c, N_q, N_\gamma$  fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

$s_c, s_q, s_\gamma$  fattori di forma della fondazione;

CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO

|                      |                                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $i_c, i_q, i_\gamma$ | fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;                  |
| $b_c, b_q, b_\gamma$ | fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione; |
| $g_c, g_q, g_\gamma$ | fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;          |
| $d_c, d_q, d_\gamma$ | fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.                              |

Per la determinazione dei fattori di capacità portante  $N_q$  e  $N_c$  si fa riferimento alle espressioni ricavate analiticamente da Prandtl (1921) e Reissner (1924). Per il fattore  $N_\gamma$  si fa riferimento all'espressione proposta da Caquot e Kérisel (1953).

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \tan \phi$$

Per tener conto dell'eccentricità e della risultante dei carichi, il valore della larghezza  $B$  da introdurre nell'equazione del carico limite è quello corrispondente all'area effettiva equivalente (Meyerhof, 1953), ossia alla minima superficie rispetto alla quale la risultante risulta centrata.

Nel caso di fondazioni quadrate o rettangolari tale larghezza è data da:

$$B = B_R - 2 \cdot e$$

$$L = L_R - 2 \cdot e$$

dove  $B_R$  e  $L_R$  sono le dimensioni della fondazione reale.

9.2.1.1.2 Fattori di forma

$$s_\gamma = s_q = 1 + 0.1 \cdot K_p \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \frac{B}{L}$$

9.2.1.1.3 Fattori di profondità

Per profondità relative  $D/B \leq 1$  
$$d_q = 1 + 2 \frac{D}{B} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$$

Per profondità relative  $D/B > 1$  
$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1}(D/B)$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \phi}$$

$$d_\gamma = 1$$

9.2.1.1.4 Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{N + A_f c' \cot \phi} \right)^{m+1}$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{N + A_f c' \cot \phi} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \phi}$$

#### 9.2.1.1.5 Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$b_q = (1 - \alpha \tan \phi)^2$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \tan \phi}$$

$$b_\gamma = b_q$$

dove  $\alpha$  è l'inclinazione del piano di posa sul piano orizzontale.

#### 9.2.1.1.6 Fattori di inclinazione del pendio

$$g_q = (1 - \tan \omega)^2$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \tan \phi}$$

$$g_\gamma = g_q$$

dove  $\omega$  è l'inclinazione del piano campagna.

In termini di tensioni totali, facendo riferimento alla soluzione di Prandtl (1921) e alle successive generalizzazioni, la capacità portante limite si calcola con l'espressione:

$$q_{\text{lim}} = c_u N_c s_c^0 \cdot i_c^0 \cdot b_c^0 \cdot g_c^0 + q$$

nella quale  $N_c = (2 + \pi)$ .

#### 9.2.1.1.7 Fattori di forma

$$s_c^0 = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

#### 9.2.1.1.8 Fattori di profondità

Per profondità relative  $D/B \leq 1$   $d_c^0 = 1 + 0,4 \frac{D}{B}$

Per profondità relative  $D/B > 1$   $d_c^0 = 1 + 0,4 \tan^{-1} \frac{D}{B}$

#### 9.2.1.1.9 Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$i_c^0 = 1 - \frac{m \cdot H}{B \cdot L \cdot c_u \cdot N_c}$$

$$\text{con } m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

#### 9.2.1.1.10 Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$b_c^0 = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2}$$

dove  $\alpha$  è l'inclinazione del piano di posa sul piano orizzontale.

#### 9.2.1.1.11 Fattori di inclinazione del pendio

Il caso di piano campagna inclinato comporta l'applicazione del fattore correttivo e l'aggiunta nell'espressione del carico limite del termine  $\frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$

$$g_c^0 = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2}$$

$$N_\gamma = -2 \sin \omega$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

dove  $\omega$  è l'inclinazione del piano campagna.

#### 9.2.1.1.11.1 Carico limite orizzontale

La resistenza di calcolo allo scorrimento del piano di posa della fondazione è espressa dalla relazione:

$$q_{h,\text{lim}} = c' + \left( \frac{N}{A} \right) \tan \varphi'$$

Nella quale si assume che il contatto tra fondazione e terreno abbia le stesse caratteristiche di resistenza al taglio ( $c, \varphi$ ) del terreno.

### 9.2.2 Verifica dei tiranti

La resistenza di progetto allo sfilamento di un ancoraggio,  $N_{Rd,\text{sfil}}$ , è data dal minimo tra la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-terreno,  $N_{Rd,\text{ter}}$ , e la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-barra,  $N_{Rd,\text{cls}}$ :

$$N_{Rd,\text{sfil}} = \min(N_{Rd,\text{cls}}, N_{Rd,\text{ter}})$$

Per il calcolo della resistenza a rottura dell'interfaccia malta-terreno si ricorre a quanto indicato da Bustamante e Doix (1985, riportati da Tanzini 2004) sulla base di una serie di prove sperimentali. In questo caso la resistenza ultima calcolata ( $N_{Rk,ter}$ ) può essere definita sulla base dei grafici forniti dagli autori in relazione alle caratteristiche geotecniche dei materiali interessati e al tipo di iniezione (semplice o multipla):

$$N_{Rd,ter} = \pi \times D_b \times L_b \times q_a$$

dove:

$D_b$  = diametro medio del bulbo:  $D_b = \alpha \times D_p$

$D_p$  = diametro di perforazione,

$L_b$  = lunghezza del bulbo,

$\alpha$  = fattore di sbulbamento,

$q_a$  = aderenza limite bulbo-terreno.

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo 6.6.2 del D.M. 2008 (caso b) ed in assenza di prove dirette (caso a) il calcolo del valore di resistenza caratteristica  $N_{Rk,ter}$  deriva dalla seguente espressione:

$$N_{Rk,ter} = \min[ N_{R,ter \text{ medio}} / \xi_{a3} ; N_{R,ter \text{ min}} / \xi_{a4} ],$$

dove  $N_{R,ter \text{ medio}}$  e  $N_{R,ter \text{ min}}$  sono i valori medio e minimo della resistenza  $N_{R,ter}$  ottenuta dal calcolo e  $\xi_a$  fattori di correlazione che dipendono dalla conoscenza del modello geotecnico di riferimento, funzione del numero dei profili di indagine eseguiti (vedi tabella seguente).

Tabella 9-4 Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine (tabella 6.6.III del D.M.)

| Numero di profili d'indagine | 1    | 2    | 3    | 4    | ≥5   |
|------------------------------|------|------|------|------|------|
| $\xi_{a3}$                   | 1.80 | 1.75 | 1.70 | 1.65 | 1.60 |
| $\xi_{a4}$                   | 1.80 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 |

La resistenza di calcolo,  $N_{Rd,ter}$  viene definita mediante la relazione:

$$N_{Rd,ter} = N_{Rk,ter} / \gamma_R$$

con  $\gamma_R$  definito nella tabella seguente:

Tabella 9-5 Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi (tabella 6.6.I del D.M.)

| Tipologia tirante | Simbolo $\gamma_R$ | Coefficiente parziale |
|-------------------|--------------------|-----------------------|
| temporaneo        | $\gamma_{R,t}$     | 1.1                   |
| Permanente        | $\gamma_{R,p}$     | 1.2                   |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Si riportano la tabella utilizzata per il calcolo dei fattori di sbulbamento e della miscela minima da iniettare nel foro, la tabella utilizzata per il calcolo della resistenza ed il grafico utilizzati per il calcolo della resistenza:

Tabella 9-6 Valori del fattore di sbulbamento e quantitativo minimo di malta da iniettare

| Valori del coefficiente $\alpha$ ( $V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$ ) |                    |           |                                                                             |              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| TERRENO                                                                    | Valori di $\alpha$ |           | Quantità minima di miscela consigliata                                      |              |
|                                                                            | IRS                | IGU       | IRS                                                                         | IGU          |
| Ghiaia                                                                     | 1.8                | 1.3 - 1.4 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| Ghiaia sabbiosa                                                            | 1.6 - 1.8          | 1.2 - 1.4 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| sabbia ghiaiosa                                                            | 1.5 - 1.6          | 1.2 - 1.3 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| Sabbia grossa                                                              | 1.4 - 1.5          | 1.1 - 1.2 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| Sabbia media                                                               | 1.4 - 1.5          | 1.1 - 1.2 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| Sabbia fine                                                                | 1.4 - 1.5          | 1.1 - 1.2 | 1.5 Vs                                                                      | 1.5 Vs       |
| Sabbia limosa                                                              | 1.4 - 1.5          | 1.1 - 1.2 | (1.5 - 2) Vs                                                                | 1.5 Vs       |
| Limo                                                                       | 1.4 - 1.6          | 1.1 - 1.2 | 2 Vs                                                                        | 1.5 Vs       |
| Argilla                                                                    | 1.8 - 2.0          | 1.2       | (2.5 - 3) Vs                                                                | (1.5 - 2) Vs |
| Marne                                                                      | 1.8                | 1.1 - 1.2 | (1.5 - 2) Vs per strati compatti                                            |              |
| Calcari mamosi                                                             | 1.8                | 1.1 - 1.2 | (2 - 6) Vs 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) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati |              |

Tabella 9-7 Indicazioni sulle curve di resistenza da adottare

| Indicazioni per la scelta del valore di s        |                   |           |
|--------------------------------------------------|-------------------|-----------|
| TERRENO                                          | Tipo di iniezione |           |
|                                                  | IRS               | IGU       |
| Da ghiaia a sabbia limosa                        | SG1               | SG2       |
| Limo e argilla                                   | AL1               | AL2       |
| Marna, calcare mamoso, calcare tenero fratturato | MC1               | MC2       |
| Roccia alterata e/o fratturata                   | $\geq R1$         | $\geq R2$ |

La resistenza a rottura dell'interfaccia malta-barra è ottenuta come:

$$N_{Rd,acc} = \pi \times \Phi_b \times L_b \times f_{bd}$$

dove:

$\Phi_b$  = diametro della barra;

$L_b$  = lunghezza del bulbo;

$f_{bd}$  = resistenza tangenziale di aderenza di progetto, calcolata secondo l'eq. 4.1.6 del D.M. 14/01/2008:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

dove:

$\gamma_c$  = il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1.5;

$f_{bk}$  = resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da (eq. 4.1.7 D.M. 14/01/2008):

$$f_{bk} = 2.25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctk}$$



con:

$\eta_1$  che vale 1.0 in condizioni di buona aderenza e 0.7 in condizioni di non buona aderenza;

$\eta_2 = 1.0$  per barre di diametro  $\Phi \leq 32$  mm oppure  $\eta_2 = (132 - \Phi) / 100$  per barre di diametro superiore;

$f_{ctk}$  = resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo/malta calcolato come:

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 0.7 \times 0.30 \times f_{ck}^{2/3}$$

## 10 INTERVENTI GEOTECNICI

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza delle spalle è stato quantificato attraverso il rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione. Per la combinazione sismica delle azioni, per ottenere l'adeguamento dell'opera il valore di  $\zeta_E$  definito dalle NTC e introdotto al § C.8.3 deve essere non inferiore dell'unità.

Gli interventi di seguito descritti sono validi per entrambe le spalle.

### 10.1 INTERVENTO SUI MURI FRONTALI SPALLE

#### 10.1.1 Geometria spalla

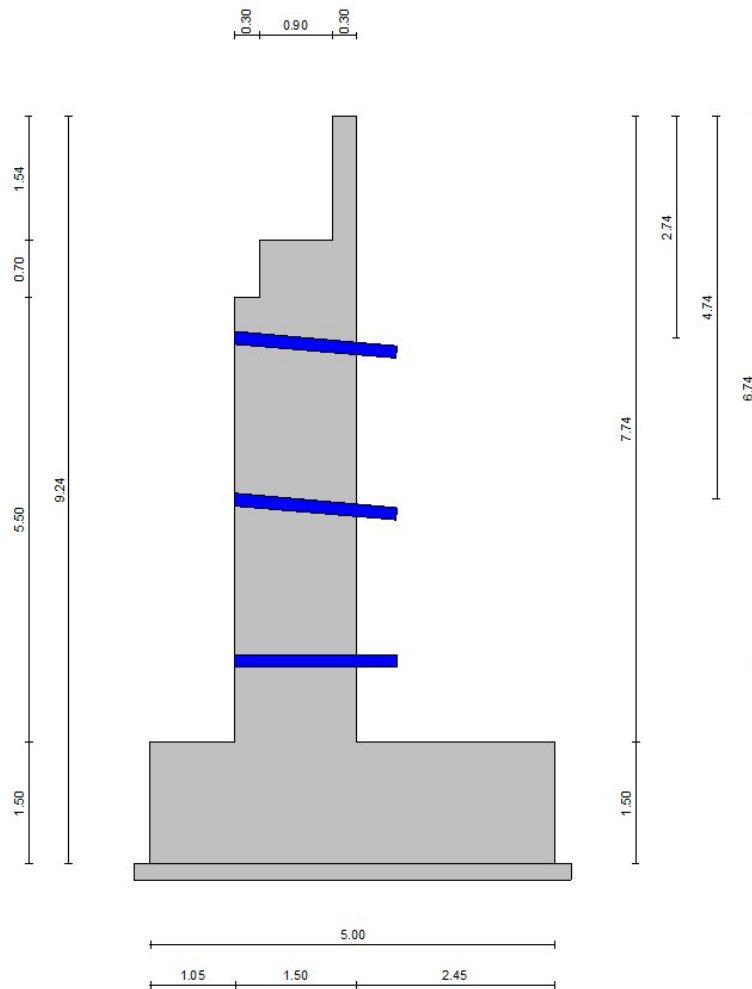


Figura 10-1 Spalle– sezione quotata muro

Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro

12.30 [m]

Paramento

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

|                          |      |     |
|--------------------------|------|-----|
| Altezza paramento        | 7.74 | [m] |
| Altezza paramento libero | 7.50 | [m] |

**Geometria gradoni**

Simbologia adottata

|        |                                                            |
|--------|------------------------------------------------------------|
| n°     | indice gradone (a partire dall'alto)                       |
| Bs, Bi | Base superiore e inferiore del gradone, espressa in [m]    |
| H      | altezza del gradone, espressa in [m]                       |
| Ae, Ai | inclinazione esterna e interna del gradone espressa in [°] |

| n° | X<br>[m] | Bs<br>[m] | Bi<br>[m] | H<br>[m] | Ae<br>[°] | Ai<br>[°] |
|----|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1  | 0.00     | 0.30      | 0.30      | 1.54     | 0.00      | 0.00      |
| 2  | 0.00     | 1.20      | 1.20      | 0.70     | 0.00      | 0.00      |
| 3  | 0.00     | 1.50      | 1.50      | 5.50     | 0.00      | 0.00      |

Fondazione

|                            |      |     |
|----------------------------|------|-----|
| Lunghezza mensola di valle | 1.05 | [m] |
| Lunghezza mensola di monte | 2.45 | [m] |
| Lunghezza totale           | 5.00 | [m] |
| Inclinazione piano di posa | 0.00 | [°] |
| Spessore                   | 1.50 | [m] |
| Spessore magrone           | 0.20 | [m] |

Tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata

|          |                                                                                                                                                                                                                            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| n°       | numero d'ordine della fila                                                                                                                                                                                                 |
| Dest     | Destinazione del tirante (Fondazione, Paramento)                                                                                                                                                                           |
| S        | ordinata della fila misurata dalla testa del muro (se il tirante è posizionato sul paramento),<br>ascissa della fila misurata dal tacco della fondazione (se il tirante è posizionato sulla fondazione) espressa<br>in [m] |
| I        | Interasse tra i tiranti della fila espressa in [m]                                                                                                                                                                         |
| F        | Franco della fila espressa in [m]                                                                                                                                                                                          |
| ALL      | allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)                                                                                                                                                                  |
| Nt       | numero di tiranti della fila                                                                                                                                                                                               |
| $\alpha$ | inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]                                                                                                                                               |
| T        | tiro iniziale espresso in [kN]. Solo per i tiranti attivi                                                                                                                                                                  |
| Lt, Lf   | Lunghezza totale e di fondazione espressa in [m]. Definiti solo nel caso di Verifica.                                                                                                                                      |

| n° | Tipologia                     | Dest      | S<br>[m] | I<br>[m] | F<br>[m] | ALL      | Nt | a<br>[°] | T<br>[kN] | Lt<br>[m] | Lf<br>[m] |
|----|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | Barra Dywidag f40 - Bulbo 150 | Paramento | 2.74     | 1.90     | 0.50     | Sfalsati | 6  | 5.00     | --        | 20.00     | 7.00      |
| 2  | Barra Dywidag f40 - Bulbo 150 | Paramento | 4.74     | 1.90     | 0.50     | Centrati | 5  | 5.00     | --        | 18.00     | 7.00      |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | Tipologia                     | Dest      | S    | I    | F    | ALL      | Nt | a    | T    | Lt    | Lf   |
|----|-------------------------------|-----------|------|------|------|----------|----|------|------|-------|------|
|    |                               |           | [m]  | [m]  | [m]  |          |    | [°]  | [kN] | [m]   | [m]  |
| 3  | Barra Dywidag f40 - Bulbo 150 | Paramento | 6.74 | 1.90 | 0.50 | Sfalsati | 6  | 0.00 | --   | 16.00 | 7.00 |

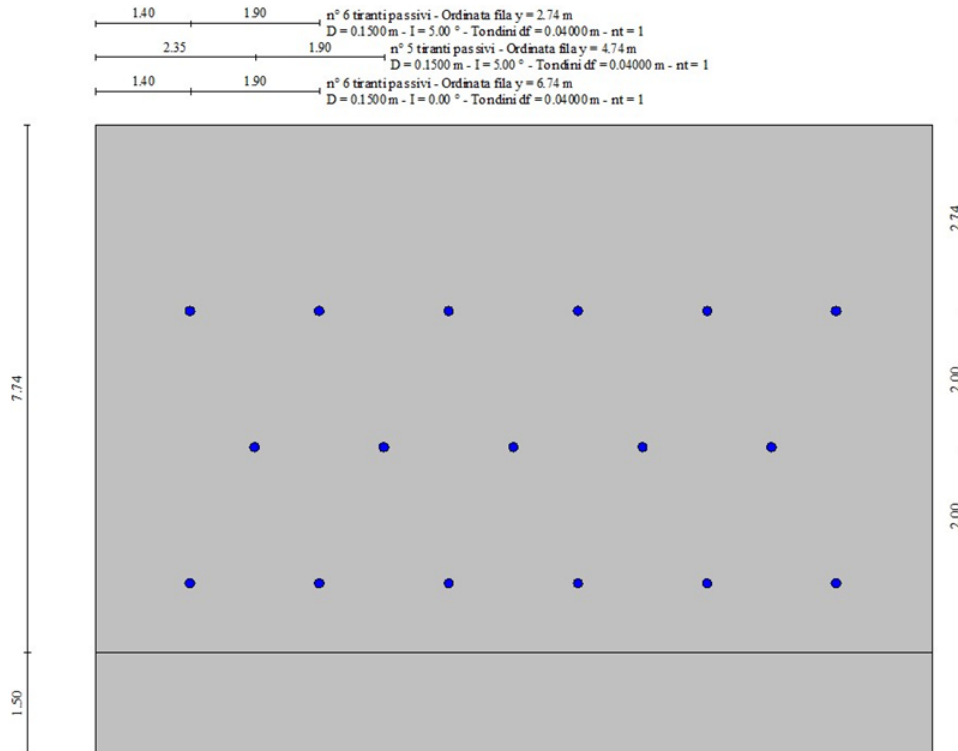


Figura 10-2 Prospetto del paramento con i tiranti

### 10.1.2 Descrizione terreni

#### Parametri di resistenza

#### Simbologia adottata

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

| n° | Descr                 | $\gamma$ | $\gamma_{sat}$ | $\phi$ | $\delta$ | c     | $c_a$ | Cesp  | $\tau_l$ |       |
|----|-----------------------|----------|----------------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
|    |                       | [kN/mc]  | [kN/mc]        | [°]    | [°]      | [kPa] | [kPa] |       | [kPa]    |       |
| 1  | Rilevato              | 19.0000  | 19.0000        | 34.000 | 22.670   | 0     | 0     | 1.100 | 200      | (CAR) |
|    |                       |          |                | 34.000 | 22.667   | 0     | 0     |       | 200      | (MIN) |
|    |                       |          |                | 34.000 | 22.667   | 0     | 0     |       | 200      | (MED) |
| 2  | Unità 1 - Mcm litoide | 24.5000  | 24.5000        | 27.000 | 27.000   | 215   | 108   | 1.100 | 150      | (CAR) |
|    |                       |          |                | 27.000 | 27.000   | 215   | 108   |       | 150      | (MIN) |

CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO

| n° | Descr | $\gamma$<br>[kN/mc] | $\gamma_{sat}$<br>[kN/mc] | $\phi$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | c<br>[kPa] | ca<br>[kPa] | Cesp | $\tau_l$<br>[kPa] |
|----|-------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------|-------------|------|-------------------|
|    |       |                     |                           | 27.000        | 27.000          | 215        | 108         |      | 150 (MED)         |

10.1.3 Stratigrafia

Simbologia adottata

n° Indice dello strato

H Spessore dello strato espresso in [m]

$\alpha$  Inclinazione espressa in [°]

Terreno Terreno dello strato

Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

Per calcolo pali (solo se presenti)

Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

Ks Coefficiente di spinta

Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

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

Kst<sub>sta</sub>, Kst<sub>sis</sub> Coeff. di spinta statico e sismico

| n° | H<br>[m] | a<br>[°] | Terreno               | Kwn<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Kwt<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Kw<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Ks  | Cesp | Kst <sub>sta</sub> | Kst <sub>sis</sub> |
|----|----------|----------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----|------|--------------------|--------------------|
| 1  | 9.44     | 0.000    | Rilevato              | 3.000                        | 1.000                        | ---                         | --- | ---  | 0.000              | 0.000              |
| 2  | 15.00    | 0.000    | Unità 1 - Mcm litoide | 5.000                        | 2.000                        | ---                         | --- | ---  | 0.000              | 0.000              |

Terreno di riempimento: Rilevato

Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 00.00 [°]

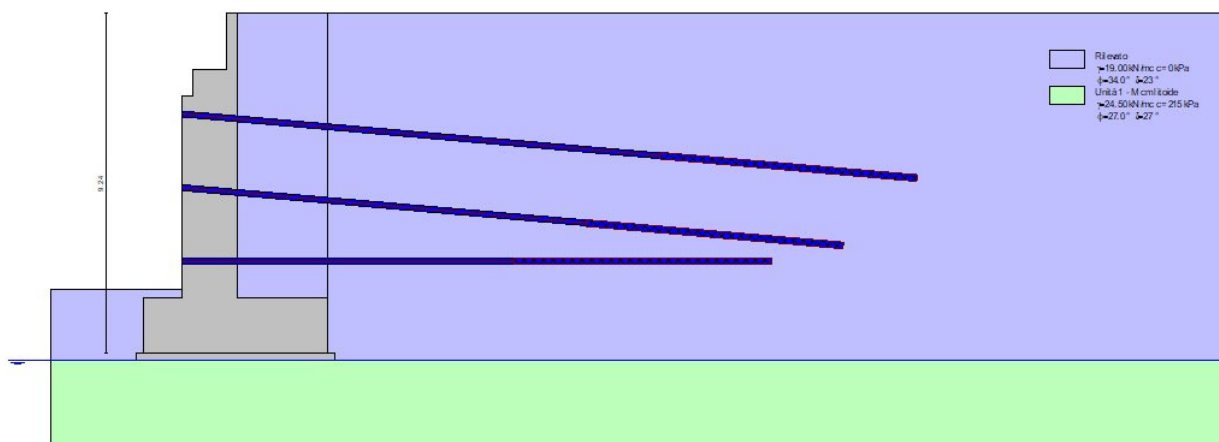


Figura 10-3 Stratigrafia

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.4 Condizioni di carico**

Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

F<sub>x</sub> Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]

F<sub>y</sub> Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]

M Momento espresso in [kNm]

X<sub>i</sub> Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

X<sub>f</sub> Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

Q<sub>i</sub> Intensità del carico per x=X<sub>i</sub> espressa in [kN]

Q<sub>f</sub> Intensità del carico per x=X<sub>f</sub> espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Sovraccarico accidentale su rilevato) - VARIABILE

Coeff. di combinazione Y<sub>0</sub>=1.00 - Y<sub>1</sub>=1.00 - Y<sub>2</sub>=1.00

Carichi sul terreno

| n° | Tipo        | X<br>[m] | F <sub>x</sub><br>[kN] | F <sub>y</sub><br>[kN] | M<br>[kNm] | X <sub>i</sub><br>[m] | X <sub>f</sub><br>[m] | Q <sub>i</sub><br>[kN] | Q <sub>f</sub><br>[kN] |
|----|-------------|----------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | Distribuito |          |                        |                        |            | 0.00                  | 25.00                 | 20.0000                | 20.0000                |

Condizione n° 2 (Peso Proprio Impalcato) - PERMANENTE

Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m]  | F <sub>x</sub><br>[kN] | F <sub>y</sub><br>[kN] | M<br>[kNm] | X <sub>i</sub><br>[m] | X <sub>f</sub><br>[m] | Q <sub>i</sub><br>[kN] | Q <sub>f</sub><br>[kN] |
|----|-------------|-----------|--------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.80; -1.54 | 0.0000                 | 166.9000               | 0.0000     |                       |                       |                        |                        |

Condizione n° 3 (Sovr. Perm. Impalcato) - PERMANENTE NS

Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m]  | F <sub>x</sub><br>[kN] | F <sub>y</sub><br>[kN] | M<br>[kNm] | X <sub>i</sub><br>[m] | X <sub>f</sub><br>[m] | Q <sub>i</sub><br>[kN] | Q <sub>f</sub><br>[kN] |
|----|-------------|-----------|--------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.80; -1.54 | 0.0000                 | 34.9000                | 0.0000     |                       |                       |                        |                        |

Condizione n° 4 (Taglio sismico) - VARIABILE

Coeff. di combinazione Y<sub>0</sub>=1.00 - Y<sub>1</sub>=1.00 - Y<sub>2</sub>=1.00

Indice di raggruppamento 1

Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m]  | F <sub>x</sub><br>[kN] | F <sub>y</sub><br>[kN] | M<br>[kNm] | X <sub>i</sub><br>[m] | X <sub>f</sub><br>[m] | Q <sub>i</sub><br>[kN] | Q <sub>f</sub><br>[kN] |
|----|-------------|-----------|--------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.80; -1.54 | 23.5000                | 0.0000                 | 0.0000     |                       |                       |                        |                        |

Condizione n° 5 (Variabili da Traffico) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione Y<sub>0</sub>=1.00 - Y<sub>1</sub>=1.00 - Y<sub>2</sub>=1.00

Carichi sul muro

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m]  | Fx<br>[kN] | Fy<br>[kN] | M<br>[kNm] | Xi<br>[m] | Xf<br>[m] | Qi<br>[kN] | Qf<br>[kN] |
|----|-------------|-----------|--------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.80; -1.54 | 0.0000     | 102.8000   | 0.0000     |           |           |            |            |

**10.1.5 Combinazioni di carico**

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno                      | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno                       | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.50 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |
| Variabili da Traffico                | 1.35 | 1.00 | Sfavorevole |

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

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

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

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.50 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |
| Variabili da Traffico                | 1.35 | 1.00 | Sfavorevole |

Fig. 12 - (Inviluppo)

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno                      | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.50 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |
| Variabili da Traffico                | 1.35 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno                       | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.50 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |
| Variabili da Traffico                | 1.35 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.30 | 1.00 | Sfavorevole |
| Variabili da Traffico                | 1.15 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

| Condizione                           | g    | Y    | Effetto     |
|--------------------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno                      | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno                       | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato               | 1.30 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato                | 1.50 | --   | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50 | 1.00 | Sfavorevole |



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Condizione            | g    | Y    | Effetto     |
|-----------------------|------|------|-------------|
| Variabili da Traffico | 1.35 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 11 - EQU (A1-M1-R3) H + V

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

Combinazione n° 12 - EQU (A1-M1-R3) H - V

| Condizione             | g    | Y    | Effetto     |
|------------------------|------|------|-------------|
| Peso muro              | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Peso terrapieno        | 1.00 | --   | Favorevole  |
| Spinta terreno         | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Peso Proprio Impalcato | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. Impalcato  | 1.00 | --   | Sfavorevole |
| Taglio sismico         | 1.00 | 1.00 | Sfavorevole |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.6 Dati sismici**

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Regione                        | Sicilia                       |
| Latitudine                     | 43.274744                     |
| Longitudine                    | 12.383960                     |
| Indice punti di interpolazione | 22295 - 22294 - 22516 - 22517 |
| Vita nominale                  | 50 anni                       |
| Classe d'uso                   | IV                            |
| Tipo costruzione               | Normali affollamenti          |
| Vita di riferimento            | 100 anni                      |

|                                                                 | Simbolo | U.M.                | SLU   | SLE   |
|-----------------------------------------------------------------|---------|---------------------|-------|-------|
| Accelerazione al suolo                                          | $a_g$   | [m/s <sup>2</sup> ] | 2.776 | 0.736 |
| Accelerazione al suolo                                          | $a_g/g$ | [%]                 | 0.283 | 0.075 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale              | F0      |                     | 2.361 | 2.491 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante               | Tc*     |                     | 0.454 | 0.289 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico                 | Ss      |                     | A     | 1.000 |
| Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica | St      |                     | T1    | 1.000 |

| Stato limite ... | Coeff. di riduzione $\beta_m$ | kh     | kv     |
|------------------|-------------------------------|--------|--------|
| Ultimo           | 1.000                         | 28.300 | 14.150 |
| Esercizio        | 1.000                         | 7.503  | 3.751  |

Forma diagramma incremento sismico Rettangolare

Opzioni di calcolo

Spinta

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Metodo di calcolo della spinta | Coeff. di spinta definiti da strato |
| Tipo di spinta                 | Spinta attiva                       |
| Terreno a bassa permeabilità   | NO                                  |
| Superficie di spinta limitata  | NO                                  |

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza Meyerhof

Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) Ponderata

Criterio di riduzione per eccentricità della portanza Meyerhof

Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) Nessuna

Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite (0.5BgNg) Larghezza ridotta (B')

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale Bishop

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.7 Risultati per combinazione**

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]

P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

| Ic | A                                              | V<br>[kN] | I<br>[°] | C <sub>x</sub><br>[kN] | C <sub>y</sub><br>[kN] | P <sub>x</sub><br>[m] | P <sub>y</sub><br>[m] |
|----|------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | Spinta statica                                 | 338.58    | 22.67    | 312.42                 | 130.50                 | 2.45                  | -5.84                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 418.06/0.00            | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 433.80/0.00            | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 408.10                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
|    |                                                |           |          |                        |                        |                       |                       |
| 2  | Spinta statica                                 | 206.23    | 22.67    | 190.30                 | 79.49                  | 2.45                  | -6.16                 |
|    | Incremento di spinta sismica                   |           | 204.37   | 188.58                 | 78.77                  | 2.45                  | -4.62                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 118.31                 | 418.06/59.16           | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 101.96                 | 360.30/50.98           | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 1.36                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 80.61                  | 230.35                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
|    |                                                |           |          |                        |                        |                       |                       |
| 3  | Spinta statica                                 | 206.23    | 22.67    | 190.30                 | 79.49                  | 2.45                  | -6.16                 |
|    | Incremento di spinta sismica                   |           | 168.84   | 155.79                 | 65.07                  | 2.45                  | -4.62                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 118.31                 | 418.06/-59.16          | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 101.96                 | 360.30/-50.98          | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 1.36                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 80.61                  | 173.25                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
|    |                                                |           |          |                        |                        |                       |                       |
| 4  | Spinta statica                                 | 338.58    | 22.67    | 312.42                 | 130.50                 | 2.45                  | -5.84                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 543.48/0.00            | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 541.89/0.00            | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 6.22                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 408.10                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
|    |                                                |           |          |                        |                        |                       |                       |
| 5  | Spinta statica                                 | 338.58    | 22.67    | 312.42                 | 130.50                 | 2.45                  | -5.84                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 418.06/0.00            | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 541.89/0.00            | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 6.22                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 408.10                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
|    |                                                |           |          |                        |                        |                       |                       |
| 6  | Spinta statica                                 | 338.58    | 22.67    | 312.42                 | 130.50                 | 2.45                  | -5.84                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 543.48/0.00            | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 433.80/0.00            | 1.23                  | -3.87                 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| lc | A                                              | V<br>[kN] | I<br>[°] | C <sub>x</sub><br>[kN] | C <sub>y</sub><br>[kN] | P <sub>x</sub><br>[m] | P <sub>y</sub><br>[m] |
|----|------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|    | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 408.10                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
| 7  | Spinta statica                                 | 333.56    | 18.48    | 316.37                 | 105.72                 | 2.45                  | -5.81                 |
|    | Peso/inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 418.06/0.00            | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 424.00/0.00            | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 330.49                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
| 8  | Spinta statica                                 | 257.34    | 18.48    | 244.08                 | 81.56                  | 2.45                  | -6.16                 |
|    | Incremento di spinta sismica                   |           | 237.12   | 224.89                 | 75.15                  | 2.45                  | -4.62                 |
|    | Peso/inerzia muro                              |           |          | 118.31                 | 418.06/59.16           | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/inerzia terrapieno                        |           |          | 101.96                 | 360.30/50.98           | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 1.36                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 80.61                  | 230.35                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |
| 9  | Spinta statica                                 | 257.34    | 18.48    | 244.08                 | 81.56                  | 2.45                  | -6.16                 |
|    | Incremento di spinta sismica                   |           | 195.24   | 185.17                 | 61.88                  | 2.45                  | -4.62                 |
|    | Peso/inerzia muro                              |           |          | 118.31                 | 418.06/-59.16          | -0.42                 | -6.26                 |
|    | Peso/inerzia terrapieno                        |           |          | 101.96                 | 360.30/-50.98          | 1.23                  | -3.87                 |
|    | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 1.36                   | 4.79                   | -2.02                 | -7.62                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 80.61                  | 173.25                 | --                    | --                    |
|    | Resistenza tiranti                             |           |          | -1029.13               | 58.18                  | -0.30                 | -4.74                 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.8 Verifiche Geotecniche**

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

|                    |                                                            |
|--------------------|------------------------------------------------------------|
| Cmb                | Indice/Tipo combinazione                                   |
| S                  | Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale) |
| FS <sub>SCO</sub>  | Coeff. di sicurezza allo scorrimento                       |
| FS <sub>RIB</sub>  | Coeff. di sicurezza al ribaltamento                        |
| FS <sub>QUM</sub>  | Coeff. di sicurezza a carico limite                        |
| FS <sub>STAB</sub> | Coeff. di sicurezza a stabilità globale                    |
| FS <sub>HYD</sub>  | Coeff. di sicurezza a sifonamento                          |
| FS <sub>UPL</sub>  | Coeff. di sicurezza a sollevamento                         |

| Cmb                | Sismica | FS <sub>SCO</sub> | FS <sub>RIB</sub> | FS <sub>QUM</sub> | FS <sub>STAB</sub> | FS <sub>HYD</sub> | FS <sub>UPL</sub> |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 - STR (A1-M1-R1) |         | 5.237             |                   | 8.413             |                    |                   |                   |
| 2 - STR (A1-M1-R1) | H + V   | 2.333             |                   | 10.804            |                    |                   |                   |
| 3 - STR (A1-M1-R1) | H - V   | 2.263             |                   | 11.581            |                    |                   |                   |
| 4 - STR (A1-M1-R1) |         | 5.551             |                   | 8.174             |                    |                   |                   |
| 5 - STR (A1-M1-R1) |         | 5.384             |                   | 8.485             |                    |                   |                   |
| 6 - STR (A1-M1-R1) |         | 5.405             |                   | 8.136             |                    |                   |                   |
| 7 - GEO (A2-M2-R2) |         | 4.670             |                   | 4.818             | 7.616              |                   |                   |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) | H + V   | 1.914             |                   | 6.583             | 2.363              |                   |                   |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) | H - V   | 1.886             |                   | 7.244             | 2.348              |                   |                   |
| 10 - EQU           |         |                   | 3.478             |                   |                    |                   |                   |
| 11 - EQU           | H + V   |                   | 1.764             |                   |                    |                   |                   |
| 12 - EQU           | H - V   |                   | 1.558             |                   |                    |                   |                   |

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

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

| n°                       | Rsa<br>[kN] | Rpt<br>[kN] | Rps<br>[kN] | Rp<br>[kN] | Rt<br>[kN] | R<br>[kN] | T<br>[kN] | FS    |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-------|
| 1 - STR (A1-M1-R1)       | 607.09      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1636.22   | 312.42    | 5.237 |
| 2 - STR (A1-M1-R1) H + V | 559.74      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1588.87   | 681.12    | 2.333 |
| 3 - STR (A1-M1-R1) H - V | 438.16      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1467.29   | 648.33    | 2.263 |
| 4 - STR (A1-M1-R1)       | 705.22      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1734.35   | 312.42    | 5.551 |
| 5 - STR (A1-M1-R1)       | 652.84      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1681.96   | 312.42    | 5.384 |
| 6 - STR (A1-M1-R1)       | 659.47      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1688.60   | 312.42    | 5.405 |
| 7 - GEO (A2-M2-R2)       | 448.18      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1477.31   | 316.37    | 4.670 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n°                       | Rsa<br>[kN] | Rpt<br>[kN] | Rps<br>[kN] | Rp<br>[kN] | Rt<br>[kN] | R<br>[kN] | T<br>[kN] | FS    |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-------|
| 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V | 447.28      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1476.41   | 771.21    | 1.914 |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V | 350.15      | 0.00        | 0.00        | --         | 1029.13    | 1379.28   | 731.49    | 1.886 |

*Verifica a carico limite*

Simbologia adottata

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

| n°                       | N<br>[kN] | Qu<br>[kN] | Qd<br>[kN] | FS     |
|--------------------------|-----------|------------|------------|--------|
| 1 - STR (A1-M1-R1)       | 1453.43   | 12227.42   | 12227.42   | 8.413  |
| 2 - STR (A1-M1-R1) H + V | 1340.08   | 14478.41   | 14478.41   | 10.804 |
| 3 - STR (A1-M1-R1) H - V | 1049.00   | 12148.04   | 12148.04   | 11.581 |
| 4 - STR (A1-M1-R1)       | 1688.37   | 13800.97   | 13800.97   | 8.174  |
| 5 - STR (A1-M1-R1)       | 1562.95   | 13262.04   | 13262.04   | 8.485  |
| 6 - STR (A1-M1-R1)       | 1578.85   | 12844.71   | 12844.71   | 8.136  |
| 7 - GEO (A2-M2-R2)       | 1341.24   | 6462.42    | 6462.42    | 4.818  |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V | 1338.53   | 8811.86    | 8811.86    | 6.583  |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V | 1047.87   | 7591.07    | 7591.07    | 7.244  |

*Verifica a ribaltamento*

Simbologia adottata

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

| n°             | Ms<br>[kNm] | Mr<br>[kNm] | FS    |
|----------------|-------------|-------------|-------|
| 10 - EQU       | 4217.01     | 1212.32     | 3.478 |
| 11 - EQU H + V | 5845.93     | 3313.50     | 1.764 |
| 12 - EQU H - V | 5372.37     | 3448.55     | 1.558 |

*Verifica stabilità globale muro + terreno*

Simbologia adottata

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

---

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| <b>Ic</b>                | <b>C</b><br><b>[m]</b> | <b>R</b><br><b>[m]</b> | <b>FS</b> |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| 7 - GEO (A2-M2-R2)       | -4.50; 0.50            | 11.98                  | 7.616     |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V | 0.00; 14.50            | 23.89                  | 2.363     |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V | 0.00; 14.50            | 23.89                  | 2.348     |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.9 Sollecitazioni Paramento e Fondazione**

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione;

T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle;

M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte).

**10.1.9.1 Paramento**

Tabella 10-1 Elevazione – Involuppo azioni allo SLV

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1  | 0.00     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                      | 0.00                      |
| 2  | -0.10    | 0.61                     | 0.92                     | 0.70                     | 2.19                     | 0.03                      | 0.10                      |
| 3  | -0.19    | 1.21                     | 1.84                     | 1.46                     | 4.43                     | 0.14                      | 0.42                      |
| 4  | -0.29    | 1.82                     | 2.76                     | 2.27                     | 6.72                     | 0.32                      | 0.96                      |
| 5  | -0.38    | 2.43                     | 3.68                     | 3.14                     | 9.07                     | 0.58                      | 1.72                      |
| 6  | -0.48    | 3.04                     | 4.60                     | 4.06                     | 11.47                    | 0.92                      | 2.71                      |
| 7  | -0.58    | 3.64                     | 5.52                     | 5.03                     | 13.92                    | 1.36                      | 3.93                      |
| 8  | -0.67    | 4.25                     | 6.44                     | 6.06                     | 16.43                    | 1.89                      | 5.39                      |
| 9  | -0.77    | 4.86                     | 7.36                     | 7.13                     | 18.99                    | 2.53                      | 7.09                      |
| 10 | -0.87    | 5.47                     | 8.28                     | 8.27                     | 21.60                    | 3.27                      | 9.04                      |
| 11 | -0.96    | 6.07                     | 9.20                     | 9.45                     | 24.26                    | 4.12                      | 11.24                     |
| 12 | -1.06    | 6.68                     | 10.12                    | 10.69                    | 26.98                    | 5.09                      | 13.71                     |
| 13 | -1.15    | 7.29                     | 11.04                    | 11.99                    | 29.75                    | 6.18                      | 16.44                     |
| 14 | -1.25    | 7.90                     | 11.96                    | 13.33                    | 32.57                    | 7.39                      | 19.43                     |
| 15 | -1.35    | 8.50                     | 12.88                    | 14.74                    | 35.44                    | 8.74                      | 22.70                     |
| 16 | -1.44    | 9.11                     | 13.80                    | 16.19                    | 38.37                    | 10.23                     | 26.25                     |
| 17 | -1.54    | 9.72                     | 14.72                    | 17.70                    | 41.35                    | 11.86                     | 30.09                     |
| 18 | -1.54    | 182.99                   | 422.86                   | 17.73                    | 122.03                   | 58.03                     | 88.42                     |
| 19 | -1.64    | 185.51                   | 426.68                   | 19.35                    | 125.80                   | 69.23                     | 90.27                     |
| 20 | -1.74    | 188.03                   | 430.49                   | 21.03                    | 129.63                   | 77.88                     | 92.28                     |
| 21 | -1.84    | 190.55                   | 434.30                   | 22.77                    | 133.51                   | 80.19                     | 103.00                    |
| 22 | -1.94    | 193.07                   | 438.12                   | 24.56                    | 137.45                   | 82.68                     | 116.51                    |
| 23 | -2.04    | 195.59                   | 441.93                   | 26.41                    | 141.45                   | 85.36                     | 130.42                    |
| 24 | -2.14    | 198.11                   | 445.75                   | 28.32                    | 145.51                   | 88.24                     | 144.72                    |
| 25 | -2.24    | 200.62                   | 449.56                   | 30.29                    | 149.62                   | 91.31                     | 159.44                    |
| 26 | -2.24    | 200.68                   | 449.65                   | 30.33                    | 149.70                   | 36.10                     | 124.00                    |
| 27 | -2.34    | 203.83                   | 454.42                   | 32.35                    | 154.08                   | 39.23                     | 139.16                    |
| 28 | -2.44    | 206.98                   | 459.19                   | 34.44                    | 158.52                   | 42.56                     | 154.76                    |
| 29 | -2.54    | 210.13                   | 463.96                   | 36.58                    | 163.02                   | 46.11                     | 170.80                    |
| 30 | -2.64    | 213.28                   | 468.73                   | 38.78                    | 167.57                   | 49.87                     | 187.30                    |
| 31 | -2.74    | 216.44                   | 473.50                   | 41.04                    | 172.18                   | 53.85                     | 204.25                    |
| 32 | -2.74    | 228.94                   | 476.41                   | -1.12                    | 16.26                    | 55.48                     | 215.37                    |
| 33 | -2.84    | 232.09                   | 481.19                   | 3.19                     | 18.59                    | 56.93                     | 215.87                    |
| 34 | -2.94    | 235.25                   | 485.97                   | 7.56                     | 20.96                    | 58.06                     | 216.85                    |
| 35 | -3.04    | 238.41                   | 490.75                   | 11.99                    | 23.46                    | 59.42                     | 218.31                    |
| 36 | -3.14    | 241.57                   | 495.53                   | 16.48                    | 27.59                    | 61.04                     | 220.24                    |
| 37 | -3.24    | 244.72                   | 500.32                   | 19.41                    | 31.76                    | 62.91                     | 222.66                    |
| 38 | -3.34    | 247.88                   | 505.10                   | 22.08                    | 35.98                    | 65.04                     | 225.58                    |
| 39 | -3.44    | 251.04                   | 509.88                   | 24.80                    | 40.24                    | 67.43                     | 229.00                    |
| 40 | -3.54    | 254.19                   | 514.66                   | 27.58                    | 44.55                    | 70.09                     | 232.92                    |
| 41 | -3.64    | 257.35                   | 519.44                   | 30.41                    | 48.90                    | 73.02                     | 237.35                    |
| 42 | -3.74    | 260.51                   | 524.22                   | 33.30                    | 53.29                    | 76.24                     | 242.29                    |
| 43 | -3.84    | 263.67                   | 529.00                   | 36.25                    | 57.73                    | 79.74                     | 247.76                    |
| 44 | -3.94    | 266.82                   | 533.78                   | 39.26                    | 62.61                    | 83.54                     | 253.76                    |
| 45 | -4.04    | 269.98                   | 538.56                   | 42.32                    | 67.97                    | 87.64                     | 260.28                    |



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 46 | -4.14    | 273.14                   | 543.34                   | 45.44                    | 73.39                    | 92.04                     | 267.35                    |
| 47 | -4.24    | 276.29                   | 548.12                   | 48.62                    | 78.87                    | 96.75                     | 274.97                    |
| 48 | -4.34    | 279.45                   | 552.90                   | 51.86                    | 84.40                    | 101.77                    | 283.13                    |
| 49 | -4.44    | 282.61                   | 557.69                   | 55.11                    | 89.99                    | 107.12                    | 291.85                    |
| 50 | -4.54    | 285.77                   | 562.47                   | 58.42                    | 95.64                    | 112.80                    | 301.13                    |
| 51 | -4.64    | 288.92                   | 567.25                   | 61.78                    | 101.34                   | 118.81                    | 310.98                    |
| 52 | -4.74    | 292.08                   | 572.03                   | 65.21                    | 107.10                   | 125.16                    | 321.40                    |
| 53 | -4.74    | 301.94                   | 574.86                   | -34.71                   | 46.33                    | 127.28                    | 330.16                    |
| 54 | -4.84    | 304.94                   | 579.41                   | -29.52                   | 49.64                    | 130.57                    | 327.91                    |
| 55 | -4.93    | 307.95                   | 583.96                   | -24.27                   | 53.00                    | 134.17                    | 326.18                    |
| 56 | -5.03    | 310.96                   | 588.52                   | -18.97                   | 56.42                    | 138.10                    | 325.00                    |
| 57 | -5.12    | 313.96                   | 593.07                   | -13.62                   | 59.89                    | 142.35                    | 324.35                    |
| 58 | -5.22    | 316.97                   | 597.62                   | -8.21                    | 63.41                    | 146.94                    | 324.25                    |
| 59 | -5.31    | 319.98                   | 602.18                   | -2.76                    | 66.99                    | 151.86                    | 324.70                    |
| 60 | -5.41    | 322.98                   | 606.73                   | 2.75                     | 70.62                    | 157.13                    | 325.70                    |
| 61 | -5.50    | 325.99                   | 611.28                   | 8.31                     | 74.30                    | 162.75                    | 327.26                    |
| 62 | -5.60    | 329.00                   | 615.84                   | 13.92                    | 78.03                    | 168.72                    | 329.39                    |
| 63 | -5.69    | 332.00                   | 620.39                   | 19.59                    | 81.82                    | 175.01                    | 332.08                    |
| 64 | -5.79    | 335.01                   | 624.94                   | 25.30                    | 85.66                    | 181.57                    | 335.35                    |
| 65 | -6.17    | 347.04                   | 643.16                   | 46.92                    | 101.53                   | 211.57                    | 354.28                    |
| 66 | -6.26    | 350.05                   | 647.71                   | 51.89                    | 105.64                   | 220.04                    | 360.50                    |
| 67 | -6.36    | 353.05                   | 652.26                   | 56.91                    | 109.79                   | 228.90                    | 367.32                    |
| 68 | -6.45    | 356.06                   | 656.82                   | 61.97                    | 113.99                   | 238.16                    | 374.75                    |
| 69 | -6.55    | 359.07                   | 661.37                   | 67.06                    | 118.25                   | 247.83                    | 382.80                    |
| 70 | -6.64    | 362.07                   | 665.92                   | 72.20                    | 122.57                   | 257.90                    | 391.46                    |
| 71 | -6.74    | 365.08                   | 670.48                   | 77.38                    | 126.93                   | 268.40                    | 400.75                    |
| 72 | -6.74    | 365.08                   | 670.48                   | -71.09                   | 73.29                    | 268.40                    | 400.75                    |
| 73 | -6.83    | 368.08                   | 675.01                   | -64.83                   | 77.69                    | 273.92                    | 395.58                    |
| 74 | -6.93    | 371.07                   | 679.55                   | -58.52                   | 82.14                    | 279.87                    | 391.04                    |
| 75 | -7.02    | 374.07                   | 684.08                   | -52.15                   | 86.64                    | 286.24                    | 387.14                    |
| 76 | -7.12    | 377.06                   | 688.62                   | -45.74                   | 91.20                    | 293.04                    | 383.87                    |
| 77 | -7.21    | 380.06                   | 693.15                   | -39.27                   | 95.81                    | 300.28                    | 381.25                    |
| 78 | -7.31    | 383.05                   | 697.69                   | -32.75                   | 100.47                   | 307.97                    | 379.28                    |
| 79 | -7.40    | 386.05                   | 702.23                   | -26.18                   | 105.18                   | 316.10                    | 377.96                    |
| 80 | -7.50    | 389.04                   | 706.76                   | -19.56                   | 109.94                   | 315.87                    | 385.04                    |
| 81 | -7.50    | 389.11                   | 706.86                   | -19.42                   | 110.05                   | 315.84                    | 385.26                    |
| 82 | -7.58    | 391.62                   | 710.67                   | -13.82                   | 114.09                   | 314.74                    | 394.19                    |
| 83 | -7.66    | 394.14                   | 714.47                   | -8.18                    | 118.17                   | 313.87                    | 403.44                    |
| 84 | -7.74    | 396.65                   | 718.28                   | -2.50                    | 122.28                   | 313.44                    | 413.02                    |

**10.1.9.2 Fondazione**

Tabella 10-2 Spalla– Fondazione – Involuppo azioni allo SLV

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1  | -2.55    | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                      | 0.00                      |
| 2  | -2.45    | 0.00                     | 0.00                     | 24.52                    | 36.55                    | 1.17                      | 1.75                      |
| 3  | -2.36    | 0.00                     | 0.00                     | 48.89                    | 72.49                    | 4.68                      | 6.96                      |
| 4  | -2.26    | 0.00                     | 0.00                     | 73.11                    | 107.83                   | 10.50                     | 15.57                     |
| 5  | -2.17    | 0.00                     | 0.00                     | 97.18                    | 142.56                   | 18.63                     | 27.52                     |
| 6  | -2.07    | 0.00                     | 0.00                     | 121.10                   | 176.69                   | 29.05                     | 42.77                     |
| 7  | -1.98    | 0.00                     | 0.00                     | 144.87                   | 210.21                   | 41.74                     | 61.24                     |
| 8  | -1.88    | 0.00                     | 0.00                     | 168.48                   | 243.13                   | 56.70                     | 82.88                     |
| 9  | -1.79    | 0.00                     | 0.00                     | 191.95                   | 275.44                   | 73.90                     | 107.63                    |
| 10 | -1.69    | 0.00                     | 0.00                     | 215.27                   | 307.15                   | 93.34                     | 135.44                    |
| 11 | -1.60    | 0.00                     | 0.00                     | 238.44                   | 338.25                   | 115.00                    | 166.25                    |
| 12 | -1.50    | 0.00                     | 0.00                     | 261.46                   | 368.75                   | 138.86                    | 200.00                    |
| 13 | 0.00     | 0.00                     | 0.00                     | -145.07                  | 96.59                    | -253.12                   | 100.51                    |
| 14 | 0.10     | 0.00                     | 0.00                     | -146.35                  | 91.05                    | -238.84                   | 91.31                     |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 15 | 0.20     | 0.00                     | 0.00                     | -147.05                  | 85.65                    | -224.45                   | 82.66                     |
| 16 | 0.29     | 0.00                     | 0.00                     | -147.16                  | 80.39                    | -210.03                   | 74.52                     |
| 17 | 0.39     | 0.00                     | 0.00                     | -146.68                  | 75.27                    | -195.63                   | 66.90                     |
| 18 | 0.49     | 0.00                     | 0.00                     | -145.60                  | 70.29                    | -181.30                   | 59.76                     |
| 19 | 0.59     | 0.00                     | 0.00                     | -143.94                  | 65.45                    | -167.11                   | 53.11                     |
| 20 | 0.69     | 0.00                     | 0.00                     | -141.68                  | 60.75                    | -153.11                   | 46.93                     |
| 21 | 0.78     | 0.00                     | 0.00                     | -138.83                  | 56.19                    | -139.36                   | 41.20                     |
| 22 | 0.88     | 0.00                     | 0.00                     | -135.39                  | 51.77                    | -125.92                   | 35.91                     |
| 23 | 0.98     | 0.00                     | 0.00                     | -131.36                  | 47.48                    | -112.84                   | 31.05                     |
| 24 | 1.08     | 0.00                     | 0.00                     | -126.74                  | 43.34                    | -100.19                   | 26.60                     |
| 25 | 1.18     | 0.00                     | 0.00                     | -121.53                  | 39.34                    | -88.02                    | 22.55                     |
| 26 | 1.27     | 0.00                     | 0.00                     | -115.73                  | 35.47                    | -76.39                    | 18.89                     |
| 27 | 1.37     | 0.00                     | 0.00                     | -109.34                  | 31.75                    | -65.36                    | 15.59                     |
| 28 | 1.47     | 0.00                     | 0.00                     | -102.35                  | 28.16                    | -54.98                    | 12.66                     |
| 29 | 1.57     | 0.00                     | 0.00                     | -94.78                   | 24.72                    | -45.31                    | 10.07                     |
| 30 | 1.67     | 0.00                     | 0.00                     | -86.61                   | 21.41                    | -36.42                    | 7.81                      |
| 31 | 1.76     | 0.00                     | 0.00                     | -77.85                   | 18.25                    | -28.36                    | 5.87                      |
| 32 | 1.86     | 0.00                     | 0.00                     | -68.50                   | 15.22                    | -21.18                    | 4.23                      |
| 33 | 1.96     | 0.00                     | 0.00                     | -58.56                   | 12.34                    | -14.95                    | 2.88                      |
| 34 | 2.06     | 0.00                     | 0.00                     | -48.03                   | 9.59                     | -9.72                     | 1.81                      |
| 35 | 2.16     | 0.00                     | 0.00                     | -36.91                   | 6.98                     | -5.56                     | 1.00                      |
| 36 | 2.25     | 0.00                     | 0.00                     | -25.20                   | 4.52                     | -2.51                     | 0.43                      |
| 37 | 2.35     | 0.00                     | 0.00                     | -12.89                   | 2.19                     | -0.64                     | 0.11                      |
| 38 | 2.45     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                      | 0.00                      |

CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO

10.1.10 Verifiche strutturali

10.1.10.1 Paramento - Verifica per azioni sismiche (SLV)

Caratteristiche della sezione:

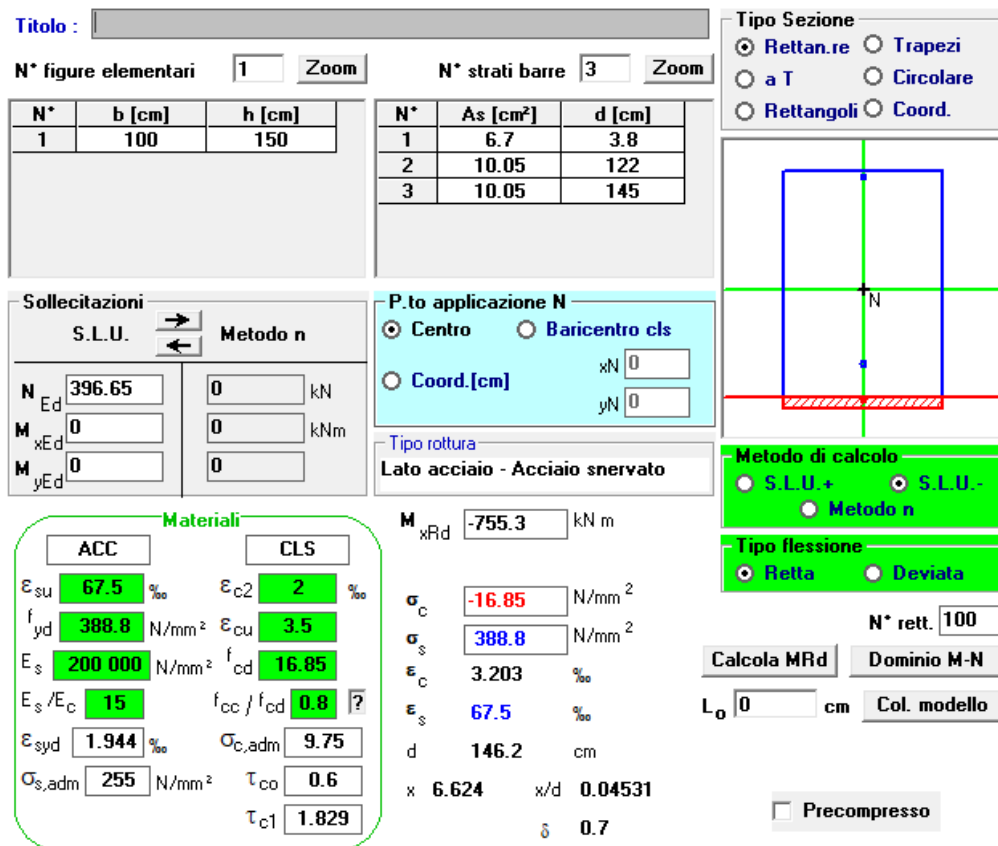
Sezione con placcaggio 100x150 cm

|                                  |              |                    |
|----------------------------------|--------------|--------------------|
| Armatura<br>paramento/placcaggio | Lato a vista | Lato contro terra  |
|                                  | 1+1Ø16/20    | Ø 16/30 (non nota) |

$N_d = 396.65 \text{ kN/m};$

$M_{d, \max} = 413.02 \text{ kNm/m};$

Si riporta la verifica a presso-flessione



**Titolo :** [ ]

**N° figure elementari** 1 **Zoom** **N° strati barre** 3 **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 150    |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 6.7      | 3.8    |
| 2  | 10.05    | 122    |
| 3  | 10.05    | 145    |

**Tipologia Sezione:**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

**P.to applicazione N:**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Materiali:**  
**ACC:**  $\epsilon_{su} = 67.5 \%$ ,  $f_{yd} = 388.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_s = 200\,000 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_s/E_c = 15$ ,  $\epsilon_{syd} = 1.944 \%$ ,  $\sigma_{s,adm} = 255 \text{ N/mm}^2$   
**CLS:**  $\epsilon_{c2} = 2 \%$ ,  $\epsilon_{cu} = 3.5$ ,  $f_{cd} = 16.85$ ,  $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$ ,  $\sigma_{c,adm} = 9.75$ ,  $\tau_{co} = 0.6$ ,  $\tau_{c1} = 1.829$

**Tipologia rottura:** Lato acciaio - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo:**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd} = -755.3 \text{ kNm}$   
 $\sigma_c = -16.85 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma_s = 388.8 \text{ N/mm}^2$   
 $\epsilon_c = 3.203 \%$   
 $\epsilon_s = 67.5 \%$   
 $d = 146.2 \text{ cm}$   
 $x = 6.624$ ,  $x/d = 0.04531$   
 $\delta = 0.7$

**Parametri:** N° rett. 100, L<sub>0</sub> 0 cm, Col. modello

Precompresso

Il rapporto capacità/domanda a presso-flessione, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV     |         |                             |
|---------|---------|-----------------------------|
| $M_C$   | $M_D$   | $\zeta_{M,min} = M_C / M_D$ |
| (kNm/m) | (kNm/m) |                             |
| 755.3   | 413.0   | 1.83                        |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**Verifica a taglio**

La capacità resistente a taglio è stata valutata mediante la formula riportata al paragrafo C8A.8.6.5 della circolare n°617 del 02/02/2009 che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$$

| Calcolo del taglio resistente     |         |                     |                                                                      |
|-----------------------------------|---------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| B =                               | 1000    | mm                  | Base                                                                 |
| H =                               | 1500    | mm                  | Altezza                                                              |
| d' =                              | 38      | mm                  | Dist. asse armatura long.                                            |
| d =                               | 1462    | mm                  | Altezza utile della sezione (d = H - d')                             |
| A <sub>c</sub> =                  | 1377500 | mm <sup>2</sup>     | Area del nucleo confinato                                            |
| k =                               | 0.29    | MPa                 | Parametro k = k(μ <sub>Δ</sub> ) di degrado ciclico del calcestruzzo |
| A <sub>sw</sub> /s =              | 0       | mm <sup>2</sup> /m  | Area armatura trasversale                                            |
| f <sub>c</sub> =                  | 16.9    | MPa                 | Resistenza di calcolo del cls per elementi fragili                   |
| f <sub>y,st</sub> =               | 388.8   | MPa                 | Resistenza di calcolo dell'acciaio per elementi fragili              |
| N =                               | 396.65  | kN                  | Sforzo assiale                                                       |
| L <sub>s</sub> =                  | 3378    | mm                  | Luce di Taglio                                                       |
| x =                               | 66.24   | mm                  | Posizione dell'asse neutro                                           |
| <hr/>                             |         |                     |                                                                      |
| $V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c}$       | =       | 1312.0              | kN                                                                   |
| $V_N = N \frac{h-x}{2L_s}$        | =       | 82.0                | kN                                                                   |
| $V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$    | =       | 0.0                 | kN                                                                   |
| <hr/>                             |         |                     |                                                                      |
| $V_u = V_c + V_N + V_s$           | =       | 1393.9              | kN                                                                   |
| SLU                               |         |                     |                                                                      |
| $V_{SLV/SLC} = V_u / \gamma_{el}$ | =       | 1115.1              | kN                                                                   |
|                                   |         | con $\gamma_{el} =$ | 1.25                                                                 |
| SLV/SLC                           |         |                     |                                                                      |

Il rapporto capacità/domanda a taglio, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                             |
|----------------|----------------|-----------------------------|
| V <sub>C</sub> | V <sub>D</sub> | $\zeta_{V,min} = V_C / V_D$ |
| (kN/m)         | (kN/m)         |                             |
| 1115.1         | 126.9          | <b>8.78</b>                 |

**10.1.10.2 Fondazione - Verifica per azioni sismiche (SLV)**

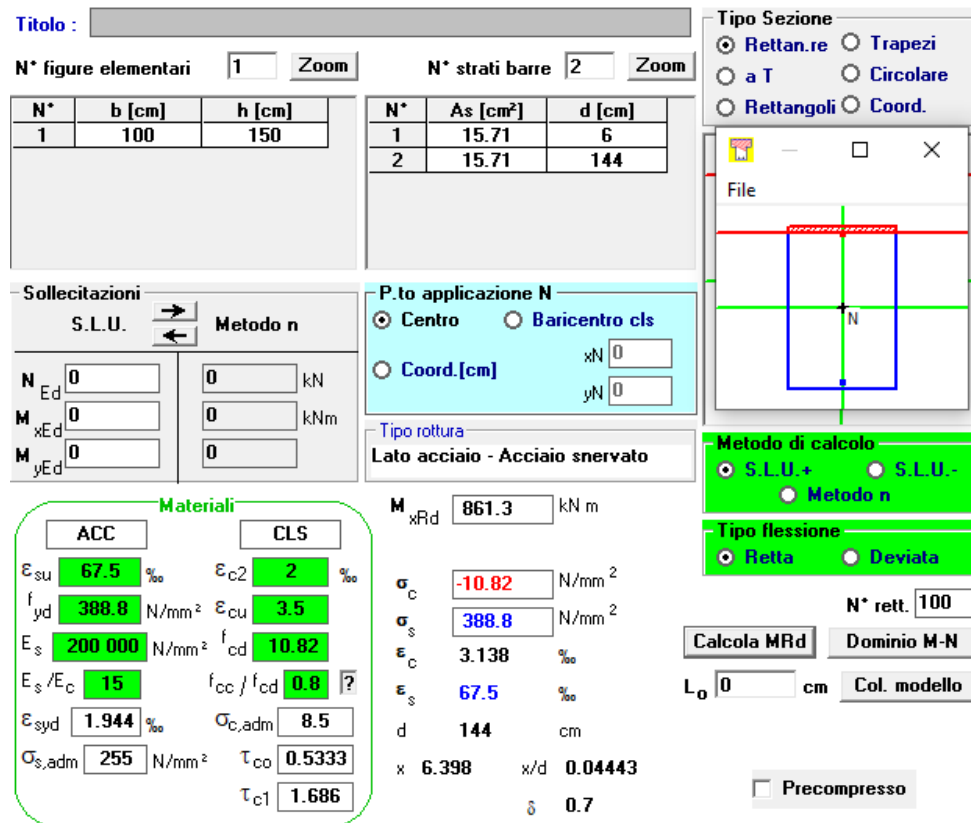
Caratteristiche della sezione:

Sezione 100x150 cm

|                        |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|
| Armatura<br>fondazione | Inferiore | Superiore |
|                        | Ø 20/20   | Ø 20/20   |

$M_{max}=253.12$  kNm/m;

Si riporta la verifica a flessione:



**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 150    |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 15.71    | 6      |
| 2  | 15.71    | 144    |

**Tipologia Sezione:**  
 Rettan.re    Trapezi  
 a T    Circolare  
 Rettangoli    Coord.

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

**P.to applicazione N:**  
 Centro    Baricentro cls  
 Coord.[cm]   xN 0   yN 0

**Materiali:**  
**ACC:**  $\epsilon_{su}$  67.5 ‰,  $f_{yd}$  388.8 N/mm²,  $E_s$  200 000 N/mm²,  $\epsilon_{s}/E_c$  15,  $\epsilon_{syd}$  1.944 ‰,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  
**CLS:**  $\epsilon_{c2}$  2 ‰,  $\epsilon_{cu}$  3.5,  $f_{cd}$  10.82,  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8,  $\sigma_{c,adm}$  8.5,  $\tau_{co}$  0.5333,  $\tau_{c1}$  1.686

**Tipologia rottura:** Lato acciaio - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo:**  
 S.L.U.+    S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipologia flessione:**  
 Retta    Deviata

**Calcoli:**  
 $M_{xRd}$  861.3 kNm  
 $\sigma_c$  -10.82 N/mm²  
 $\sigma_s$  388.8 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.138 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
d 144 cm  
x 6.398   x/d 0.04443  
 $\delta$  0.7

**Parametri:** N° rett. 100, L<sub>0</sub> 0 cm, Col. modello

Precompresso

Il rapporto capacità/domanda a flessione, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV     |         |                             |
|---------|---------|-----------------------------|
| $M_c$   | $M_D$   | $\zeta_{M,min} = M_c / M_D$ |
| (kNm/m) | (kNm/m) |                             |
| 861.3   | 253.1   | 3.40                        |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**Verifica a taglio**

La capacità resistente a taglio è stata valutata mediante la formula riportata al paragrafo C8A.8.6.5 della circolare n°617 del 02/02/2009 che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8 A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$$

| Calcolo del taglio resistente                           |         |                    |                                                                      |       |    |                                    |
|---------------------------------------------------------|---------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|----|------------------------------------|
| B =                                                     | 1000    | mm                 | Base                                                                 |       |    |                                    |
| H =                                                     | 1500    | mm                 | Altezza                                                              |       |    |                                    |
| d' =                                                    | 62      | mm                 | Dist. asse armatura long.                                            |       |    |                                    |
| d =                                                     | 1438    | mm                 | Altezza utile della sezione (d = H - d')                             |       |    |                                    |
| A <sub>C</sub> =                                        | 1227996 | mmq                | Area del nucleo confinato                                            |       |    |                                    |
| k =                                                     | 0.29    | MPa                | Parametro k = k(μ <sub>Δ</sub> ) di degrado ciclico del calcestruzzo |       |    |                                    |
| A <sub>sw</sub> /s =                                    | 0       | mm <sup>2</sup> /m | Area armatura trasversale                                            |       |    |                                    |
| f <sub>c</sub> =                                        | 10.8    | MPa                | Resistenza di calcolo del cls per elementi fragili                   |       |    |                                    |
| f <sub>y,st</sub> =                                     | 388.8   | MPa                | Resistenza di calcolo dell'acciaio per elementi fragili              |       |    |                                    |
| N =                                                     | 0       | kN                 | Sforzo assiale                                                       |       |    |                                    |
| L <sub>s</sub> =                                        | 2621    | mm                 | Luce di Taglio                                                       |       |    |                                    |
| x =                                                     | 63.98   | mm                 | Posizione dell'asse neutro                                           |       |    |                                    |
| $V_c = 0.8 A_c k \sqrt{f_c}$                            |         |                    | =                                                                    | 937.3 | kN |                                    |
| $V_N = N \frac{h-x}{2L_s}$                              |         |                    | =                                                                    | 0.0   | kN |                                    |
| $V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$                          |         |                    | =                                                                    | 0.0   | kN |                                    |
| $V_u = V_c + V_N + V_s$                                 |         |                    | =                                                                    | 937.3 | kN | SLU                                |
| V <sub>SLV/SLC</sub> = V <sub>u</sub> / γ <sub>el</sub> |         |                    | =                                                                    | 749.8 | kN | con γ <sub>el</sub> = 1.25 SLV/SLC |

Il rapporto capacità/domanda a taglio, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                             |
|----------------|----------------|-----------------------------|
| V <sub>c</sub> | V <sub>D</sub> | $\zeta_{V,min} = V_c / V_D$ |
| (kN/m)         | (kN/m)         |                             |
| 749.8          | 368.75         | <b>2.03</b>                 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.1.11 Verifiche dei tiranti passivi**

L'intervento prevede l'inserimento di tre ordini di tiranti passivi ad interasse 1,9 m, su muro di placcaggio in c.a. avente spessore pari a 30 cm.

Le caratteristiche dei tiranti sono le seguenti:

Tabella 10-3 Caratteristiche tiranti passivi tipo Dywidag acciaio 835/1035

| Ordin<br>e | N°<br>tirant<br>i | Inclinazion<br>e | N°<br>barre | Diametr<br>o<br>barra | L <sub>liber<br/>a</sub> | L <sub>bulb<br/>o</sub> | L <sub>total<br/>e</sub> | Interass<br>e | Diametro<br>perforazion<br>e |
|------------|-------------------|------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------|
| [n]        | [n]               | [°]              | [n<br>]     | [mm]                  | [m]                      | [m]                     | [m]                      | [m]           | [mm]                         |
| I          | 6                 | 5.0              | 1           | Ø 40                  | 13.0                     | 7.0                     | 20.0                     | 1.9           | Ø 150                        |
| II         | 5                 | 5.0              | 1           | Ø 40                  | 11.0                     | 7.0                     | 18.0                     | 1.9           | Ø 150                        |
| III        | 6                 | 0.0              | 1           | Ø 40                  | 10.0                     | 7.0                     | 16.0                     | 1.9           | Ø 150                        |

Simbologia adottata

It      Indice tirante (tra parentesi viene indicata la posizione P: paramento, F: fondazione)

S      Ordinata sul paramento o ascissa sulla fondazione, espressa in [m]

Ic      Indice combinazione

**Dettagli di calcolo**

Simbologia adottata

N      Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kN]. In grassetto il tiro massimo in esercizio

| It    | S<br>[m] | Ic | N<br>[kN]     |
|-------|----------|----|---------------|
| 1 [P] | 2.74     | 1  | 68.44         |
|       |          | 2  | 302.66        |
|       |          | 3  | 294.05        |
|       |          | 4  | 50.99         |
|       |          | 5  | 50.99         |
|       |          | 6  | 68.44         |
|       |          | 7  | 73.97         |
|       |          | 8  | 348.66        |
|       |          | 9  | 336.32        |
|       |          | 10 | 95.43         |
|       |          | 11 | 347.81        |
|       |          | 12 | 334.25        |
|       |          |    | <b>348.66</b> |
| 2 [P] | 4.74     | 1  | 79.90         |
|       |          | 2  | 284.33        |
|       |          | 3  | 278.18        |
|       |          | 4  | 67.57         |
|       |          | 5  | 67.57         |
|       |          | 6  | 79.90         |
|       |          | 7  | 84.64         |
|       |          | 8  | 329.70        |
|       |          | 9  | 322.87        |
|       |          | 10 | 103.37        |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| It    | S<br>[m] | lc | N<br>[kN]     |
|-------|----------|----|---------------|
|       |          | 11 | 325.55        |
|       |          | 12 | 312.86        |
|       |          |    | <b>329.70</b> |
| 3 [P] | 6.74     | 1  | 113.71        |
|       |          | 2  | 279.72        |
|       |          | 3  | 271.83        |
|       |          | 4  | 109.97        |
|       |          | 5  | 109.96        |
|       |          | 6  | 113.71        |
|       |          | 7  | 115.55        |
|       |          | 8  | 325.08        |
|       |          | 9  | 320.63        |
|       |          | 10 | 131.44        |
|       |          | 11 | 316.40        |
|       |          | 12 | 299.66        |
|       |          |    | <b>325.08</b> |

Si riportano, nel seguito, le verifiche geotecniche e strutturali.

Si assume per la determinazione della resistenza della fondazione del tirante che il numero di verticali di indagini sui terreni sia pari a  $n=1$ , da cui si ottiene  $\xi_3 = \xi_4 = 1.80$ ,  $\gamma_R = 1.2$  per i tiranti permanenti. Le resistenze unitarie di aderenza malta-terreno, minima e media ( $S_{k,min}$  e  $S_{k,media}$ ) si assumono pari a:

$$q_{a,min} = 200 \text{ kPa};$$

$$q_{a,media} = 200 \text{ kPa}.$$

da cui si determina la lunghezza minima della fondazione.

#### 10.1.11.1 Verifica a sfilamento

La resistenza di progetto allo sfilamento di un ancoraggio,  $N_{Rd,sfil}$ , è data dal minimo tra la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-terreno,  $N_{Rd,ter}$ , e la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-barra,  $N_{Rd,cls}$ :

$$N_{Rd,sfil} = \min(N_{Rd,cls}, N_{Rd,ter})$$

Nella tabella seguente si riportano i valori di sbulbamento e di tensione di aderenza adottati.

Tabella 10-4: Valori di progetto per le verifiche allo sfilamento dell'interfaccia malta-terreno

| Diametro perforazione, $D_p$ | Fattore di sbulbamento, $\alpha$ | Aderenza limite bulbo-terreno, $q_a$ | Fattore $\xi_a$ | Fattore $\xi_{a4}$ | Coefficiente parziale $\gamma_R$ |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|
| [mm]                         | [-]                              | [kPa]                                | [-]             | [-]                | [-]                              |
| 150                          | 1.15                             | 200                                  | 1.8             | 1.8                | 1.2                              |



### 10.1.11.1.1 Ordine di tiranti più sollecitato

Si effettua la verifica dei tiranti più sollecitati (primo ordine).

Il calcolo della resistenza a sfilamento dell'interfaccia malta-terreno è riportato nelle tabelle seguenti:

Tabella 10-5 Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno

| Primo ordine di tiranti                                           |                              |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| $L_f = 7.0$ m                                                     | Lunghezza del bulbo          |
| $q_a = 200$ kPa                                                   | Tensione di aderenza         |
| $D_p = 0.150$ m                                                   | Diametro perforazione        |
| $D_b = 0.173$ m                                                   | Diametro bulbo               |
| $N_{R,ter} = \pi \times D_b \times L_b \times q_a = 758.7$ kN     | Resistenza calcolata         |
| $N_{Rk,ter} = N_{R,ter} / \xi = 421.5$ kN                         | Resistenza caratteristica    |
| <b><math>N_{Rd,ter} = N_{Rk,ter} / \gamma_R = 351.2</math> kN</b> | <b>Resistenza di calcolo</b> |

Il calcolo della resistenza a sfilamento dell'interfaccia malta-barra è riportato nella tabella seguente:

Tabella 10-6 Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-barra

|                                                                                         |                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $L_f = 7.0$ m                                                                           | Lunghezza del bulbo                               |
| $f_{ck} = 25$ MPa                                                                       | Resistenza a compressione caratteristica          |
| $f_{ctk} = 1.80$ MPa                                                                    | Resistenza a trazione caratteristica              |
| $\Phi_b = 40$ mm                                                                        | Diametro della barra                              |
| $\eta_1 = 1.00$                                                                         | Coefficiente per condizioni di aderenza           |
| $\eta_2 = 0.92$                                                                         | Coefficiente per diametro della barra             |
| $f_{bk} = 2.25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctk} = 3.72$ MPa                   | Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza |
| $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_C = 2.48$ MPa                                                 | resistenza tangenziale di aderenza di progetto    |
| <b><math>N_{Rd,acc} = \pi \times \Phi_b \times L_b \times f_{bd} = 2179.5</math> kN</b> | <b>Resistenza di calcolo</b>                      |

Pertanto, la resistenza a sfilamento del bulbo è pari a:

$$N_{Rd,sfil} = \min(N_{Rd,cls}, N_{Rd,ter}) = 351.2 \text{ kN} > N_{max} = 348.7 \text{ kN}$$

Il tratto di tirante che rientra nel cono di spinta attiva, e quindi che non partecipa al calcolo della resistenza a sfilamento, calcolato in accordo al paragrafo 7.11.6.4 del D.M., è pari a 9.0 m. Pertanto, il tirante ha una lunghezza complessiva di 16.0 m.

### Verifica a trazione della barra

Si esegue la verifica a trazione della barra, adottando come azione di progetto la resistenza di progetto allo sfilamento (§ 7.11.6.4.1 del D.M. 14/01/2008):

|                                                              |                                                     |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $N_{Ed} = 351.2$ kN                                          | Resistenza di progetto della fondazione del tirante |
| $N_{pl,Rd} = f_{yd} \cdot \pi \cdot \Phi_b^2 / 4 = 912.4$ kN | Resistenza a trazione di calcolo                    |

---

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

---

|                                                |                                      |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $f_{yk} = 835 \text{ MPa}$                     | Tensione di snervamento dell'acciaio |
| $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 795.2 \text{ MPa}$ | Resistenza di progetto               |
| $N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0.385 \leq 1$              | <b>Verifica soddisfatta</b>          |

---

## 10.2 INTERVENTO SUI MURI ANDATORI

### 10.2.1 Geometria muri andatori

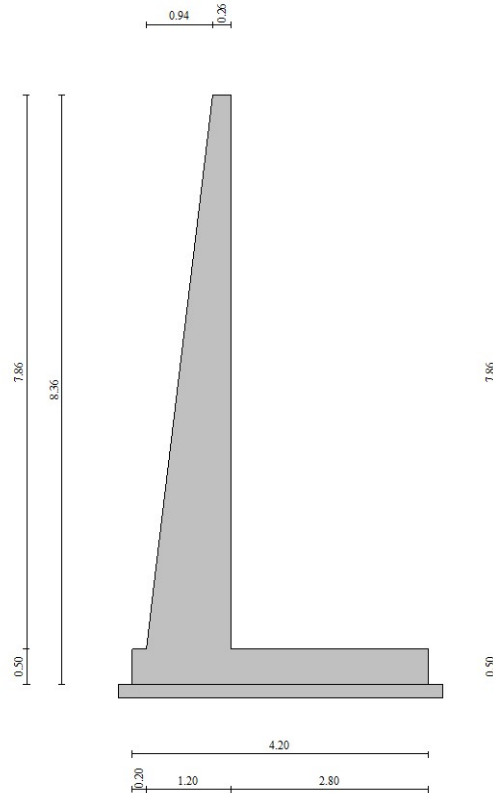


Figura 10-4 Muri Andatori– sezione quotata muro

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

| Materiale                              | CLS Elev. |     |
|----------------------------------------|-----------|-----|
| Altezza paramento                      | 7.86      | [m] |
| Altezza paramento libero               | 7.00      | [m] |
| Spessore in sommità                    | 0.26      | [m] |
| Spessore all'attacco con la fondazione | 1.20      | [m] |
| Inclinazione paramento esterno         | 6.85      | [°] |
| Inclinazione paramento interno         | 0.00      | [°] |

##### Fondazione

| Materiale                  | CLS Fond. |     |
|----------------------------|-----------|-----|
| Lunghezza mensola di valle | 0.20      | [m] |
| Lunghezza mensola di monte | 2.80      | [m] |
| Lunghezza totale           | 4.20      | [m] |
| Inclinazione piano di posa | 0.00      | [°] |
| Spessore                   | 0.50      | [m] |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Spessore magrone 0.20 [m]

Tiranti di ancoraggio

Essendo tiranti passivi ancorati in corrispondenza dei due muri andatori, nel modello di calcolo sono stati inseriti due vincoli alla quota dei tiranti, le cui caratteristiche sono riportate di seguito:

Simbologia adottata

- n° indice del vincolo
- X, Y Posizione del vincolo sul muro, espressa in [m]
- Vx, Vy Vincolo alla traslazione orizzontale e verticale (Rigido o Elastico)
- Kx, Ky Rigidezza del vincolo elastico, espressa in [kg/cm]
- Dir Direzione reazione vincolo

| n° | X<br>[m] | Y<br>[m] | Vx       | Kx<br>[kg/cm] | Dir                                | Vy     | Ky<br>[kg/cm] | Dir |
|----|----------|----------|----------|---------------|------------------------------------|--------|---------------|-----|
| 1  | -0.62    | -3.00    | Elastico | 7176          | Reagisce a spostamenti verso VALLE | Libero | -- --         |     |
| 2  | -0.84    | -4.80    | Elastico | 7176          | Reagisce a spostamenti verso VALLE | Libero | -- --         |     |

**10.2.2 Descrizione terreni**

Parametri di resistenza

Simbologia adottata

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

| n° | Descr                 | $\gamma$<br>[kN/mc] | $\gamma_{sat}$<br>[kN/mc] | $\phi$<br>[°] | $\delta$<br>[°] | c<br>[kPa] | $c_a$<br>[kPa] | Cesp | $\tau_l$<br>[kPa] |
|----|-----------------------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------|----------------|------|-------------------|
| 1  | Rilevato              | 19.0000             | 19.0000                   | 34.000        | 22.670          | 0          | 0              | ---  | ---               |
| 2  | Unità 1 - Mcm litoide | 24.5000             | 24.5000                   | 27.000        | 27.000          | 215        | 0              | ---  | ---               |

### 10.2.3 Stratigrafia

Simbologia adottata

n° Indice dello strato

H Spessore dello strato espresso in [m]

$\alpha$  Inclinazione espressa in [°]

Terreno Terreno dello strato

Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

Per calcolo pali (solo se presenti)

Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

Ks Coefficiente di spinta

Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

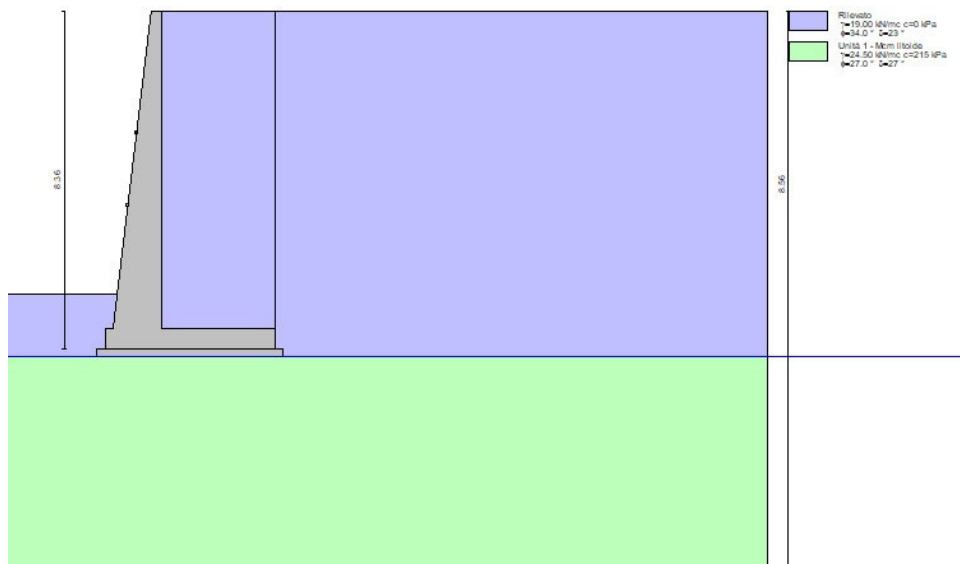
Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')

Kst<sub>sta</sub>, Kst<sub>sis</sub> Coeff. di spinta statico e sismico

| n° | H<br>[m] | $\alpha$<br>[°] | Terreno               | Kwn<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Kwt<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Kw<br>[Kg/cm <sup>3</sup> ] | Ks  | Cesp | Kst <sub>sta</sub> | Kst <sub>sis</sub> |
|----|----------|-----------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----|------|--------------------|--------------------|
| 1  | 8.56     | 0.000           | Rilevato              | 3.000                        | 0.100                        | ---                         | --- | ---  | ---                | ---                |
| 2  | 15.00    | 0.000           | Unità 1 - Mcm litoide | 5.000                        | 2.000                        | ---                         | --- | ---  | ---                | ---                |

Terreno di riempimento: Rilevato

Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 00.00 [°]



#### 10.2.4 Condizioni di carico

Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

$X_i$  Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

$X_f$  Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

$Q_i$  Intensità del carico per  $x=X_i$  espressa in [kN]

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

#### Condizione n° 1 (Sovraccarico accidentale su rilevato) - VARIABILE

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=1.00$  -  $\Psi_1=1.00$  -  $\Psi_2=1.00$

##### Carichi sul terreno

| n° | Tipo        | X<br>[m] | $F_x$<br>[kN] | $F_y$<br>[kN] | M<br>[kNm] | $X_i$<br>[m] | $X_f$<br>[m] | $Q_i$<br>[kN] | $Q_f$<br>[kN] |
|----|-------------|----------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1  | Distribuito |          |               |               |            | 0.20         | 10.70        | 20.0000       | 20.0000       |

#### Condizione n° 2 (Peso Cordolo) - PERMANENTE

##### Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m] | $F_x$<br>[kN] | $F_y$<br>[kN] | M<br>[kNm] | $X_i$<br>[m] | $X_f$<br>[m] | $Q_i$<br>[kN] | $Q_f$<br>[kN] |
|----|-------------|-----------|-------------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.10; 0.00 | 0.0000        | 9.3750        | 0.0000     |              |              |               |               |

#### Condizione n° 3 (Sovr. Perm. G.R.) - PERMANENTE NS

##### Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m] | $F_x$<br>[kN] | $F_y$<br>[kN] | M<br>[kNm] | $X_i$<br>[m] | $X_f$<br>[m] | $Q_i$<br>[kN] | $Q_f$<br>[kN] |
|----|-------------|-----------|-------------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.10; 0.00 | 0.0000        | 1.5000        | 0.0000     |              |              |               |               |

#### Condizione n° 4 (Resistenza limite tiranti) – PERMANENTE (solo per analisi di stabilità globale)

##### Carichi sul muro

| n° | Tipo        | Dest      | X; Y<br>[m]  | $F_x$<br>[kN] | $F_y$<br>[kN] | M<br>[kNm] | $X_i$<br>[m] | $X_f$<br>[m] | $Q_i$<br>[kN] | $Q_f$<br>[kN] |
|----|-------------|-----------|--------------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1  | Concentrato | Paramento | -0.62; -3.00 | -304.1300     | 0.0000        | 0.0000     |              |              |               |               |
| 2  | Concentrato | Paramento | -0.83; -4.80 | -304.1000     | 0.0000        | 0.0000     |              |              |               |               |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**Normativa**

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2008 (D.M. 14.01.2008) - Approccio 2 + Circolare C.S.LL.PP. 02/02/2009 n.617**

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

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

**Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno**

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

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

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

Verifica opera esistente

**10.2.5 Combinazioni di carico**

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

**Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)**

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

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Spinta terreno                       | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.50     | --     | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50     | 1.00   | Sfavorevole |

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

| Condizione       | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro        | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Peso terrapieno  | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Spinta terreno   | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo     | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R. | 1.00     | --     | Sfavorevole |

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

| Condizione       | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro        | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno  | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno   | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo     | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R. | 1.00     | --     | Sfavorevole |

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                            | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.50     | --     | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50     | 1.00   | Sfavorevole |

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Peso terrapieno                      | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.50     | --     | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50     | 1.00   | Sfavorevole |

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                            | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Spinta terreno                       | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.50     | --     | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50     | 1.00   | Sfavorevole |



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                            | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno                      | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno                       | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.30     | --     | Sfavorevole |
| Resistenza limite tiranti            | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.30     | 1.00   | Sfavorevole |

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

| Condizione                | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|---------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                 | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno           | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno            | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo              | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.          | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Resistenza limite tiranti | 1.00     | --     | Favorevole  |

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

| Condizione                | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|---------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                 | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso terrapieno           | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Spinta terreno            | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo              | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.          | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Resistenza limite tiranti | 1.00     | --     | Favorevole  |

Combinazione n° 10 - EQU

| Condizione                           | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro                            | 0.90     | --     | Favorevole  |
| Peso terrapieno                      | 0.90     | --     | Favorevole  |
| Spinta terreno                       | 1.10     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo                         | 1.10     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R.                     | 1.50     | --     | Sfavorevole |
| Sovraccarico accidentale su rilevato | 1.50     | 1.00   | Sfavorevole |

Combinazione n° 11 - EQU H + V

| Condizione       | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|------------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro        | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Peso terrapieno  | 1.00     | --     | Favorevole  |
| Spinta terreno   | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo     | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R. | 1.00     | --     | Sfavorevole |

Combinazione n° 12 - EQU H - V

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

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Condizione       | $\gamma$ | $\Psi$ | Effetto     |
|------------------|----------|--------|-------------|
| Spinta terreno   | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Peso Cordolo     | 1.00     | --     | Sfavorevole |
| Sovr. Perm. G.R. | 1.00     | --     | Sfavorevole |

**10.2.6 Dati sismici**

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Regione                        | Sicilia                       |
| Latitudine                     | 43.274744                     |
| Longitudine                    | 12.383960                     |
| Indice punti di interpolazione | 22295 - 22294 - 22516 - 22517 |
| Vita nominale                  | 50 anni                       |
| Classe d'uso                   | IV                            |
| Tipo costruzione               | Normali affollamenti          |
| Vita di riferimento            | 100 anni                      |

|                                                                 | Simbolo | U.M.                |    | SLU   | SLE   |
|-----------------------------------------------------------------|---------|---------------------|----|-------|-------|
| Accelerazione al suolo                                          | $a_g$   | [m/s <sup>2</sup> ] |    | 2.776 | 0.736 |
| Accelerazione al suolo                                          | $a_g/g$ | [%]                 |    | 0.283 | 0.075 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale              | F0      |                     |    | 2.361 | 2.491 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante               | Tc*     |                     |    | 0.454 | 0.289 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico                 | Ss      |                     | A  | 1.000 | 1.000 |
| Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica | St      |                     | T1 | 1.000 |       |

| Stato limite ... | Coeff. di riduzione $\beta_m$ | kh     | kv     |
|------------------|-------------------------------|--------|--------|
| Ultimo           | 1.000                         | 28.300 | 14.150 |
| Esercizio        | 1.000                         | 7.503  | 3.751  |

Forma diagramma incremento sismico Rettangolare

Opzioni di calcolo

Spinta

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Metodo di calcolo della spinta | Coeff. di spinta definiti da strato |
| Tipo di spinta                 | Spinta attiva                       |
| Terreno a bassa permeabilità   | NO                                  |
| Superficie di spinta limitata  | NO                                  |

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza Meyerhof

Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) Ponderata

Criterio di riduzione per eccentricità della portanza Meyerhof

Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) Nessuna

Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite (0.5BgNg) Larghezza ridotta (B')

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Fattori di forma e inclinazione del carico Solo i fattori di inclinazione

Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale Bishop

**10.2.7 Risultati per combinazione**

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]

P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

| Ic                                             | A                                              | V<br>[kN]      | I<br>[°] | C <sub>x</sub><br>[kN] | C <sub>y</sub><br>[kN] | P <sub>x</sub><br>[m] | P <sub>y</sub><br>[m] |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                                              | Spinta statica                                 | 283.23         | 22.67    | 261.35                 | 109.16                 | 2.80                  | -5.26                 |
|                                                | Peso/inerzia muro                              |                |          | 0.00                   | 196.41/0.00            | -0.12                 | -5.67                 |
|                                                | Peso/inerzia terrapieno                        |                |          | 0.00                   | 496.15/0.00            | 1.40                  | -3.93                 |
|                                                | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |                |          | 0.00                   | 3.27                   | -1.30                 | -7.43                 |
|                                                | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |                |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|                                                | Risultante forze sul muro                      |                |          | 0.00                   | 14.44                  | --                    | --                    |
|                                                | Reazione vincolare                             |                |          | -166.05                | 0.00                   | 0.00                  | -4.07                 |
|                                                | 2                                              | Spinta statica | 168.82   | 22.67                  | 155.78                 | 65.07                 | 2.80                  |
| Incremento di spinta sismica                   |                                                |                | 167.30   | 154.37                 | 64.48                  | 2.80                  | -4.18                 |
| Peso/inerzia muro                              |                                                |                |          | 55.58                  | 196.41/27.79           | -0.12                 | -5.67                 |
| Peso/inerzia terrapieno                        |                                                |                |          | 118.34                 | 418.15/59.17           | 1.40                  | -3.93                 |
| Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |                                                |                |          | 0.92                   | 3.27                   | -1.30                 | -7.43                 |
| Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |                                                |                |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
| Risultante forze sul muro                      |                                                |                |          | 3.08                   | 12.41                  | --                    | --                    |
| Reazione vincolare                             |                                                |                |          | -351.36                | 0.00                   | 0.00                  | -3.96                 |
| 3                                              | Spinta statica                                 | 168.82         | 22.67    | 155.78                 | 65.07                  | 2.80                  | -5.57                 |
|                                                | Incremento di spinta sismica                   |                | 138.21   | 127.53                 | 53.27                  | 2.80                  | -4.18                 |
|                                                | Peso/inerzia muro                              |                |          | 55.58                  | 196.41/-27.79          | -0.12                 | -5.67                 |
|                                                | Peso/inerzia terrapieno                        |                |          | 1.34                   | 418.15/-59.17          | 1.40                  | -3.93                 |
|                                                | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |                |          | 0.92                   | 3.27                   | -1.30                 | -7.43                 |
|                                                | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |                |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|                                                | Risultante forze sul muro                      |                |          | 3.08                   | 9.34                   | --                    | --                    |
|                                                | Reazione vincolare                             |                |          | -332.76                | 0.00                   | 0.00                  | -3.96                 |
| 4                                              | Spinta statica                                 | 283.23         | 22.67    | 261.35                 | 109.16                 | 2.80                  | -5.26                 |
|                                                | Peso/inerzia muro                              |                |          | 0.00                   | 255.33/0.00            | -0.12                 | -5.67                 |
|                                                | Peso/inerzia terrapieno                        |                |          | 0.00                   | 621.60/0.00            | 1.40                  | -3.93                 |
|                                                | Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle |                |          | 0.00                   | 4.25                   | -1.30                 | -7.43                 |
|                                                | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |                |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|                                                | Risultante forze sul muro                      |                |          | 0.00                   | 14.44                  | --                    | --                    |
|                                                | Reazione vincolare                             |                |          | -161.25                | 0.00                   | 0.00                  | -4.10                 |
|                                                | 5                                              | Spinta statica | 283.23   | 22.67                  | 261.35                 | 109.16                | 2.80                  |
| Peso/inerzia muro                              |                                                |                |          | 0.00                   | 196.41/0.00            | -0.12                 | -5.67                 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| lc | A                                              | V<br>[kN] | I<br>[°] | C <sub>x</sub><br>[kN] | C <sub>y</sub><br>[kN] | P <sub>x</sub><br>[m] | P <sub>y</sub><br>[m] |
|----|------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 621.60/0.00            | 1.40                  | -3.93                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 4.25                   | -1.30                 | -7.43                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 14.44                  | --                    | --                    |
|    | Reazione vincolare                             |           |          | -161.30                | 0.00                   | 0.00                  | -4.10                 |
| 6  | Spinta statica                                 | 283.23    | 22.67    | 261.35                 | 109.16                 | 2.80                  | -5.26                 |
|    | Peso/Inerzia muro                              |           |          | 0.00                   | 255.33/0.00            | -0.12                 | -5.67                 |
|    | Peso/Inerzia terrapieno                        |           |          | 0.00                   | 496.15/0.00            | 1.40                  | -3.93                 |
|    | Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle |           |          | 0.00                   | 3.27                   | -1.30                 | -7.43                 |
|    | Peso dell'acqua sulla fondazione di valle      |           |          |                        | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                  |
|    | Risultante forze sul muro                      |           |          | 0.00                   | 14.44                  | --                    | --                    |
|    | Reazione vincolare                             |           |          | -166.00                | 0.00                   | 0.00                  | -4.07                 |

## 10.2.8 Verifiche Geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

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

| Cmb                | Sismica | FS <sub>SCO</sub> | FS <sub>RIB</sub> | FS <sub>QLIM</sub> | FS <sub>STAB</sub> | FS <sub>HYD</sub> | FS <sub>UPL</sub> |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 - STR (A1-M1-R3) |         | 1.945             |                   | 23.405             |                    |                   |                   |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | H + V   | 1.445             |                   | 22.590             |                    |                   |                   |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | H - V   | 1.318             |                   | 27.416             |                    |                   |                   |
| 4 - STR (A1-M1-R3) |         | 2.223             |                   | 19.980             |                    |                   |                   |
| 5 - STR (A1-M1-R3) |         | 2.129             |                   | 20.459             |                    |                   |                   |
| 6 - STR (A1-M1-R3) |         | 2.039             |                   | 22.780             |                    |                   |                   |
| 7 - GEO (A2-M2-R2) |         |                   |                   |                    | 2.657              |                   |                   |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) | H + V   |                   |                   |                    | 1.978              |                   |                   |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) | H - V   |                   |                   |                    | 2.048              |                   |                   |
| 10 - EQU           |         |                   | 2.992             |                    |                    |                   |                   |
| 11 - EQU           | H + V   |                   | 1.963             |                    |                    |                   |                   |
| 12 - EQU           | H - V   |                   | 1.735             |                    |                    |                   |                   |

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

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

| n°                          | Rsa<br>[kN] | Rpt<br>[kN] | Rps<br>[kN] | Rp<br>[kN] | Rt<br>[kN] | R<br>[kN] | T<br>[kN] | FS    |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-------|
| 1 - STR (A1-M1-R3)          | 508.33      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 508.33    | 261.35    | 1.945 |
| 2 - STR (A1-M1-R3) H +<br>V | 705.04      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 705.04    | 488.07    | 1.445 |
| 3 - STR (A1-M1-R3) H -<br>V | 607.83      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 607.83    | 461.23    | 1.318 |
| 4 - STR (A1-M1-R3)          | 580.94      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 580.94    | 261.35    | 2.223 |
| 5 - STR (A1-M1-R3)          | 556.38      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 556.38    | 261.35    | 2.129 |
| 6 - STR (A1-M1-R3)          | 532.88      | 0.00        | 0.00        | --         | --         | 532.88    | 261.35    | 2.039 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

*Verifica a carico limite*

Simbologia adottata

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

| n°                          | N<br>[kN] | Qu<br>[kN] | Qd<br>[kN] | FS     |
|-----------------------------|-----------|------------|------------|--------|
| 1 - STR (A1-M1-R3)          | 819.43    | 19178.70   | 13699.07   | 23.405 |
| 2 - STR (A1-M1-R3) H +<br>V | 846.75    | 19127.97   | 13662.84   | 22.590 |
| 3 - STR (A1-M1-R3) H -<br>V | 658.54    | 18054.32   | 12895.94   | 27.416 |
| 4 - STR (A1-M1-R3)          | 1004.78   | 20075.08   | 14339.34   | 19.980 |
| 5 - STR (A1-M1-R3)          | 945.86    | 19351.70   | 13822.64   | 20.459 |
| 6 - STR (A1-M1-R3)          | 878.36    | 20008.88   | 14292.06   | 22.780 |

**Dettagli calcolo portanza**

Simbologia adottata

|            |                                                                                                                                                                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| n°         | Indice combinazione                                                                                                                                                                                   |
| Nc, Nq, Ny | Fattori di capacità portante                                                                                                                                                                          |
| ic, iq, iy | Fattori di inclinazione del carico                                                                                                                                                                    |
| dc, dq, dy | Fattori di profondità del piano di posa                                                                                                                                                               |
| gc, gq, gy | Fattori di inclinazione del profilo topografico                                                                                                                                                       |
| bc, bq, by | Fattori di inclinazione del piano di posa                                                                                                                                                             |
| sc, sq, sy | Fattori di forma della fondazione                                                                                                                                                                     |
| pc, pq, py | Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic                                                                                                                                                   |
| Re         | Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof                                                                                                                              |
| Ir, Irc    | Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic                                                                                                                                                    |
| ry         | Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore |
| D          | Affondamento del piano di posa, espresso in [m]                                                                                                                                                       |
| B'         | Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]                                                                                                                                                         |
| H          | Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]                                                                                                                                                         |
| $\gamma$   | Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]                                                                                                                                                 |
| $\phi$     | Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]                                                                                                                                                  |
| c          | Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]                                                                                                                                                         |

Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

| n° | Nc<br>Nq<br>Ny   | ic<br>iq<br>iy | dc<br>dq<br>dy | gc<br>gq<br>gy | bc<br>bq<br>by | sc<br>sq<br>sy | pc<br>pq<br>py | Ir       | Irc      | Re       | ry    |
|----|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|----------|----------|-------|
| 1  | 24.974<br>14.037 | 0.858<br>0.858 | 1.150<br>1.075 | --<br>--       | --<br>--       | 1.471<br>1.235 | --<br>--       | --<br>-- | --<br>-- | --<br>-- | 0.956 |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | Nc<br>Nq<br>Ny             | ic<br>iq<br>iy          | dc<br>dq<br>dy          | gc<br>gq<br>gy | bc<br>bq<br>by | sc<br>sq<br>sy          | pc<br>pq<br>py | Ir | Irc | Re | ry    |
|----|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----|-----|----|-------|
|    | 10.405                     | 0.577                   | 1.075                   | --             | --             | 1.235                   | --             |    |     |    |       |
| 2  | 24.974<br>14.037<br>10.405 | 0.807<br>0.807<br>0.445 | 1.150<br>1.075<br>1.075 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | 1.430<br>1.215<br>1.215 | --<br>--<br>-- | -- | --  | -- | 0.956 |
| 3  | 24.974<br>14.037<br>10.405 | 0.770<br>0.770<br>0.359 | 1.150<br>1.075<br>1.075 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | 1.435<br>1.218<br>1.218 | --<br>--<br>-- | -- | --  | -- | 0.956 |
| 4  | 24.974<br>14.037<br>10.405 | 0.878<br>0.878<br>0.630 | 1.150<br>1.075<br>1.075 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | 1.456<br>1.228<br>1.228 | --<br>--<br>-- | -- | --  | -- | 0.956 |
| 5  | 24.974<br>14.037<br>10.405 | 0.870<br>0.870<br>0.610 | 1.150<br>1.075<br>1.075 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | 1.475<br>1.238<br>1.238 | --<br>--<br>-- | -- | --  | -- | 0.956 |
| 6  | 24.974<br>14.037<br>10.405 | 0.867<br>0.867<br>0.601 | 1.150<br>1.075<br>1.075 | --<br>--<br>-- | --<br>--<br>-- | 1.450<br>1.225<br>1.225 | --<br>--<br>-- | -- | --  | -- | 0.956 |

| n° | D<br>[m] | B'<br>[m] | H<br>[m] | $\gamma$<br>[°] | $\phi$<br>[kN/mc] | c<br>[kPa] |
|----|----------|-----------|----------|-----------------|-------------------|------------|
| 1  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |
| 2  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |
| 3  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |
| 4  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |
| 5  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |
| 6  | 1.36     | 3.00      | 2.48     | 15.04           | 27.57             | 198        |

*Verifica a ribaltamento*

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

| n°             | Ms<br>[kNm] | Mr<br>[kNm] | FS    |
|----------------|-------------|-------------|-------|
| 10 - EQU       | 2776.00     | 927.93      | 2.992 |
| 11 - EQU H + V | 3979.22     | 2026.81     | 1.963 |
| 12 - EQU H - V | 3629.70     | 2092.56     | 1.735 |

*Verifica stabilità globale muro + terreno*

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione

C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]

R Raggio, espresso in [m]

FS Fattore di sicurezza

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| <b>Ic</b>                | <b>C</b><br>[m] | <b>R</b><br>[m] | <b>FS</b> |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 7 - GEO (A2-M2-R2)       | 0.00; 1.00      | 9.78            | 2.657     |
| 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V | 0.00; 1.80      | 10.55           | 1.978     |
| 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V | 0.00; 1.80      | 10.55           | 2.048     |



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**10.2.9 Sollecitazioni Paramento e Fondazione**

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione;

T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle;

M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte).

**10.2.9.1 Paramento**

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1  | 0.00     | 9.34                     | 14.44                    | 0.00                     | 3.08                     | -0.43                     | -0.33                     |
| 2  | -0.10    | 9.91                     | 15.30                    | 0.09                     | 5.02                     | -0.52                     | 0.01                      |
| 3  | -0.20    | 10.50                    | 16.21                    | 0.37                     | 7.03                     | -0.59                     | 0.54                      |
| 4  | -0.30    | 11.13                    | 17.15                    | 0.85                     | 9.08                     | -0.63                     | 1.27                      |
| 5  | -0.40    | 11.77                    | 18.13                    | 1.53                     | 11.18                    | -0.62                     | 2.20                      |
| 6  | -0.50    | 12.45                    | 19.15                    | 2.36                     | 13.34                    | -0.54                     | 3.34                      |
| 7  | -0.60    | 13.15                    | 20.21                    | 3.30                     | 15.56                    | -0.38                     | 4.69                      |
| 8  | -0.70    | 13.87                    | 21.31                    | 4.32                     | 17.82                    | -0.12                     | 6.26                      |
| 9  | -0.80    | 14.63                    | 22.45                    | 5.41                     | 20.14                    | 0.23                      | 8.05                      |
| 10 | -0.90    | 15.40                    | 23.62                    | 6.58                     | 22.51                    | 0.69                      | 10.07                     |
| 11 | -1.00    | 16.21                    | 24.84                    | 7.81                     | 24.93                    | 1.27                      | 12.33                     |
| 12 | -1.10    | 17.03                    | 26.09                    | 9.10                     | 27.41                    | 1.96                      | 14.82                     |
| 13 | -1.20    | 17.89                    | 27.39                    | 10.45                    | 29.94                    | 2.78                      | 17.56                     |
| 14 | -1.30    | 18.77                    | 28.72                    | 11.86                    | 32.53                    | 3.72                      | 20.54                     |
| 15 | -1.40    | 19.68                    | 30.09                    | 13.34                    | 35.16                    | 4.81                      | 23.78                     |
| 16 | -1.50    | 20.61                    | 31.50                    | 14.87                    | 37.85                    | 6.03                      | 27.28                     |
| 17 | -1.60    | 21.56                    | 32.95                    | 16.46                    | 40.60                    | 7.40                      | 31.05                     |
| 18 | -1.70    | 22.55                    | 34.44                    | 18.12                    | 43.39                    | 8.93                      | 35.08                     |
| 19 | -1.80    | 23.56                    | 35.97                    | 19.83                    | 46.24                    | 10.61                     | 39.38                     |
| 20 | -1.90    | 24.59                    | 37.54                    | 21.60                    | 49.14                    | 12.46                     | 43.97                     |
| 21 | -2.00    | 25.65                    | 39.15                    | 23.43                    | 52.10                    | 14.49                     | 48.84                     |
| 22 | -2.10    | 26.74                    | 40.79                    | 25.31                    | 55.11                    | 16.68                     | 54.00                     |
| 23 | -2.20    | 27.85                    | 42.48                    | 27.26                    | 58.17                    | 19.06                     | 59.45                     |
| 24 | -2.30    | 28.99                    | 44.20                    | 29.26                    | 61.28                    | 21.63                     | 65.21                     |
| 25 | -2.40    | 30.15                    | 45.96                    | 31.32                    | 64.45                    | 24.38                     | 71.27                     |
| 26 | -2.50    | 31.34                    | 47.76                    | 33.45                    | 67.67                    | 27.34                     | 77.64                     |
| 27 | -2.60    | 32.56                    | 49.60                    | 35.62                    | 70.94                    | 30.50                     | 84.32                     |
| 28 | -2.70    | 33.80                    | 51.48                    | 37.86                    | 74.27                    | 33.87                     | 91.32                     |
| 29 | -2.80    | 35.07                    | 53.40                    | 40.16                    | 77.65                    | 37.46                     | 98.65                     |
| 30 | -2.90    | 36.36                    | 55.36                    | 42.51                    | 81.08                    | 41.26                     | 106.31                    |
| 31 | -3.00    | 37.68                    | 57.36                    | -80.01                   | -17.50                   | 45.29                     | 114.31                    |
| 32 | -3.00    | 37.68                    | 57.36                    | -80.01                   | -17.50                   | 45.29                     | 114.31                    |
| 33 | -3.10    | 39.02                    | 59.39                    | -76.77                   | -15.03                   | 42.87                     | 106.26                    |
| 34 | -3.20    | 40.39                    | 61.47                    | -73.48                   | -12.50                   | 40.68                     | 98.56                     |
| 35 | -3.30    | 41.79                    | 63.58                    | -70.14                   | -9.92                    | 38.73                     | 91.20                     |
| 36 | -3.40    | 43.21                    | 65.73                    | -66.74                   | -7.27                    | 37.04                     | 84.21                     |
| 37 | -3.50    | 44.66                    | 67.93                    | -63.30                   | -4.57                    | 35.59                     | 77.57                     |
| 38 | -3.60    | 46.13                    | 70.16                    | -59.79                   | -1.81                    | 34.41                     | 71.30                     |
| 39 | -3.70    | 47.63                    | 72.43                    | -56.24                   | 1.01                     | 33.49                     | 65.40                     |
| 40 | -3.80    | 49.16                    | 74.74                    | -52.63                   | 3.88                     | 32.85                     | 59.88                     |
| 41 | -3.90    | 50.71                    | 77.08                    | -48.97                   | 6.82                     | 32.48                     | 54.74                     |
| 42 | -4.00    | 52.28                    | 79.47                    | -45.25                   | 9.81                     | 32.39                     | 49.98                     |
| 43 | -4.10    | 53.89                    | 81.90                    | -41.48                   | 12.86                    | 30.93                     | 45.62                     |
| 44 | -4.20    | 55.51                    | 84.36                    | -37.66                   | 15.97                    | 26.64                     | 41.65                     |
| 45 | -4.30    | 57.17                    | 86.87                    | -33.79                   | 19.13                    | 22.72                     | 41.44                     |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 46 | -4.40    | 58.85                    | 89.41                    | -29.86                   | 22.36                    | 19.18                     | 43.08                     |
| 47 | -4.50    | 60.55                    | 91.99                    | -25.88                   | 25.64                    | 16.02                     | 45.04                     |
| 48 | -4.60    | 62.28                    | 94.61                    | -21.85                   | 28.98                    | 13.25                     | 47.31                     |
| 49 | -4.70    | 64.04                    | 97.27                    | -17.76                   | 32.38                    | 10.89                     | 49.91                     |
| 50 | -4.80    | 65.82                    | 99.97                    | -194.97                  | -63.00                   | 8.92                      | 52.84                     |
| 51 | -4.80    | 65.82                    | 99.97                    | -194.97                  | -63.00                   | 8.92                      | 52.84                     |
| 52 | -4.90    | 67.61                    | 102.68                   | -190.54                  | -59.53                   | -10.12                    | 46.30                     |
| 53 | -5.00    | 69.42                    | 105.42                   | -186.05                  | -56.01                   | -28.77                    | 40.10                     |
| 54 | -5.10    | 71.25                    | 108.20                   | -181.51                  | -52.43                   | -47.00                    | 34.24                     |
| 55 | -5.19    | 73.11                    | 111.01                   | -176.92                  | -48.79                   | -64.83                    | 28.71                     |
| 56 | -5.29    | 75.00                    | 113.87                   | -172.27                  | -45.09                   | -82.24                    | 23.54                     |
| 57 | -5.39    | 76.91                    | 116.76                   | -167.58                  | -41.34                   | -99.23                    | 18.73                     |
| 58 | -5.49    | 78.85                    | 119.69                   | -162.83                  | -37.54                   | -115.79                   | 14.27                     |
| 59 | -5.59    | 80.81                    | 122.66                   | -158.04                  | -33.67                   | -131.92                   | 10.17                     |
| 60 | -5.69    | 82.79                    | 125.67                   | -153.19                  | -29.75                   | -147.62                   | 6.45                      |
| 61 | -5.79    | 84.80                    | 128.71                   | -148.29                  | -25.78                   | -162.88                   | 3.11                      |
| 62 | -5.89    | 86.84                    | 131.80                   | -143.33                  | -21.74                   | -177.70                   | 0.14                      |
| 63 | -5.98    | 88.90                    | 134.92                   | -138.33                  | -17.65                   | -192.06                   | -2.44                     |
| 64 | -6.08    | 90.99                    | 138.08                   | -133.27                  | -13.51                   | -205.97                   | -4.62                     |
| 65 | -6.18    | 93.10                    | 141.28                   | -128.23                  | -9.31                    | -219.42                   | -6.41                     |
| 66 | -6.28    | 95.24                    | 144.51                   | -123.36                  | -5.05                    | -232.41                   | -7.80                     |
| 67 | -6.38    | 97.40                    | 147.79                   | -118.45                  | -0.73                    | -244.92                   | -8.77                     |
| 68 | -6.48    | 99.58                    | 151.10                   | -113.48                  | 3.64                     | -256.96                   | -9.34                     |
| 69 | -6.58    | 101.80                   | 154.45                   | -108.47                  | 8.07                     | -268.52                   | -9.48                     |
| 70 | -6.68    | 104.03                   | 157.83                   | -103.40                  | 12.55                    | -279.60                   | -9.20                     |
| 71 | -6.77    | 106.30                   | 161.26                   | -98.28                   | 17.09                    | -290.19                   | -8.49                     |
| 72 | -6.87    | 108.58                   | 164.72                   | -93.11                   | 21.69                    | -300.28                   | -7.35                     |
| 73 | -6.97    | 110.90                   | 168.23                   | -87.88                   | 26.35                    | -309.87                   | -5.76                     |
| 74 | -7.07    | 113.23                   | 171.77                   | -82.61                   | 31.06                    | -318.96                   | -3.73                     |
| 75 | -7.37    | 120.40                   | 182.61                   | -66.47                   | 45.53                    | -343.15                   | 5.10                      |
| 76 | -7.47    | 122.83                   | 186.30                   | -60.99                   | 50.46                    | -350.17                   | 8.97                      |
| 77 | -7.56    | 125.30                   | 190.03                   | -55.45                   | 55.46                    | -356.66                   | 13.31                     |
| 78 | -7.66    | 127.79                   | 193.80                   | -49.87                   | 60.51                    | -362.62                   | 18.14                     |
| 79 | -7.76    | 130.30                   | 197.61                   | -44.23                   | 65.61                    | -368.04                   | 23.44                     |
| 80 | -7.86    | 132.84                   | 201.45                   | -38.54                   | 70.78                    | -372.91                   | 29.24                     |

Tabella 10-7 Elevazione – Inviluppo azioni allo SLV

### 10.2.9.2 Fondazione

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1  | -1.40    | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                      | 0.00                      |
| 2  | -1.30    | 0.00                     | 0.00                     | 6.20                     | 11.52                    | 0.31                      | 0.57                      |
| 3  | -1.20    | 0.00                     | 0.00                     | 12.88                    | 23.32                    | 1.26                      | 2.31                      |
| 4  | 0.00     | 0.00                     | 0.00                     | -15.84                   | 165.71                   | 66.23                     | 283.11                    |
| 5  | 0.10     | 0.00                     | 0.00                     | -11.54                   | 163.57                   | 63.70                     | 266.65                    |
| 6  | 0.20     | 0.00                     | 0.00                     | -7.72                    | 161.14                   | 60.76                     | 250.41                    |
| 7  | 0.30     | 0.00                     | 0.00                     | -1.38                    | 158.44                   | 61.21                     | 234.43                    |
| 8  | 0.40     | 0.00                     | 0.00                     | 4.48                     | 155.45                   | 61.05                     | 218.73                    |
| 9  | 0.50     | 0.00                     | 0.00                     | 9.85                     | 152.19                   | 60.01                     | 203.35                    |
| 10 | 0.60     | 0.00                     | 0.00                     | 14.74                    | 148.65                   | 58.18                     | 188.30                    |
| 11 | 0.70     | 0.00                     | 0.00                     | 19.14                    | 144.82                   | 55.99                     | 173.63                    |
| 12 | 0.80     | 0.00                     | 0.00                     | 23.06                    | 140.72                   | 53.49                     | 159.35                    |
| 13 | 0.90     | 0.00                     | 0.00                     | 26.50                    | 136.34                   | 50.71                     | 145.49                    |
| 14 | 1.00     | 0.00                     | 0.00                     | 29.46                    | 131.68                   | 47.71                     | 132.09                    |
| 15 | 1.10     | 0.00                     | 0.00                     | 31.93                    | 126.74                   | 44.51                     | 119.17                    |
| 16 | 1.20     | 0.00                     | 0.00                     | 33.92                    | 121.52                   | 40.47                     | 106.75                    |
| 17 | 1.30     | 0.00                     | 0.00                     | 35.05                    | 116.02                   | 36.45                     | 94.87                     |
| 18 | 1.40     | 0.00                     | 0.00                     | 35.55                    | 110.24                   | 32.52                     | 83.56                     |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| n° | X<br>[m] | N <sub>min</sub><br>[kN] | N <sub>max</sub><br>[kN] | T <sub>min</sub><br>[kN] | T <sub>max</sub><br>[kN] | M <sub>min</sub><br>[kNm] | M <sub>max</sub><br>[kNm] |
|----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 19 | 1.50     | 0.00                     | 0.00                     | 35.65                    | 104.18                   | 28.70                     | 72.83                     |
| 20 | 1.60     | 0.00                     | 0.00                     | 35.34                    | 97.84                    | 25.02                     | 62.87                     |
| 21 | 1.70     | 0.00                     | 0.00                     | 34.35                    | 91.23                    | 21.49                     | 54.00                     |
| 22 | 1.80     | 0.00                     | 0.00                     | 32.40                    | 84.33                    | 18.16                     | 45.60                     |
| 23 | 1.90     | 0.00                     | 0.00                     | 30.22                    | 77.16                    | 15.02                     | 37.72                     |
| 24 | 2.00     | 0.00                     | 0.00                     | 27.80                    | 69.85                    | 12.12                     | 30.42                     |
| 25 | 2.10     | 0.00                     | 0.00                     | 25.14                    | 63.16                    | 9.47                      | 23.77                     |
| 26 | 2.20     | 0.00                     | 0.00                     | 22.26                    | 55.88                    | 7.10                      | 17.81                     |
| 27 | 2.30     | 0.00                     | 0.00                     | 19.13                    | 48.02                    | 5.03                      | 12.61                     |
| 28 | 2.40     | 0.00                     | 0.00                     | 15.78                    | 39.58                    | 3.28                      | 8.23                      |
| 29 | 2.50     | 0.00                     | 0.00                     | 12.18                    | 30.56                    | 1.88                      | 4.71                      |
| 30 | 2.60     | 0.00                     | 0.00                     | 8.36                     | 20.95                    | 0.85                      | 2.13                      |
| 31 | 2.70     | 0.00                     | 0.00                     | 4.30                     | 10.77                    | 0.22                      | 0.54                      |
| 32 | 2.80     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                     | 0.00                      | 0.00                      |

Tabella 10-8 Spalla– Fondazione – Involuppo azioni allo SLV

**10.2.10 Verifiche strutturali**

**10.2.10.1 Paramento - Verifica per azioni sismiche (SLV)**

Caratteristiche della sezione:

*Sezione con placcaggio 100x120 cm*

Si ipotizza che l'armatura contro terra (generalmente maggiore) sia almeno pari all'armatura lato a vista.

|                    |              |                    |
|--------------------|--------------|--------------------|
| Armatura paramento | Lato a vista | Lato contro terra  |
|                    | Ø16/26       | Ø 16/26 (non nota) |

$N_d = 132.8 \text{ kN/m};$

$M_{d, \max} = 372.9 \text{ kNm/m};$

Si riporta la verifica a presso-flessione

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 120    | 1  | 7.73     | 3.8    |
|    |        |        | 2  | 7.73     | 116.2  |

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>   kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

Materiali

| ACC                                    | CLS                   |
|----------------------------------------|-----------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67.5 ‰                 | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰   |
| $f_{yd}$ 388.8 N/mm <sup>2</sup>       | $\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰ |
| $E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>        | $f_{cd}$ 13.15        |
| $E_s/E_c$ 15                           | $f_{cc}/f_{cd}$ 0.8   |
| $\epsilon_{syd}$ 1.944 ‰               | $\sigma_{c,adm}$ 9.75 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup> | $\tau_{co}$ 0.6       |
|                                        | $\tau_{c1}$ 1.829     |

$\sigma_c$  -13.15 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  388.8 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2.491 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
d 116.2 cm  
x 4.136 x/d 0.03559  
 $\delta$  0.7

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
 Precompresso

Il rapporto capacità/domanda a presso-flessione, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                                 |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| M <sub>C</sub> | M <sub>D</sub> | M <sub>C</sub> / M <sub>D</sub> |
| (kNm/m)        | (kNm/m)        |                                 |
| 421.0          | 372.9          | 1.13                            |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**Verifica a taglio**

La capacità resistente a taglio è stata valutata mediante la formula riportata al paragrafo C8A.8.6.5 della circolare n°617 del 02/02/2009 che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$$

| Calcolo del taglio resistente     |         |                    |                                                                      |                                  |
|-----------------------------------|---------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| B =                               | 1000    | mm                 | Base                                                                 |                                  |
| H =                               | 1200    | mm                 | Altezza                                                              |                                  |
| d' =                              | 38      | mm                 | Dist. asse armatura long.                                            |                                  |
| d =                               | 1162    | mm                 | Altezza utile della sezione (d = H - d')                             |                                  |
| A <sub>C</sub> =                  | 1071600 | mmq                | Area del nucleo confinato                                            |                                  |
| k =                               | 0.29    | MPa                | Parametro k = k(μ <sub>A</sub> ) di degrado ciclico del calcestruzzo |                                  |
| A <sub>sw</sub> /s =              | 0       | mm <sup>2</sup> /m | Area armatura trasversale                                            |                                  |
| f <sub>c</sub> =                  | 10.8    | MPa                | Resistenza di calcolo del cls per elementi fragili                   |                                  |
| f <sub>y, st</sub> =              | 388.8   | MPa                | Resistenza di calcolo dell'acciaio per elementi fragili              |                                  |
| N =                               | 132.8   | kN                 | Sforzo assiale                                                       |                                  |
| L <sub>s</sub> =                  | 5269    | mm                 | Luce di Taglio                                                       |                                  |
| x =                               | 41.36   | mm                 | Posizione dell'asse neutro                                           |                                  |
| $V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c}$       |         | =                  | 817.9 kN                                                             |                                  |
| $V_N = N \frac{h-x}{2L_s}$        |         | =                  | 14.1 kN                                                              |                                  |
| $V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$    |         | =                  | 0.0 kN                                                               |                                  |
| $V_u = V_c + V_N + V_s$           |         | =                  | 832.0 kN                                                             | SLU                              |
| $V_{SLV/SLC} = V_u / \gamma_{el}$ |         | =                  | 665.6 kN                                                             | con $\gamma_{el} = 1.25$ SLV/SLC |

Il rapporto capacità/domanda a taglio, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                                 |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| V <sub>C</sub> | V <sub>D</sub> | V <sub>C</sub> / V <sub>D</sub> |
| (kN/m)         | (kN/m)         |                                 |
| 665.6          | 70.78          | <b>9.40</b>                     |

### 10.2.10.2 Fondazione - Verifica per azioni sismiche (SLV)

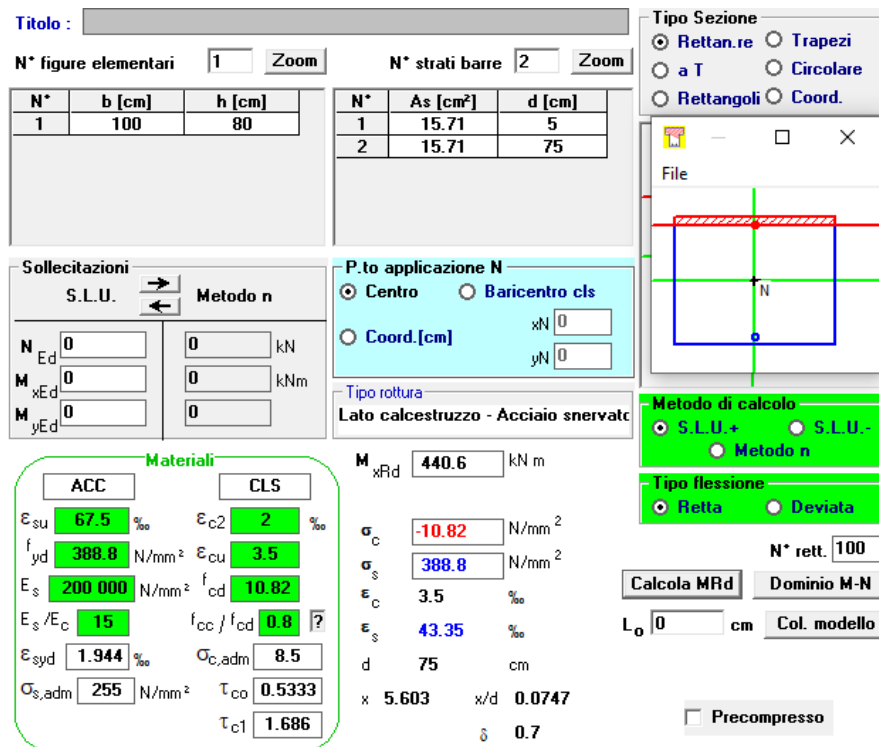
Caratteristiche della sezione:

Sezione 100x80 cm

|                        |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|
| Armatura<br>fondazione | Inferiore | Superiore |
|                        | Ø 20/20   | Ø 20/20   |

$M_{max}=283.1$  kNm/m;

Si riporta la verifica a flessione:



**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom      N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 80     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 15.71    | 5      |
| 2  | 15.71    | 75     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U.      Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
 Centro     Baricentro cls  
 Coord.[cm]    xN   
yN

**Materiali**

| ACC                        | CLS                   |
|----------------------------|-----------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67.5 ‰     | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰   |
| $f_{yd}$ 388.8 N/mm²       | $\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰ |
| $E_s$ 200 000 N/mm²        | $f_{cd}$ 10.82        |
| $E_s / E_c$ 15             | $f_{cc} / f_{cd}$ 0.8 |
| $\epsilon_{syd}$ 1.944 ‰   | $\sigma_{c,adm}$ 8.5  |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | $\tau_{co}$ 0.5333    |
|                            | $\tau_{c1}$ 1.686     |

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+     S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta     Devia

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**

M<sub>xRd</sub>  kNm

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  43.35 ‰  
d 75 cm  
x 5.603    x/d 0.0747  
 $\delta$  0.7

N° rett.   
Calcola MRd    Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm    Col. modello  
 Precompresso

Il rapporto capacità/domanda a flessione, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                                 |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| M <sub>C</sub> | M <sub>D</sub> | M <sub>C</sub> / M <sub>D</sub> |
| (kNm/m)        | (kNm/m)        |                                 |
| 440.6          | 283.1          | 1.56                            |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

**Verifica a taglio**

La capacità resistente a taglio è stata valutata mediante la formula riportata al paragrafo C8A.8.6.5 della circolare n°617 del 02/02/2009 che fornisce la resistenza come somma dei contributi del calcestruzzo, dello sforzo normale e delle armature trasversali:

$$V_u = V_c + V_N + V_s \quad V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c} \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s} \quad V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$$

| Calcolo del taglio resistente     |        |                    |                                                                      |       |    |                                  |
|-----------------------------------|--------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|----|----------------------------------|
| B =                               | 1000   | mm                 | Base                                                                 |       |    |                                  |
| H =                               | 800    | mm                 | Altezza                                                              |       |    |                                  |
| d' =                              | 50     | mm                 | Dist. asse armatura long.                                            |       |    |                                  |
| d =                               | 750    | mm                 | Altezza utile della sezione (d = H - d')                             |       |    |                                  |
| A <sub>C</sub> =                  | 662400 | mm <sup>2</sup>    | Area del nucleo confinato                                            |       |    |                                  |
| k =                               | 0.29   | MPa                | Parametro k = k(μ <sub>Δ</sub> ) di degrado ciclico del calcestruzzo |       |    |                                  |
| A <sub>sw</sub> /s =              | 0      | mm <sup>2</sup> /m | Area armatura trasversale                                            |       |    |                                  |
| f <sub>c</sub> =                  | 10.8   | MPa                | Resistenza di calcolo del cls per elementi fragili                   |       |    |                                  |
| f <sub>y,st</sub> =               | 388.8  | MPa                | Resistenza di calcolo dell'acciaio per elementi fragili              |       |    |                                  |
| N =                               | 0      | kN                 | Sforzo assiale                                                       |       |    |                                  |
| L <sub>s</sub> =                  | 0      | mm                 | Luce di Taglio                                                       |       |    |                                  |
| x =                               | 56.03  | mm                 | Posizione dell'asse neutro                                           |       |    |                                  |
| $V_c = 0.8A_c k \sqrt{f_c}$       |        |                    | =                                                                    | 505.6 | kN |                                  |
| $V_N = N \frac{h-x}{2L_s}$        |        |                    | =                                                                    | 0.0   | kN |                                  |
| $V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$    |        |                    | =                                                                    | 0.0   | kN |                                  |
| $V_u = V_c + V_N + V_s$           |        |                    | =                                                                    | 505.6 | kN | SLU                              |
| $V_{SLV/SLC} = V_u / \gamma_{el}$ |        |                    | =                                                                    | 404.5 | kN | con $\gamma_{el} = 1.25$ SLV/SLC |

Il rapporto capacità/domanda a taglio, per azioni sismiche allo SLV, vale:

| SLV            |                |                                 |
|----------------|----------------|---------------------------------|
| V <sub>C</sub> | V <sub>D</sub> | V <sub>C</sub> / V <sub>D</sub> |
| (kN/m)         | (kN/m)         |                                 |
| 404.5          | 165.71         | <b>2.44</b>                     |

**10.2.11 Verifiche dei tiranti passivi**

L'intervento prevede l'inserimento di due ordini di tiranti passivi ad interasse 3,0 m passanti da parte a parte rispetto ai muri andatori paralleli (si veda elaborato grafico dello specifico intervento).

Le caratteristiche dei tiranti sono le seguenti:

Tabella 10-9 Caratteristiche tiranti passivi tipo Dywidag acciaio 835/1035

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Ordine | N° tiranti | Inclinazione | N° barre | Diametro barra | Interasse |
|--------|------------|--------------|----------|----------------|-----------|
| [n]    | [n]        | [°]          | [n]      | [mm]           | [m]       |
| I      | 5          | 0.0          | 1        | Ø 40           | 3.0       |
| II     | 5          | 0.0          | 1        | Ø 40           | 3.0       |

**Dettagli di calcolo**

Nel modello di calcolo i tiranti passivi sono stati modellati come vincoli sul paramento. Si riportano a seguire i valori maggiori delle reazioni su di essi, per unità di lunghezza del muro, ottenuti per la combinazione 2.

| n°   | X [m] | Y [m] | Rx [kN]   | Ry [kN] |
|------|-------|-------|-----------|---------|
| 1    | -0.62 | -3.00 | -163.8579 | 0.0000  |
| 2    | -0.84 | -4.80 | -187.5017 | 0.0000  |
| TOT. |       |       | -351.3596 | 0.0000  |

**Verifica a trazione della barra**

Si esegue la verifica a trazione della barra, adottando come azione di progetto la massima reazione vincolare ottenuta:

|                                                                      |                                           |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $N_{Ed} = 187.5 \text{ kN/m} \times 3 \text{ m} = 562.5 \text{ m}$   | Sforzo normale agente sul singolo tirante |
| $N_{pl,Rd} = f_{yd} \cdot \pi \cdot \Phi_b^2 / 4 = 912.4 \text{ kN}$ | Resistenza a trazione di calcolo          |
| $f_{yk} = 835 \text{ MPa}$                                           | Tensione di snervamento dell'acciaio      |
| $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 795.2 \text{ MPa}$                     | Resistenza di progetto                    |
| $N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0.62 \leq 1$                                   | <b>Verifica soddisfatta</b>               |



### 10.2.12 Verifica travi di ripartizione

I cordoli in acciaio (S355), per la ripartizione delle azioni dei tiranti, sono costituiti da num. 2 HEB 200 accoppiati. La verifica strutturale della trave di ripartizione può essere condotta ipotizzando uno schema di calcolo equivalente di trave continua soggetta a forze concentrate poste in corrispondenza dei tiranti (di valore pari al tiro massimo di esercizio e direzione pari al tirante di riferimento) ed un carico distribuito  $q$  pari alla reazione della paratia. Imponendo l'equilibrio della trave, la reazione esplicitata dalla paratia per contrasto con il terreno è  $q = 187.5$  kN/m.

Il momento massimo della trave di ripartizione in corrispondenza dei tiranti, posizionati ad un interasse di 3 m, può essere posto pari al momento massimo di una trave continua su più appoggi, come di seguito riportato:

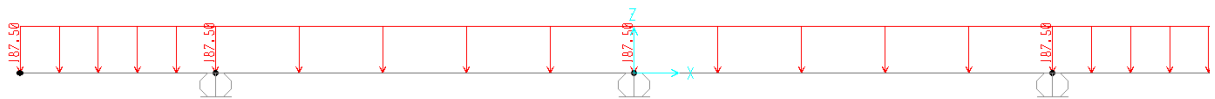


Figura 10-5 Schema di calcolo

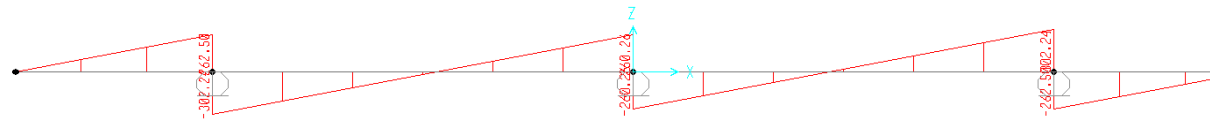


Figura 10-6 Diagramma del taglio

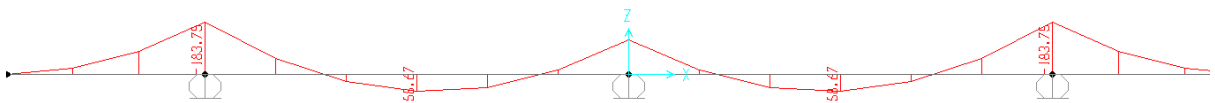


Figura 10-7 Diagramma dei momenti flettenti

#### Verifica a flessione

$$M_{pl,Rd} = 2 \times W_{pl} f_{yk} / \gamma_{M0} = 434.0 \text{ kNm};$$

in cui

$$W_{pl} = 1285 \text{ cm}^3;$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa};$$

$$\gamma_{M0} = 1.05.$$

$$M_{Ed} = 187.75 \text{ kNm};$$

$$\text{Risulta: } M_{pl,Rd} / M_{Ed} = 2.31 > 1.00$$

Verifica soddisfatta.

#### Verifica a taglio

$$V_{c,Rd} = 2 \times A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 969.0 \text{ kN};$$

in cui

$$A_v = 50 \text{ cm}^2;$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa};$$

$$\gamma_{M0} = 1.05.$$

$$V_{Ed} = 302.2 \text{ kN}$$

$$\text{Risulta: } V_{c,Rd} / V_{Ed} = 3.21 > 1.00$$

Verifica soddisfatta.

### 10.3 INTERVENTO DI ARRETRAMENTO PARAGHIAIA

La realizzazione del sistema di isolamento dell'impalcato implica l'ampliamento dei giunti di spalla (in accordo con §7.10.4.4 delle NTC'08) e quindi l'arretramento del muro paraghiaia.

Infatti, i giunti di separazione tra l'impalcato e la sottostruttura devono essere dimensionati in modo da permettere il corretto funzionamento del sistema d'isolamento, senza impedimenti al libero spostamento delle parti isolate.

Il muro paraghiaia viene quindi demolito e ricostruito con un arretramento di 30cm in modo da ricavare un varco di ampiezza adeguata in corrispondenza del giunto.

Il nuovo paraghiaia ha uno spessore di 30cm ed è armato a flessione con barre  $\Phi 20/20''$  su entrambe le facciate.

Calcolo delle Sollecitazioni sul paraghiaia:

|                    |                                         |  |              |
|--------------------|-----------------------------------------|--|--------------|
| Peso Paraghiaia    | altezza                                 |  | 1.55 m       |
|                    | Spessore                                |  | 0.30 m       |
|                    | Peso                                    |  | 11.63 kN/m   |
|                    | xg par.                                 |  | 0.00 m       |
| Spinta terreno     | altezza                                 |  | 1.55 m       |
|                    | Peso per unità di volume ( $\gamma t$ ) |  | 19.0 kN/mc   |
|                    | Angolo d'attrito ( $\phi'$ )            |  | 34.0 gradi   |
|                    | Coeff. Spinta a Riposo                  |  | 0.441        |
|                    | spinta                                  |  | 10.1 kN/m    |
|                    | zg spinta terreno                       |  | 0.52 m       |
|                    | Momento                                 |  | 5.2 kN*m/m   |
| Spinta sovracc.    | altezza                                 |  | 1.55 m       |
|                    | carico accidentale                      |  | 40 kN/mq     |
|                    | Coeff. Spinta a Riposo                  |  | 0.441        |
|                    | Spinta                                  |  | 27.3 kN/m    |
|                    | zg accid.                               |  | 0.78 m       |
|                    | Momento                                 |  | 21.2 kN*m/m  |
| Frenatura sul par. | Azione Verticale                        |  | 300 kN       |
|                    | azione Orizzontale                      |  | 180 kN       |
|                    | larghezza ruota                         |  | 0.4 m        |
|                    | n° corsie                               |  | 3            |
|                    | coeff. carichi:                         |  | 2.00         |
|                    | ripartizione carico                     |  | 5.5 m        |
|                    | azione Vert. unitaria                   |  | 54.5 kN/m    |
|                    | azione Orizz. unitaria                  |  | 65.5 kN/m    |
|                    | momento unitario                        |  | 101.5 kN*m/m |

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

|                        |                       |  |            |
|------------------------|-----------------------|--|------------|
| Sisma SLV              | ag/g                  |  | 0.283      |
|                        | $S = S_S \times S_T$  |  | 1.000      |
|                        | kh masse e rinterro   |  | 0.283      |
|                        | kv masse e rinterro   |  | 0.142      |
| Inerzia Paragh.        | inerzia orizzontale   |  | 3.29 kN/m  |
|                        | zg par.               |  | 0.78 m     |
|                        | inerzia verticale     |  | 1.64 kN/m  |
|                        | Momento               |  | 2.5 kNm/m  |
| Inerzia Terreno retro. | larghezza terr. retro |  | 2.68 m     |
|                        | inerzia orizzontale   |  | 22.38 kN/m |
|                        | zg terr.              |  | 0.78 m     |
|                        | Momento               |  | 17.3 kNm/m |
| Incr. Spinta sis.      | altezza               |  | 2.68 m     |
| Wood                   | $\gamma t$            |  | 19.0 kN/mc |
|                        | $a_{max}/g=a_g/gS$    |  | 0.283      |
|                        | $\beta_m$             |  | 1.00       |
|                        | Kh                    |  | 0.283      |
|                        | Increm. Spinta Sis    |  | 38.75 kN/m |
|                        | zg incremento         |  | 1.34 m     |
|                        | Momento               |  | 52.0 kNm/m |

Combinazioni di carico:

| A1 - STR | N    | Mln   | Vln   |
|----------|------|-------|-------|
|          | [kN] | [kNm] | [kN]  |
| U1       | 15.7 | 35.6  | 50.5  |
| U3       | 89.3 | 43.4  | 116.7 |
| A1 - STR | N    | Mln   | Vln   |
|          | [kN] | [kNm] | [kN]  |
| U8, LN + | 12.1 | 77.1  | 74.5  |
| U8, LN - | 11.1 | 77.1  | 74.5  |
| SLE      | N    | Mln   | Vln   |
|          | [kN] | [kNm] | [kN]  |
| Rara     | 66.2 | 32.1  | 86.4  |
| Freq.    | 11.6 | 13.7  | 21.0  |
| Q.P.     | 11.6 | 5.2   | 10.1  |

**VERIFICHE AGLI SLU**

Massima azione flettente alla base del paraghiaia:  $M_{Ed} = 77.1 \text{ kNm/m}$ ;

Massimo taglio alla base del paraghiaia:  $V_{Ed} = 116.7 \text{ kN/m}$ .

Dettagli di armatura del nuovo paraghiaia:

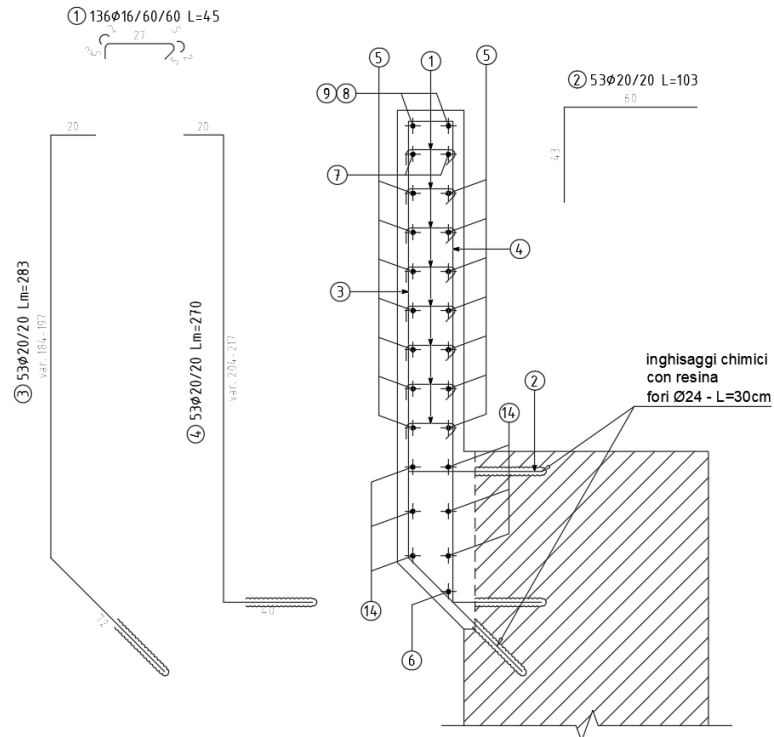


Figura 10.8 Dettagli armatura paraghiaia

**Verifica a Momento flettente**



CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO

| Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio |                              |              |             |                     |              |                              |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|------------------------------|
| <b>Resistenza a taglio</b>                              |                              |              |             |                     |              |                              |
| $K = 1 + (200/d)^{1/2}$                                 | $k =$                        | 1.89         | $\leq 2$    |                     |              |                              |
| $\rho_l = A_{s1}/(b_w \times d)$                        | $\rho_l =$                   | 0.0063       | $\leq 0.02$ |                     |              |                              |
| Tens. media compr. sez. $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_C$      | $\sigma_{cp} =$              | 0.000        | MPa         | $\leq 0,2 f_{cd} =$ | 3.76         | MPa                          |
| $V_{min} = 0,035 \times K^{1,5} \times f_{ck}^{0,5}$    | $V_{min} =$                  | 0.526        | MPa         |                     |              |                              |
| $V_{Rd}$                                                | $V_{Rd} =$                   | 156.4        | kN          |                     |              |                              |
| $V_{Rd,min} = (V_{min} + 0,15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$ | $V_{Rd,min} =$               | 131.5        | kN          |                     |              |                              |
| <b>Resistenza a Taglio</b>                              | <b><math>V_{Rd} =</math></b> | <b>156.4</b> | <b>kN</b>   | <b>&gt;</b>         | <b>116.7</b> | <b>= <math>V_{Ed}</math></b> |
| <b>Esito Verifica</b>                                   |                              |              |             |                     |              |                              |
| $V_{Rd} \geq V_{Ed}$                                    | Verifica soddisfatta         |              |             |                     |              |                              |

Figura 10.10 Verifica taglio paraghiaia

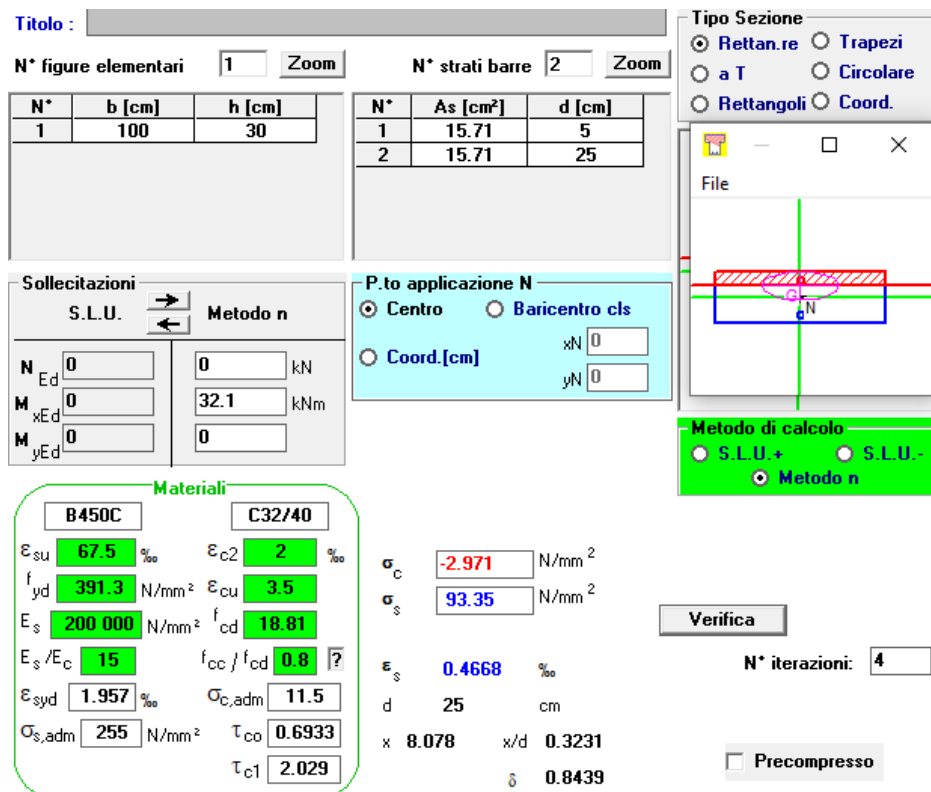
Il taglio agente  $V_{sd}$  è minore del taglio resistente  $V_{rd} \rightarrow 116.7 < 156.4$  kN

Le verifiche di resistenza a flessione e taglio risultano soddisfatte

**VERIFICHE AGLI SLE**

Verifiche tensioni di esercizio

Combinazione Rara



**Titolo :** [ ]

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 15.71    | 5      |
|    |        |        | 2  | 15.71    | 25     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

**P.to applicazione N**  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Materiali**  
B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6933  
 $\tau_{c1}$  2.029

$\sigma_c$  -2.971 N/mm²  
 $\sigma_s$  93.35 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.4668 ‰  
d 25 cm  
x 8.078 x/d 0.3231  
 $\delta$  0.8439

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

$\sigma_c = 2.97 \text{ MPa} < 19.92 \text{ MPa} = 0.6 f_{ck}$

---

**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

$$\sigma_s = 93.4 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} = 0.8 \text{ } f_{yk}$$

La tensione del cls è inferiore anche alla massima tensione in condizioni quasi permanenti (0.45 fck)

Verifiche a fessurazione

Dati i bassi tassi tensionali nelle verifiche in condizioni rare, le verifiche a fessurazione (frequente e quasi permanente) risultano soddisfatte.

### 10.4 INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE CORDOLI IN TESTA AI MURI ANDATORI

Al fine di uniformare la larghezza dei cordoli con quelli del nuovo impalcato ( $b = 75 \text{ cm}$ ), e di accogliere le barriere di protezione, i cordoli esistenti in testa ai muri andatori vengono demoliti per poi essere ricostruiti con le nuove geometrie. L'intervento prevede anche il rinforzo della parte alta del muro andatore con ispessimento della sezione resistente e inserimento di ulteriori armature al fine di resistere all'azione dell'urto del veicolo in svio.

Viene considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera. Tale sistema di forze è rappresentato nella figura successiva:

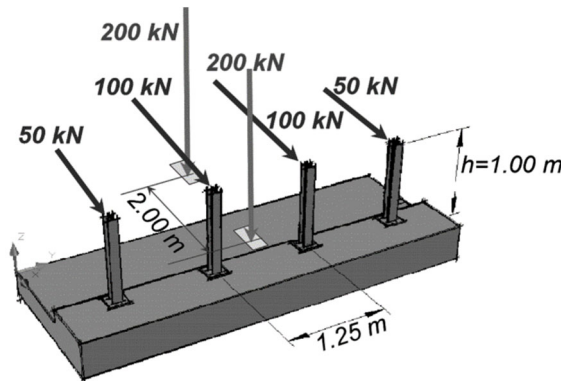
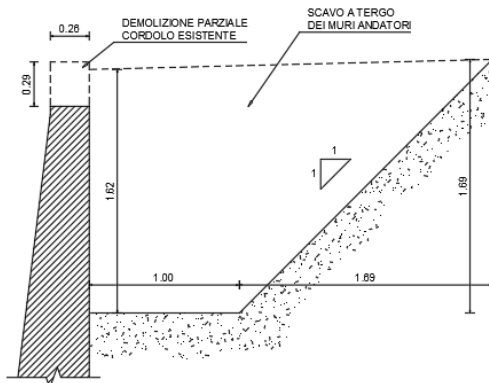


Figura 10.11- Sistema di forze equivalenti

L'intervento previsto è rappresentato nella figura successiva:

**INTERVENTO SU MURI ANDATORI**  
**SEZIONE TRASVERSALE- CARPENTERIA**  
scala 1:20



**INTERVENTO SU MURI ANDATORI**  
**SEZIONE TRASVERSALE- ARMATURA**  
scala 1:20

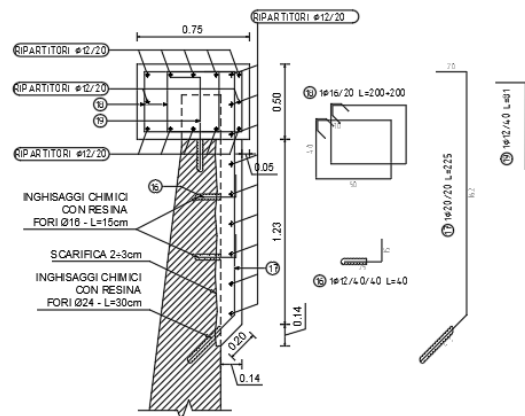


Figura 10.12- Intervento cordoli in testa ai muri andatori

Per maggiori dettagli si vedano i relativi elaborati grafici.



### 10.4.1 Verifica testa del muro andatore

Si effettua una verifica locale della testa del muro andatore soggetto al sistema di forze equivalenti riportato al paragrafo precedente e alla spinta del terreno in corrispondenza della sezione di verifica.  
Per la combinazione di carico in presenza di azioni eccezionali si considerano coefficienti moltiplicativi unitari.

Si ottiene:

Massima azione flettente:  $M_{Ed} = 142.7 \text{ kNm/m}$ ;

Massimo taglio:  $V_{Ed} = 116.9 \text{ kN/m}$ .

Dettagli di armatura di intervento:

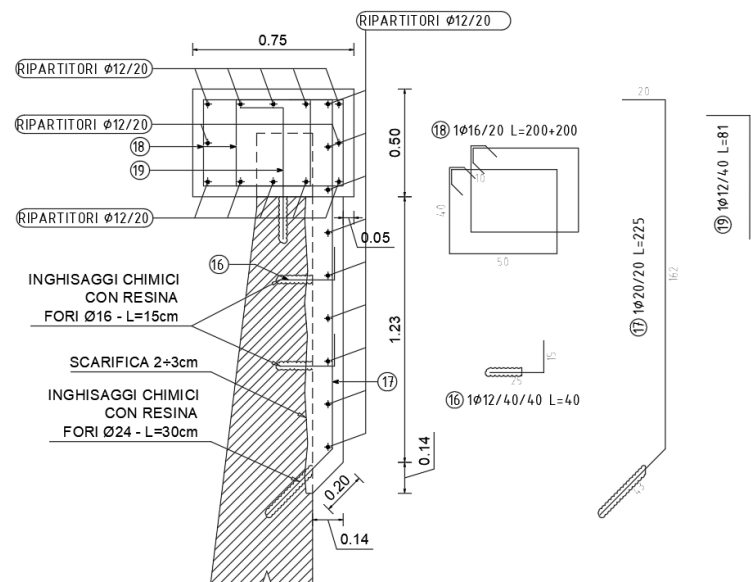


Figura 10.11 Dettagli armatura intervento in testa ai muri andatori

### Verifica a Momento flettente

La sezione minima di verifica è spessa 40 cm; si esegue la verifica su una sezione rettangolare di dimensioni 100 x 40 cm.

A vantaggio di sicurezza si considera un carico assiale di compressione nullo.

CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 40     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7.73     | 3.8    |
| 2  | 15.71    | 35     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>   kNm

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

| ACC                                    | CLS                   |
|----------------------------------------|-----------------------|
| $\epsilon_{su}$ 67.5 ‰                 | $\epsilon_{c2}$ 2 ‰   |
| $f_{yd}$ 388.8 N/mm <sup>2</sup>       | $\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰ |
| $E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>        | $f_{cd}$ 13.15        |
| $E_s / E_c$ 15                         | $f_{cc} / f_{cd}$ 0.8 |
| $\epsilon_{syd}$ 1.944 ‰               | $\sigma_{c,adm}$ 9.75 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup> | $\tau_{co}$ 0.6       |
|                                        | $\tau_{c1}$ 1.829     |

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  22.39 ‰  
d 35 cm  
x 4.731 x/d 0.1352  
 $\delta$  0.7

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

N° rett.   
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Figura 10.12 Verifica a flessione del paraghiaia

Il momento agente  $M_{sd}$  è minore del momento resistente  $M_{rd} \rightarrow 142.7 < 199.8$  kN

Verifica a Taglio

| Geometria        |                             |            |       |                 |
|------------------|-----------------------------|------------|-------|-----------------|
| <u>Sezione</u>   | Larghezza minima sezione    | $b_w =$    | 1000  | mm              |
|                  | Altezza sezione             | $H =$      | 400   | mm              |
|                  | Copriferro netto            | $c =$      | 40    | mm              |
|                  | Dist. asse armatura long.   | $c' =$     | 50    | mm              |
|                  | Altezza utile sezione       | $d =$      | 350   | mm              |
|                  | Area cls                    | $A_c =$    | 4000  | cm <sup>2</sup> |
| <u>Arm.Long.</u> | Armatura longitudinale tesa | $A_{sl} =$ | 15.71 | cm <sup>2</sup> |



**CAVALCAVIA AL KM 0+000 – INTERVENTI SPALLE - RELAZIONE DI CALCOLO**

| Verifica a Tranciamento |                                   |       |     |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|-------|-----|-----------------------------------|
|                         | $V_{Ed} =$                        | 100   | kN  | Forza d'urto                      |
|                         | $B =$                             | 1.20  | m   | Diffusione dell'urto              |
|                         | $n^{\circ} \text{barre} =$        | 1.5   |     | $n^{\circ}$ barre considerate     |
|                         | $V_{Rd,1b} =$                     | 71.0  | kN  | Taglio resistente singola barra   |
|                         | $V_{Rd} =$                        | 106.5 | kN  | Taglio resistente totale          |
|                         | $V_{Rd} / V_{Ed} =$               | 1.06  |     | Rapporto Capacità/Domanda         |
| Verifica a Flessione    |                                   |       |     |                                   |
|                         | Si trascura il contributo del cls |       |     |                                   |
|                         | $V_{Ed} =$                        | 100   | kN  | Forza d'urto                      |
|                         | $b_E =$                           | 1.61  | m   | braccio della forza d'urto        |
|                         | $M_{Ed} =$                        | 161.0 | kNm | Momento flettente dovuto all'urto |
|                         | $TR_{Rd} \text{ 1barra} =$        | 122.9 | kN  | Trazione resistente singola barra |
|                         | $b_R =$                           | 0.315 | m   | braccio delle forze interne       |
|                         | $N^{\circ} b =$                   | 4.5   |     | $n^{\circ}$ barre considerate     |
|                         | $M_{Rd} =$                        | 174.3 | kNm | Momento resistente                |
|                         | $M_{Rd} / M_{Ed} =$               | 1.08  |     | Rapporto Capacità/Domanda         |

Le verifiche risultano soddisfatte

## 11 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state illustrate le verifiche geotecniche e strutturali, per azioni sismiche, delle fondazioni esistenti a seguito degli interventi di adeguamento sismico previsti per il cavalcavia in oggetto.

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza delle spalle è stato quantificato attraverso il rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  definito dalle NTC e introdotto al § C.8.3 può essere minore dell'unità ma, per le costruzioni di classe IV il valore di  $\zeta_E$  a seguito degli interventi di adeguamento deve risultare  $\geq 1.0$ .

Pertanto, si conclude che, a seguito degli interventi effettuati sulle spalle, l'opera risulta sismicamente adeguata.