

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO

COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.  
CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI

SL02 Nuovo sottopasso al km 8+015

Relazione di calcolo muri delle rampe

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I Z 0 9    0 0    D    2 6    C L    S L 0 2 0 0    0 0 2    A

| Rev. | Descrizione          | Redatto   | Data       | Verificato | Data       | Approvato    | Data       | Autorizzato Data        |
|------|----------------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------------------|
| A    | Emissione definitiva | F. Serrau | Sett. 2019 | C. Laporta | Sett. 2019 | S. Lo Presti | Sett. 2019 | F. Sacchi<br>Sett. 2019 |
|      |                      |           |            |            |            |              |            |                         |
|      |                      |           |            |            |            |              |            |                         |
|      |                      |           |            |            |            |              |            |                         |
|      |                      |           |            |            |            |              |            |                         |

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Det. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 231/22 Sp.A.

File: IZ0900D26CLSL0200002A

n. Elab.:

## *INDICE*

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INTRODUZIONE .....   | 6  |
| 1.1.   | Muro ad U .....  | 6  |
| 1.2.   | Muri di sostegno.....  | 7  |
| 2.     | NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                                       | 9  |
| 3.     | PARAMETRI GEOTECNICI .....   | 10 |
| 4.     | MATERIALI .....  | 11 |
| 4.1.   | Calcestruzzo .....   | 11 |
| 4.2.   | Acciaio da armatura ordinaria.....                                   | 12 |
| 5.     | CODICE DI CALCOLO – MURO AD U .....                                  | 13 |
| 6.     | MODELLO DI CALCOLO .....   | 14 |
| 6.1.   | Geometria.....   | 14 |
| 6.2.   | Modellazione dell’interazione suolo-struttura .....                  | 16 |
| 7.     | ANALISI DEI CARICHI .....  | 18 |
| 7.1.   | Peso proprio della struttura (DEAD).....                             | 18 |
| 7.2.   | Carichi permanenti portati (PERM).....                               | 18 |
| 7.3.   | Pavimentazione stradale (PAV STRAD) .....                            | 19 |
| 7.4.   | Spinta sulle pareti dovuta al terreno (STSX e STDX) .....            | 19 |
| 7.5.   | Carichi variabili dal traffico (ACC1) .....                          | 20 |
| 7.5.1. | Definizione delle corsie convenzionali.....                          | 21 |
| 7.5.2. | Definizione dei carichi concentrati Tandem.....                      | 21 |
| 7.6.   | Spinta sui piedritti dovuto al carico accidentale (SASX e SADX)..... | 23 |
| 7.7.   | Azioni sismiche.....   | 23 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 7.7.1. | Sovraspinta sismica del terreno (SISX).....                | 25 |
| 7.7.2. | Forze sismiche orizzontali (INERZIEH).....                 | 26 |
| 7.7.1. | Forze sismiche verticali (SISVER).....                     | 27 |
| 8.     | carichi elementari e loro combinazioni.....                | 29 |
| 8.1.   | Condizioni di carico elementari .....                      | 29 |
| 8.2.   | Combinazioni di carico per sezioni di verifica .....       | 29 |
| 9.     | RISULTATI , ANALISE E VERIFICHE .....                      | 31 |
| 9.1.   | Sollecitazioni.....  | 31 |
| 9.2.   | Verifiche .....  | 38 |
| 9.3.   | Verifica del piedritto .....                               | 39 |
| 9.3.1. | Sezione 1 .....  | 39 |
| 9.3.2. | Sezione 2 .....  | 45 |
| 9.3.3. | Sezione 3 .....  | 51 |
| 9.4.   | Verifica della soletta inferiore.....                      | 57 |
| 9.4.1. | Sezione 4 .....  | 57 |
| 9.4.2. | Sezione 5 .....  | 63 |
| 10.    | Riepilogo armature – muro ad u .....                       | 69 |
| 11.    | METODO DI CALCOLO – MURI DI SOSTEGNO.....                  | 70 |
| 11.1.  | Condizioni di spinta sul muro in condizioni statiche ..... | 70 |
| 11.2.  | Condizioni di spinta sul muro in condizioni sismiche ..... | 73 |
| 11.3.  | Verifiche geotecniche .....                                | 76 |
| 11.4.  | Verifiche strutturali.....                                 | 76 |
| 12.    | AZIONI SISMICHE .....                                      | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>13. SOFTWARE DI CALCOLO</b> .....   | 82  |
| <b>13.1. Caratteristiche geotecniche del terreno</b> .....   | 82  |
| <b>13.2. Analisi dei carichi</b> .....   | 84  |
| <b>13.2.1. Carichi permanenti:</b> .....   | 84  |
| <b>13.2.2. Sovraccarico accidentale:</b> .....   | 84  |
| <b>13.3. Forze inerziali</b> .....   | 84  |
| <b>14. COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....  | 85  |
| <b>15. VERIFICHE</b> .....   | 88  |
| <b>15.1. Caratteristiche dei materiali utilizzati nelle verifiche</b> .....  | 88  |
| <b>15.2. Muro di sostegno (TIPO 1)</b> .....   | 88  |
| <b>15.2.1. Verifiche geotecniche</b> .....   | 88  |
| <b>15.2.2. Verifiche geotecniche in condizione statica</b> .....   | 90  |
| <b>15.2.3. Verifiche geotecniche allo scorrimento e a carico limite della fondazione in condizione sismica</b> ..... | 95  |
| <b>15.2.4. Verifiche geotecniche al ribaltamento condizione sismica</b> .....  | 103 |
| <b>15.3. Verifiche SLU condizione statica e sismica</b> .....  | 108 |
| <b>15.4. Verifiche strutturali SLE</b> .....   | 113 |
| <b>15.4.1. Verifiche a fessurazione</b> .....  | 113 |
| <b>15.4.2. Verifiche tensionali</b> .....  | 117 |
| <b>15.5. Muro di sostegno (TIPO 2)</b> .....   | 121 |
| <b>15.5.1. Verifiche geotecniche</b> .....   | 121 |
| <b>15.5.2. Verifiche geotecniche in condizione statica</b> .....   | 122 |

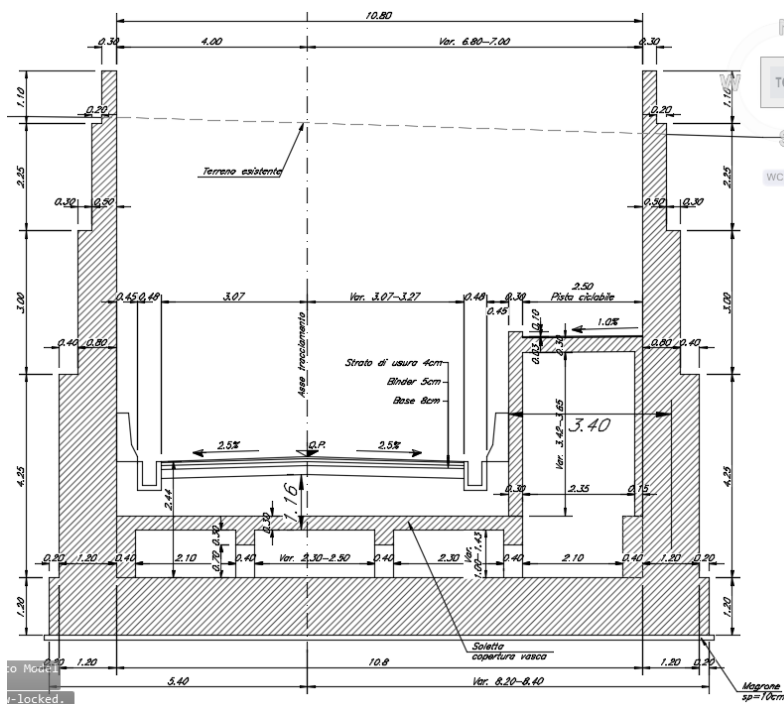
|                |  |     |
|----------------|--|-----|
| <b>15.5.3.</b> | <i>Verifiche geotecniche allo scorrimento e del carico limite della fondazione in condizione sismica</i> ..... | 128 |
| <b>15.5.4.</b> | <i>Verifiche geotecniche al ribaltamento in condizione sismica</i> .....                                       | 136 |
| <b>15.6.</b>   | <b>Verifiche SLU per combinazione statica e sismica</b> .....  | 142 |
| <b>15.7.</b>   | <b>Verifiche strutturali SLE</b> .....   | 146 |
| <b>15.7.1.</b> | <i>Verifiche a fessurazione</i> .....  | 146 |
| <b>15.7.2.</b> | <i>Verifiche tensionali</i> .....  | 150 |
| <b>16.</b>     | <b>RIEPILOGO ARMATURE – MURO DI SOSTEGNO</b> .....   | 153 |
| <b>16.1.</b>   | <b>Tipo 1</b> .....  | 153 |
| <b>16.2.</b>   | <b>Tipo 2</b> .....  | 153 |

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del muro ad U in prosecuzione del sottopasso SL02 .

### 1.1. Muro ad U

La struttura in esame viene gettata in opera ed ha uno sviluppo longitudinale nei due lati del sottopasso pari a 37.88m nel lato ovest suddiviso in conci da 17m e 20.88m, e 53.12m nel lato est ed è suddiviso in conci da 23.60m, 14.52m e 15m. Il muro ha un'altezza variabile da 6.35m a 10.60m e una larghezza variabile da 10.80m a 11.30m. Per la verifica del muro si considera il caso più cautelativo dato dalla sezione con dimensioni interne B x H = 10.8 x 10.60m dove i primi 1.10m sono considerati come parapetto. La soletta inferiore ha uno spessore di 1.20 m, mentre i piedritti hanno un spessore variabile lungo l'altezza pari a 1.20 m per i primi 4.25m dall'estradosso della soletta inferiore, 0.8m per i 3m di altezza successiva ed uno spessore di 0.50m per i successivi 2.25m di altezza. Il parapetto di altezza pari a 1.1m ha una spessore di 30cm.



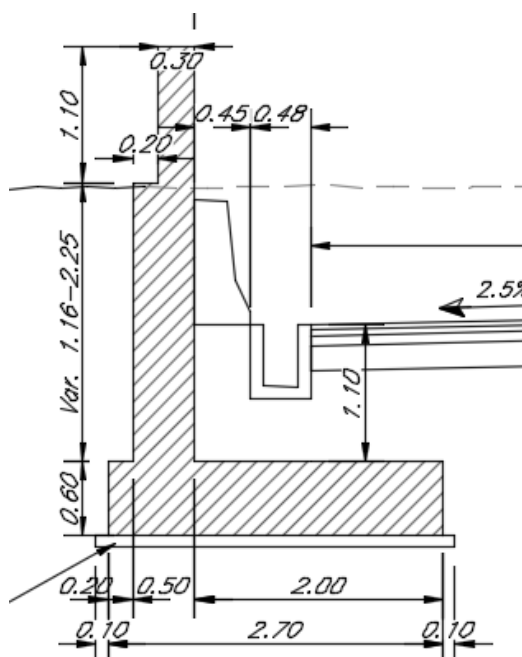
**Figura 1: Sezione trasversale**

## 1.2. Muri di sostegno

Le strutture in esame vengono gettate in opera e si utilizzano per completare le rampe di entrata e uscita del sottopasso SL02. I muri di sostegno hanno uno sviluppo longitudinale pari a 89.60m nel lato ovest e 85.35m nel lato est e sono suddivisi in conci in differente lunghezza. L'altezza dei muri è variabile da 2.33m a 6.35m con i primi 1.10m con funzione di parapetto non considerati per l'altezza di verifica.

I muri sono suddivisi in due tipologie. Nella prima tipologia sono considerati i muri con altezza da 2.33m a 3.35m e nella seconda tipologia sono considerati i muro con altezza da 3.35m a 6.35m.

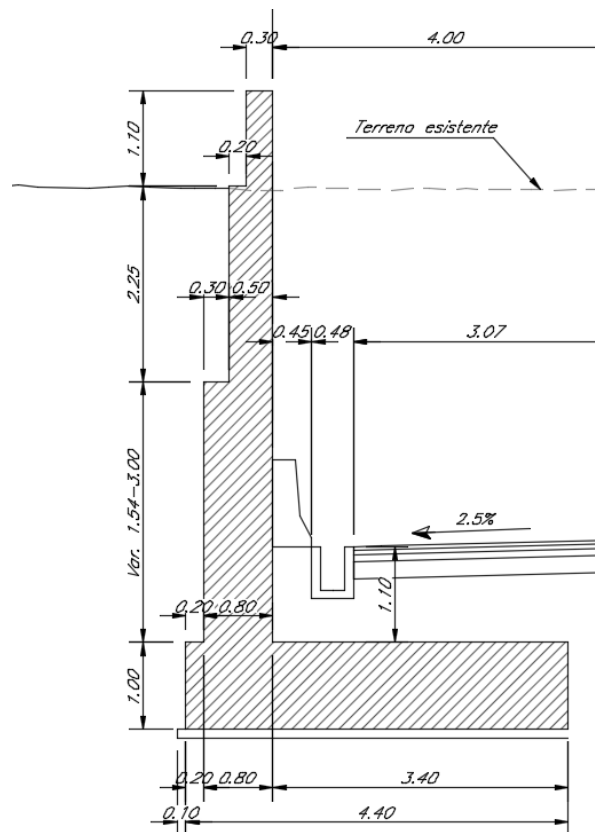
- **Tipo 1:** Muro di sostegno con altezza massima 3.35m. Parapetto di spessore pari a 0.30m. Sezione di verifica all'estradosso fondazione di spessore pari a 0.50m, zattera di fondazione di larghezza pari 2.70m e spessore 0.60m, come da figura seguente.



**Figura 2: Sezione trasversale ( muro di sostegno Tipo 1)**

- **Tipo 2:** Muro di sostegno con altezza massima 6.35m. Parapetto di spessore pari a 0.30m. Sezione di verifica all'estradosso fondazione di spessore pari a 0.80m per i primi 3.0m e spessore di 0.50cm per i

successivi 2.25m di altezza, zattera di fondazione di larghezza pari 4.40m e spessore 1.0m, come da figura seguente.



**Figura 3: Sezione trasversale ( muro di sostegno Tipo 2)**



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- D.M. del 17.01.2018 “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*” (NTC 2018)
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “*Nuove norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. del 17.01.2018
  - *Manuale di progettazione RFI DTC SI PS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 2;*
  - *Manuale di progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 3;*
- EN 1991-2 “*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi*”.
- EN 1997-1 “*Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali*”.
- Regolamento (UE) n.1299/2014 del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “*infrastruttura*” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 10 di 153 |

### 3. PARAMETRI GEOTECNICI

**MODELLO GEOTECNICO 1 - Modello geotecnico generale**

Indagini geognostiche  
Sondaggio S2-2015  
Prova Down Hole nel sondaggio S2 -2015  
ERT PD 4  
MASW PD 2 - 2019  
Sondaggio BH1-2019  
MASW BH1 - 2019  
ERT1 - 2015  
ERT2 - 2015  
ERT3 - 2015

Quota falda di progettazione +39,20m slm  
Quota sommità profilo Da +56,00 m slm a +73,00m slm

| ID | Descrizione                   | z iniz (m da p.c.) | z fin (m da p.c.) | Spessore (m) | z media (m da p.c.) | Densità relativa Dr (%) | Peso dell'unità di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ | Coeseione efficace $c'$ (MPa) | Modulo elastico di Young Eop (MPa) |
|----|-------------------------------|--------------------|-------------------|--------------|---------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Sabbia limosa / limo sabbioso | 0                  | 1,5               | 1,5          | 0,75                | 40                      | 18  | 32                                     | 0                             | 25 (*)                             |
| 2  | Ghiaia sabbiosa con ciottoli  | 1,5                | 30                | 28,5         | 14,25               | 75                      | 20  | 38(**)                                 | 0                             | 65                                 |

NOTE  
(\*) Da prove geofisiche  
(\*\*) Valore cautelativo definito sulla base delle prove in sito

|                  | Categoria sottosuolo |
|------------------|----------------------|
| MASW BH1 - 2019  | B                    |
| MASW PD 2 - 2019 | B                    |
| REMI BH 1        | B                    |
| REMI PD 2        | B                    |
| DH S2            | B                    |

**caratteristiche sismiche opera**

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Categoria di sottosuolo | B  |
| Categoria topografica   | T1 |
| VN                      | 75 |
| Cu                      | 1  |
| Classe d'Uso            | II |

Per il materiale di riempimento dell'opera sono state considerate le seguenti caratteristiche di resistenza:

Angolo di attrito  $\phi' = 35^\circ$

Coeseione  $c' = 0$

peso unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

## 4. MATERIALI

### 4.1. Calcestruzzo

- PIEDRITTI E MURI DI SOSTEGNO

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC4-XF2-XD1

Classe di resistenza = C2

Copriferro minimo = 50mm

- FONDAZIONE

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = XC2

Classe di resistenza = G2

Copriferro minimo = 50 mm

- MAGRONE:

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 12 di 153 |

#### **4.2. Acciaio da armatura ordinaria**

Acciaio tipo B450 C

Resistenza di calcolo  $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391$  MPa

Modulo elastico  $E_s = 200$  GPa

## 5. CODICE DI CALCOLO – MURO AD U

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il software Sap 2000 v, prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley.

SAP2000 è un programma di calcolo agli elementi finiti pensato fondamentalmente per l'ingegneria civile. Ha caratteristiche molto versatili, tanto da rientrare nella categoria dei programmi cosiddetti "generalisti", capaci cioè di analizzare strutture con caratteristiche molto diverse tra loro.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi °
- angoli: gradi sessadecimali.

## 6. MODELLO DI CALCOLO

### 6.1. Geometria

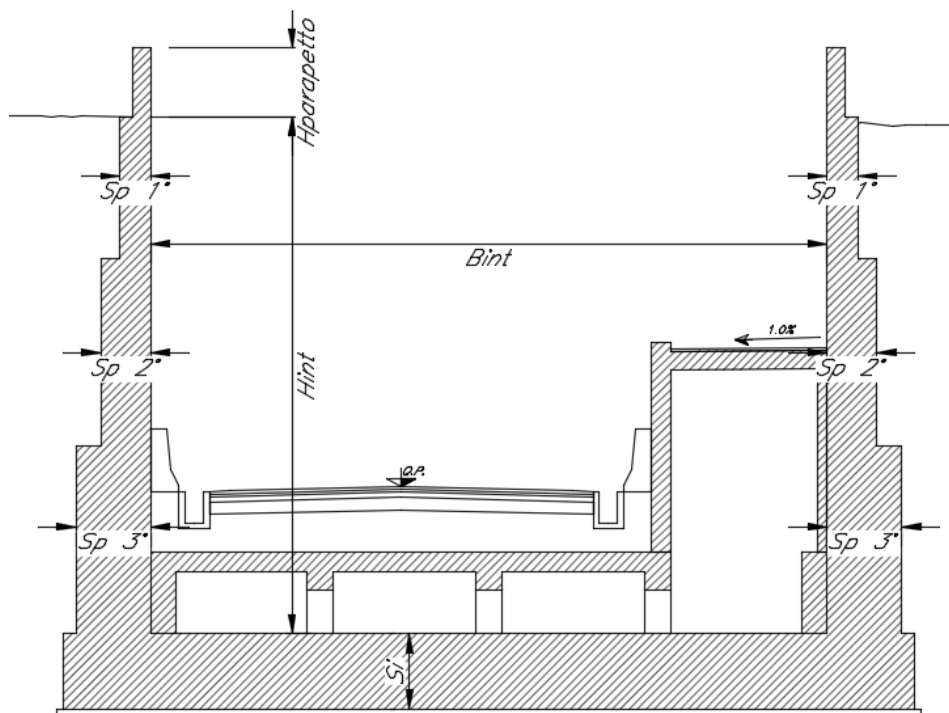


Figura 4: Geometria dell'opera

#### **Piedritti**

##### **Nr scalettature**

2

##### 1° scalettatura

Altezza muro h 2,25 m netto

Spessore t 0,50 m

##### 2° scalettatura

Altezza muro h 3,00 m netto

Spessore t 0,80 m

##### 3° scalettatura

Altezza muro h 4,25 m netto

Spessore t 1,20 m

#### **Fondazione**

Spessore t 1,20 m

larghezza b 10,80 m netto

lunghezza L 1,00 m

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200002

A

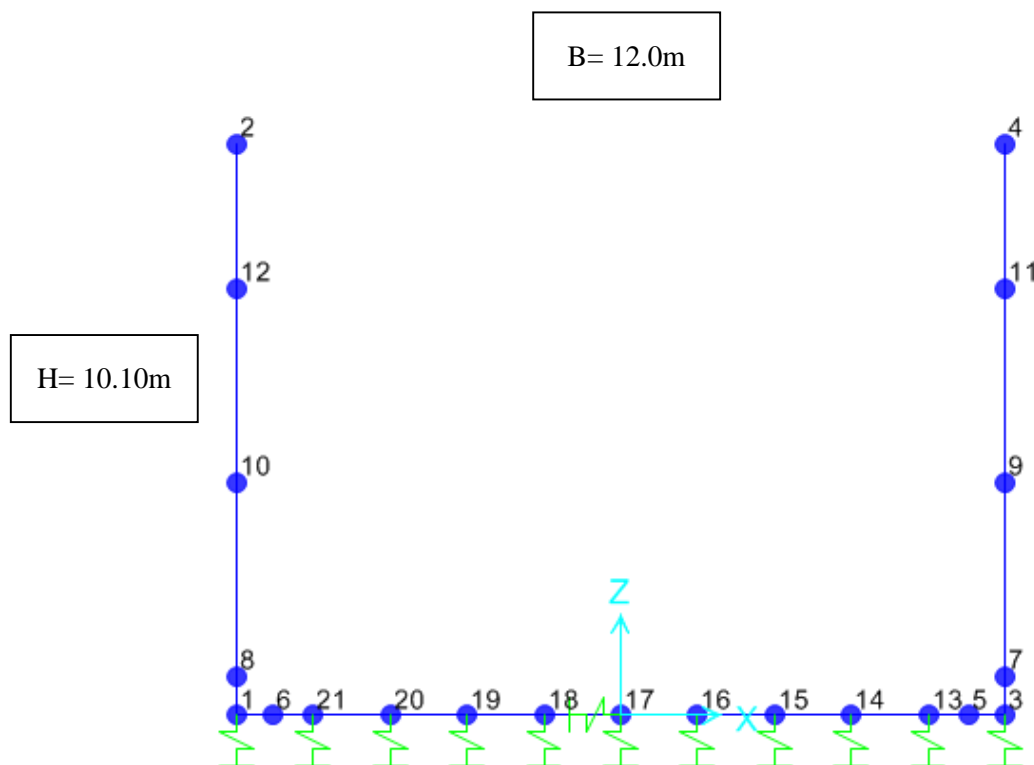
15 di 153

Le analisi per il calcolo delle sollecitazioni agenti sono state condotte su una “fetta” di struttura di 1.00 m.

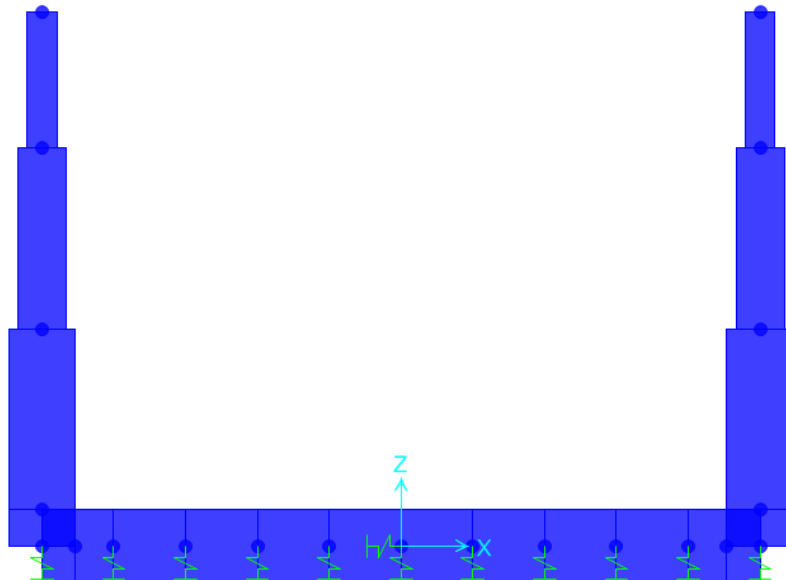
Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello di telaio piano chiuso che poggia su un letto di molle alla Winkler.

Nella modellazione vengono impiegati elementi finiti di tipo trave a 6 GL, che ovviamente nell’analisi 2D condotta (telaio piano) si riducono a 3. Ai suddetti elementi sono assegnate le caratteristiche inerziali della struttura reale derivanti dalle proprietà dei materiali e dalla geometria della sezione.

La geometria del modello ricalca la linea baricentrica degli elementi costituenti l’opera (modello in asse), pertanto alle intersezioni delle aste viene applicato un offset rigido che tiene conto delle dimensioni effettive delle sezioni degli elementi, in modo da tener conto delle effettive luci della struttura.



**Figura 5: Numerazione dei nodi nel modello strutturale**



**Figura 6: Vista estrusa del modello strutturale**

## 6.2. Modellazione dell'interazione suolo-struttura

Il suolo viene modellato facendo ricorso all'usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler.

### **Terreno di fondazione**

|  |    |          |                          |
|--|----|----------|--------------------------|
| Modulo di Young                        | E  | 65000,00 | kN/m <sup>2</sup>        |
| numero di molle                        | n  | 11,00    | Per njesi gjatesie       |
| costante molla                         | kv | 15478    | kN/m <sup>3</sup> (Vogt) |
| distanza intradosso fondazione da p.c. |    | 10,10    | m                        |

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura.

Considerando un numero fisso e pari ad 11 di molle elastiche, la caratteristica elastica della generica molla viene calcolata attraverso la formulazione di Vogt:

$$k_s = \frac{1.33 \cdot E}{\sqrt[3]{bt^2 \cdot bl}}$$

-  $K_s$  = costante di sottofondo [F/L<sup>3</sup>]

-  $bt$  = 9.20 m dimensione trasversale dell'opera



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 17 di 153 |

- bl = 1.00 m dimensione longitudinale dell'opera (il modello del calcolo è effettuato al metro)

- E = modulo di Young del terreno

Nella presente relazione si adotta un modulo di reazione verticale  $K_v = 15478 \text{ kN/m}^3$

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle, ottenendo per le 5 molle centrali un valore di:

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10$$

$$K_7, K_8, K_9, K_{10}, K_{11} = 18573.64 \text{ kN/m}$$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K_1 = K_3 = 2 * K_s * [(L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10/2 + (L_p/2)] = 37147.27 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 5,6,12 e 13 si assumono:

$$K_5 = K_6 = K_{12} = K_{13} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 27860.46 \text{ kN/m}$$

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

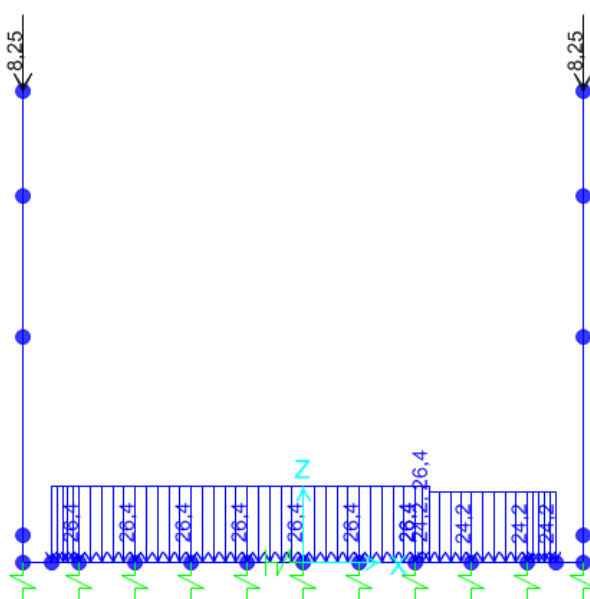
### 7.1. Peso proprio della struttura (DEAD)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

### 7.2. Carichi permanenti portati (PERM)

Sul solettone inferiore si considera un carico permanente pari a  $26.4 \text{ kN/m}$  (spessore medio  $1.20 \text{ m}$  e  $\gamma_{med} = 22,00 \text{ kN/m}^3$ ) dovuto alla presenza del riempimento, pista ciclabile, canaletta idraulica ecc.

Sulla testa dei piedritti e agente un carico concentrato dovuta al parapetto con dimensioni  $1.10 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  e  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

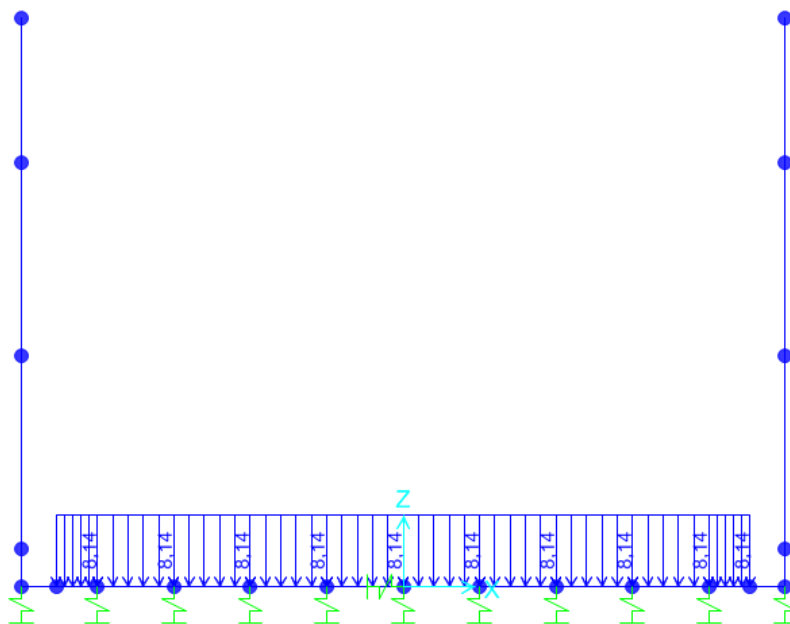


**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 19 di 153 |

### 7.3. Pavimentazione stradale (PAV STRAD)

Si considera un spessore di 0.37m della pavimentazione stradale con  $\gamma_{med} = 22\text{kN/m}^3$ .



### 7.4. Spinta sulle pareti dovuta al terreno (STSX e STDX)

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo con:

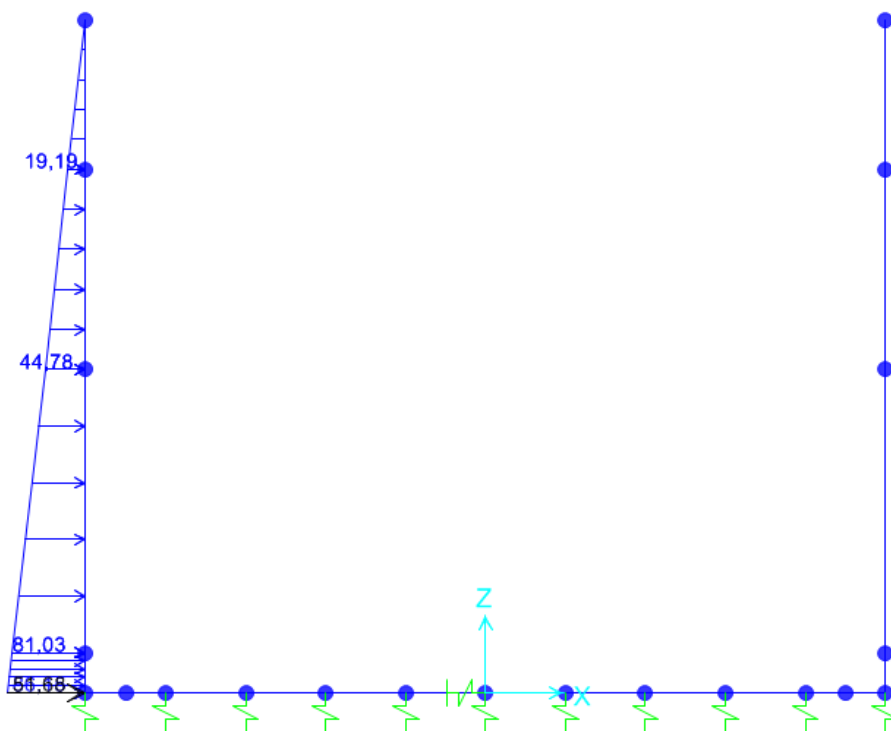
#### Terreno ai lati dello scatolare

|                          |          |       |                   |
|--------------------------|----------|-------|-------------------|
| peso per unità di volume | $\gamma$ | 20,00 | kN/m <sup>3</sup> |
| angolo d'attrito         | $\phi$   | 35,00 | °                 |
| Ko ---->                 |          | 0,426 |                   |

|                        |           |       |      |  |
|------------------------|-----------|-------|------|--|
| Spinta terreno ai lati | STDX/STSX | 0,00  | kN/m | Spinta orizzontale del terreno -Applicare in testa |
|                        | STDX/STSX | 86,14 | kN/m | Spinta orizzontale del terreno-Applicare su piede  |

In più, viene aggiunto, come carico concentrato nei di estremità del piedritto la parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e quello agente su metà spessore della soletta inferiore.

|                        |           |       |      |
|------------------------|-----------|-------|------|
| Spinta terreno ai lati | STDX/STSX | 51,68 | kN/m |
|------------------------|-----------|-------|------|

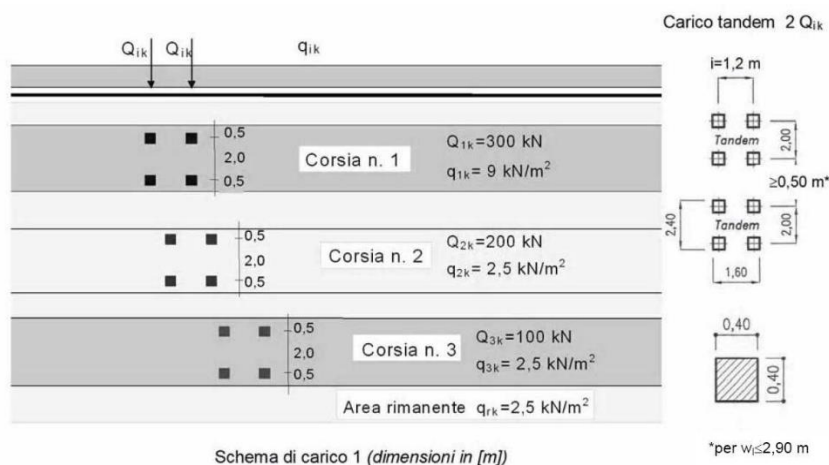


### 7.5. Carichi variabili dal traffico (ACC1)

In conformità alla normativa di riferimento (N.T.C.2008 §5.1.3.3), si prendono in considerazione i carichi mobili per ponti di 1° categoria di seguito riportati:

- prima colonna di carico costituita da due carichi assiali  $Q1k = 300kN$  e un carico uniformemente distribuito  $q1k = 9kN/m^2$  su una larghezza convenzionale pari a 3.00m;
- seconda colonna di carico, analoga alla precedente, ma con carichi rispettivamente pari a  $Q2k = 200kN$  e  $q2k = 2.5kN/m^2$ ;
- terza colonna di carico, analoga alla precedente, ma con carichi rispettivamente pari a  $Q3k = 100kN$  e  $q3k = 2.5kN/m^2$ ;
- quarta colonna di carico e/o area rimanente costituita da un carico uniformemente distribuito pari a  $q_{rk} = 2.5kN/m^2$ .

I valori dei carichi stradali forniti dalle vigenti NTC08 sono già comprensivi degli incrementi di natura dinamica. La dimensione delle impronte dei carichi tandem e la loro posizione relativa sono:



**Figura 7 – NTC08- schema di carico 1**

### **7.5.1. Definizione delle corsie convenzionali**

In relazione alle dimensioni della carreggiata sono state considerate n° 2 “corsie convenzionali” da 3m.

I sovraccarichi mobili sono considerati nelle diverse disposizioni longitudinali e trasversali atte a generare le massime sollecitazioni nelle sezioni di verifica.

I valori dei carichi stradali forniti dalle vigenti NTC08 sono già comprensivi degli incrementi di natura dinamica.

### **7.5.2. Definizione dei carichi concentrati Tandem**

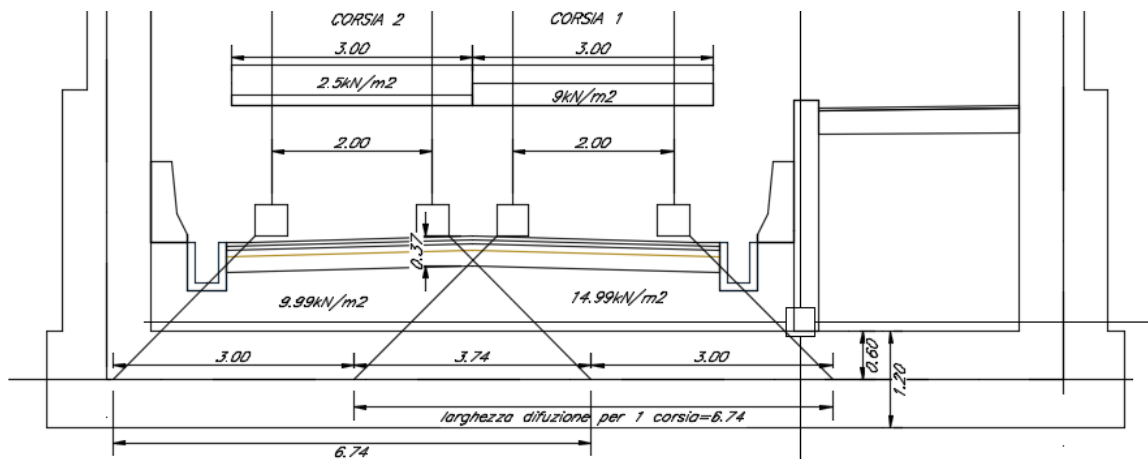
Sulla fondazione del muro si applica un carico uniformemente distribuito dovuto al traffico stradale. Il valore del carico viene definito dopo la distribuzione degli carichi tandem sul rilevato stradale presente tra i muri laterali, al quale li si aggiunge anche la parte del carico distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup>.

Per massimizzare gli effetti del carico mobile in termini di sollecitazioni flettenti e taglio sugli elementi strutturali, sono state definite due distinte configurazioni di carico (ACC1, ACC2).

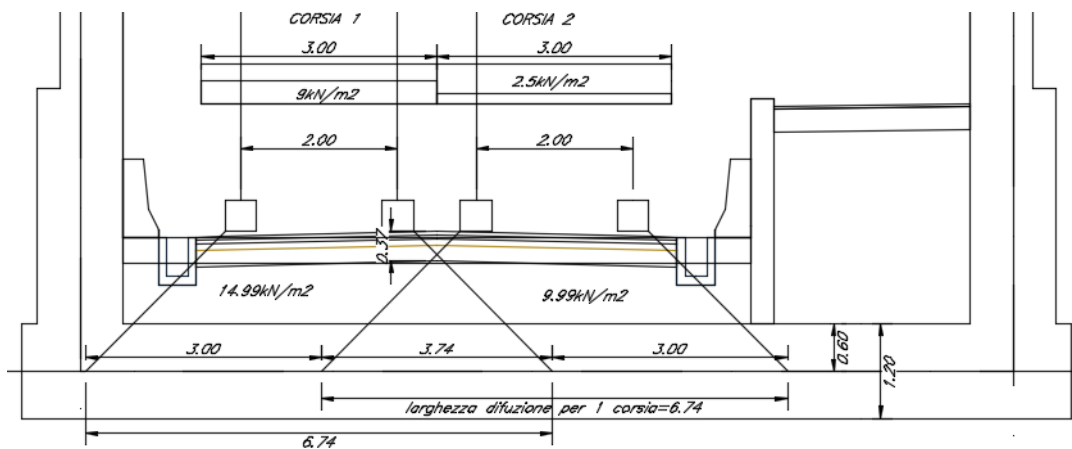
La prima, denominata ACC1, massimizza il momento flettente sul appoggio di solaio inferiore della struttura; si ottiene disponendo i carichi tandem di entrambe le corsie convenzionali disposte

affiancate e centrate rispetto l'asse di simmetria verticale della struttura. Ai carichi tandem si sovrappone il carico distribuito di intensità pari a 9.00 kN/m<sup>2</sup> sulla corsia 1 e 2.50 kN/m<sup>2</sup> sulla corsia 2.

La configurazione ACC2 massimizza il momento flettente sul mezzera di solaio inferiore della struttura; le corsie convenzionali sono disposte affiancate ed allineate con il filo interno del piedritto sinistro. Ai carichi tandem si sovrappone il carico distribuito di intensità pari a 9.00 kN/m<sup>2</sup> sulla corsia 1 e pari a 2.5 kN/m<sup>2</sup> sulla corsia 2.



**Figura 8: Schema di distribuzione del carico mobile considerato ACC1**



**Figura 9: Schema di distribuzione del carico mobile considerato ACC2**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 23 di 153 |

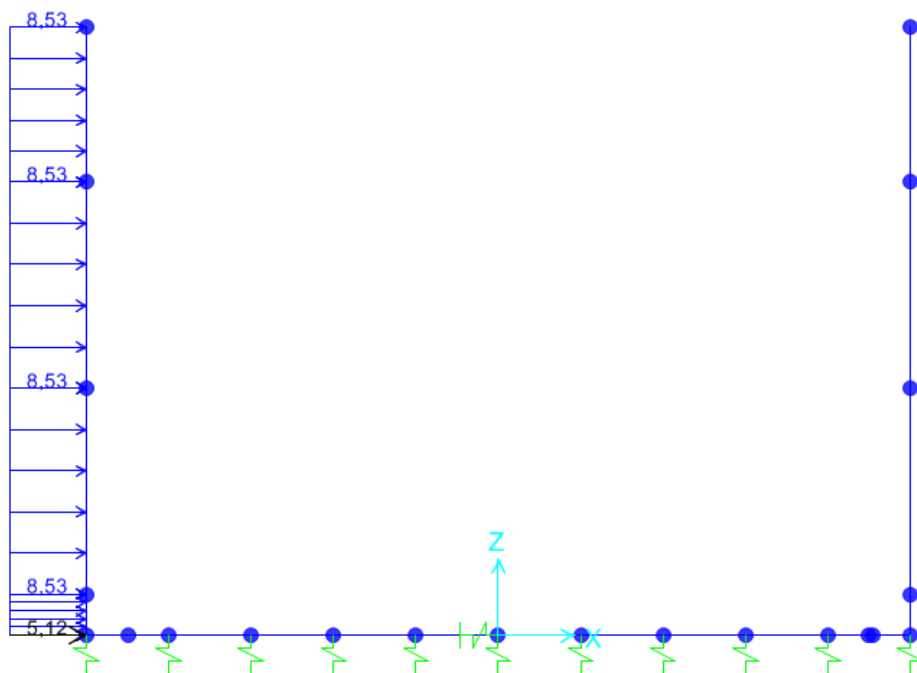
### 7.6. Spinta sui piedritti dovuto al carico accidentale (SASX e SADX)

Il sovraccarico accidentale è pari a 20.00 kN/m<sup>2</sup> rappresentativo del carico per effetti dei mezzi agricoli. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a  $S=k_0 \cdot q \cdot H$ . La spinta dovuta al carico variabile è pari a:

$$\sigma = q \cdot K_0 = 20 \cdot 0.426 = 8.53 \text{ kN/m}$$

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 1 e 3 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

$$8.53 \text{ kN/m} \cdot 0.6 \text{ m} = 5.12 \text{ kN}$$



### 7.7. Azioni sismiche

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $VN = 75$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $C_u = 1.0$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 24 di 153 |

- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.99096° e Long. = 13.25437°).

| SLATO LIMITE | T <sub>R</sub><br>[anni] | a <sub>g</sub><br>[g] | F <sub>0</sub><br>[-] | T <sub>C</sub> <sup>*</sup><br>[s] |
|--------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| SLO          | 45                       | 0,062                 | 2,469                 | 0,260                              |
| SLD          | 75                       | 0,080                 | 2,453                 | 0,278                              |
| SLV          | 712                      | 0,210                 | 2,496                 | 0,342                              |
| SLC          | 1462                     | 0,276                 | 2,516                 | 0,357                              |

dove:

- TR → tempo di ritorno;
- ag → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- F0 → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T\*C → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

|                |      | a <sub>max</sub> |
|----------------|------|------------------|
| T <sub>R</sub> | 45   | 0,075            |
| T <sub>R</sub> | 75   | 0,096            |
| T <sub>R</sub> | 712  | 0,250            |
| T <sub>R</sub> | 1462 | 0,309            |

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. I valori dei coefficienti sismici orizzontali k<sub>h</sub> e verticale k<sub>v</sub> possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 25 di 153 |

dove

- $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

|       |      | $K_h$ | $k_v$ |
|-------|------|-------|-------|
| $T_R$ | 45   | 0,075 | 0,037 |
| $T_R$ | 75   | 0,096 | 0,048 |
| $T_R$ | 712  | 0,250 | 0,125 |
| $T_R$ | 1462 | 0,309 | 0,155 |

### **7.7.1. Sovraspinta sismica del terreno (SISX)**

Le spinte delle terre, considerando il muro ad U una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 14.01.08), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato attraverso la trattazione di WOOD valida per pareti che accettano piccoli spostamenti:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo.

Il punto di applicazione della spinta che interessa il muro è posto  $h_{muro}/2$ , con "htot" altezza dal piano di progetto alla fondazione del muro e  $h_{muro}$  l'altezza del muro. Essendo " $\Delta P_d$ " la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto del muro ad U.

|      |       |      |
|------|-------|------|
| SISX | 50,44 | kN/m |
|------|-------|------|

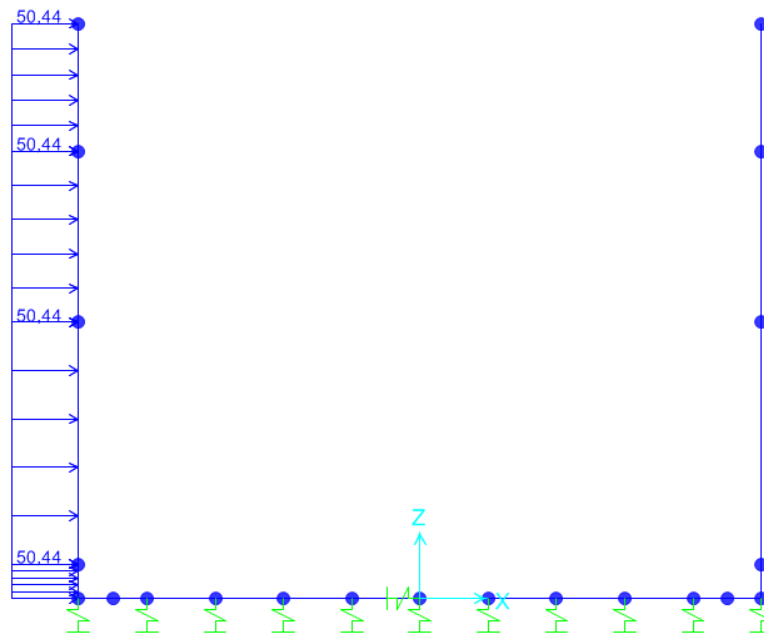
Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 3, la parte di sovraspinta su 1/2 spessore della soletta inferiore.

|      |       |    |
|------|-------|----|
| SISX | 26,52 | kN |
|------|-------|----|

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 26 di 153 |



### **7.7.2. Forze sismiche orizzontali (INERZIEH)**

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

#### **Inerzie orizzontali (INERZIEH)**

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| 1° scalettatura | 3,12 kN/m <sup>2</sup> |
| 2° scalettatura | 4,99 kN/m <sup>2</sup> |
| 3° scalettatura | 7,49 kN/m <sup>2</sup> |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

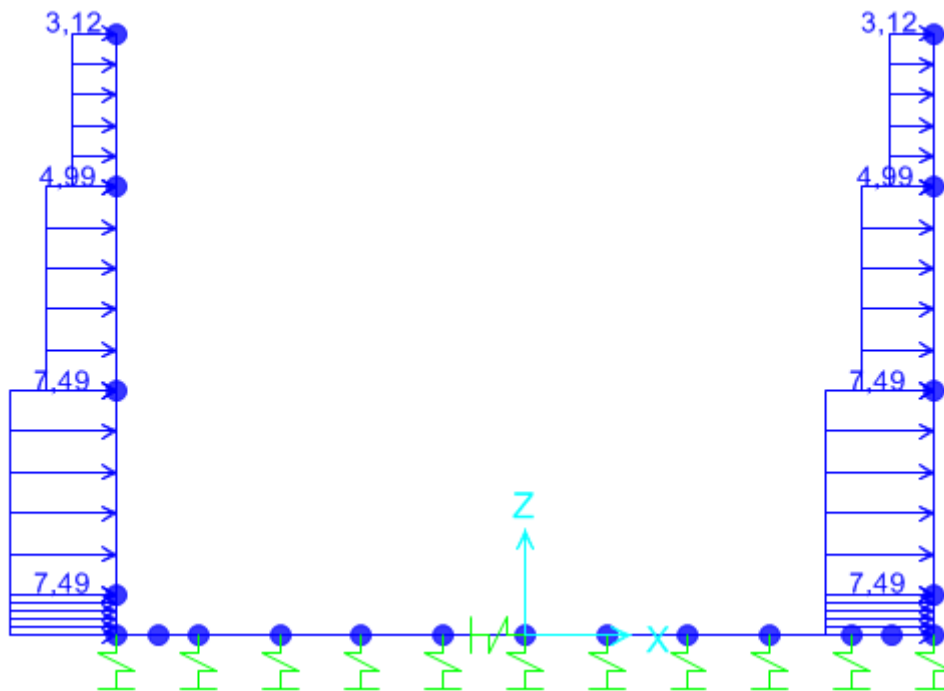
00

D26CL

SL0200002

A

27 di 153



### **7.7.1. Forze sismiche verticali (SISVER)**

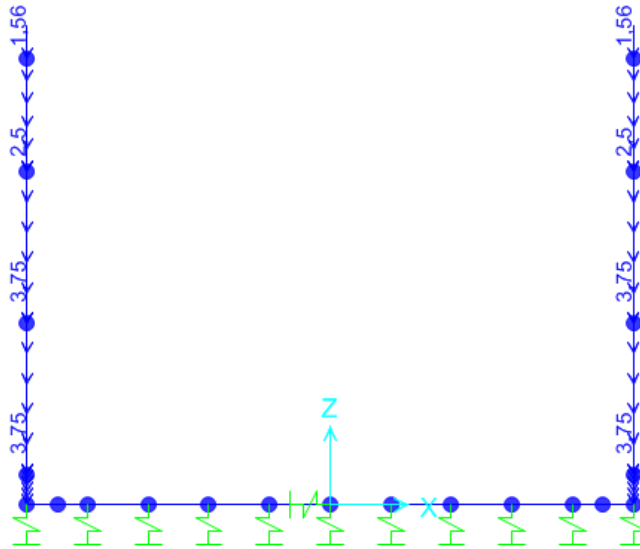
L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

#### **Inerzie verticali (SISVER)**

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| 1° scalettatura | 1,56 kN/m <sup>2</sup> |
| 2° scalettatura | 2,50 kN/m <sup>2</sup> |
| 3° scalettatura | 3,75 kN/m <sup>2</sup> |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 28 di 153 |



## 8. CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

### 8.1. Condizioni di carico elementari

|            |   |
|------------|---|
| PP         | PESO PROPRIO                                    |
| PERM       | CARICHI PERMANENTI (ricoprimento + massetto)    |
| STXS-STDx  | SPINTA DELLE TERRE SU PIEDRITTI                 |
| ACC1-ACC2  | CARICHI VARIABILI VERTICALI SU OPERA (traffico) |
| PAV_STR    | CARICHI DI PAVIMENTAZIONE                       |
| SASX- SADX | SPINTA CARICHI ACCIDENTALI LATI DI PIEDRITTI    |
| SISSX      | SOVRASPINTE SISMICHE (terre, falda)             |
| INERZIEH   | AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI                     |
| SISVER     | AZIONI SISMICHE VERTICALI                       |

### 8.2. Combinazioni di carico per sezioni di verifica

Si riportano di seguito i coefficienti parziali utilizzati nelle combinazioni agli SLU ed agli SLE, relativamente ad ogni sezione di verifica scelta in accordo con le tabelle 5.2.IV, 5.2.V, 5.2.VI e 5.2.VII delle NTC2008.

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle NTC.

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 30 di 153 |

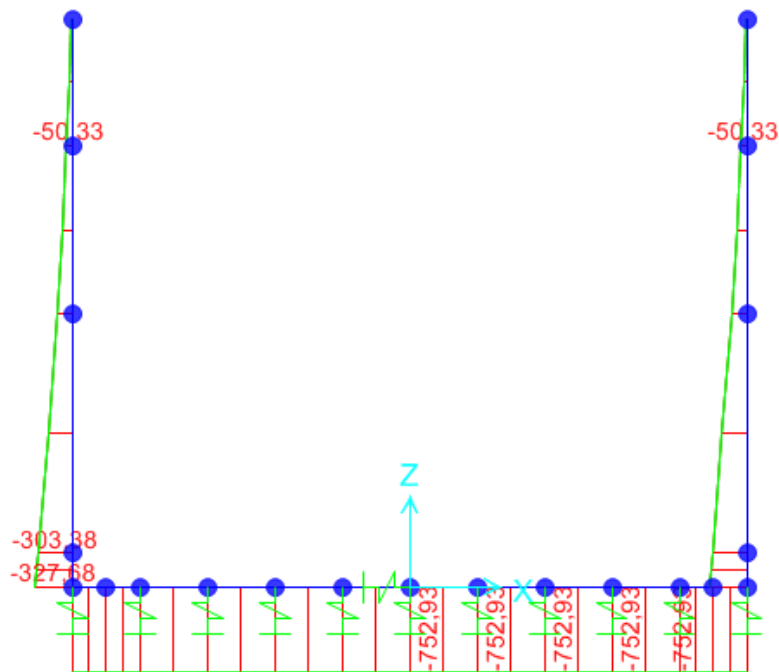
Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

|          | SLU-1 | SLU-2 | Sisma | Rara-1 | Rara-2 | Freq. -1 | Freq. -2 | Q. Perm. |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|
| PP       | 1,35  | 1,35  | 1     | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        |
| PERM     | 1,5   | 1,5   | 1     | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        |
| PAV STR  | 1,5   | 1,5   | 1     | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        |
| STX      | 1,35  | 1,35  | 1     | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        |
| STD      | 1,35  | 1,35  | 1     | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        |
| SAS      | 1,05  | 1,05  | 0     | 0,7    | 0,7    | 0,49     | 0,49     | 0        |
| SAD      | 1,05  | 1,05  | 0     | 0,7    | 0,7    | 0,49     | 0,49     | 0        |
| ACC1     | 1,35  | 0     | 0     | 0,75   | 0      | 0,56     | 0        | 0        |
| ACC2     | 0     | 1,35  | 0     | 0      | 0,75   | 0        | 0,56     | 0        |
| SISS     | 0     | 0     | 1     | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        |
| INERZIEH | 0     | 0     | 1     | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        |
| SISVER   | 0     | 0     | 0,3   | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        |

## 9. RISULTATI, ANALISE E VERIFICHE

### 9.1. Sollecitazioni

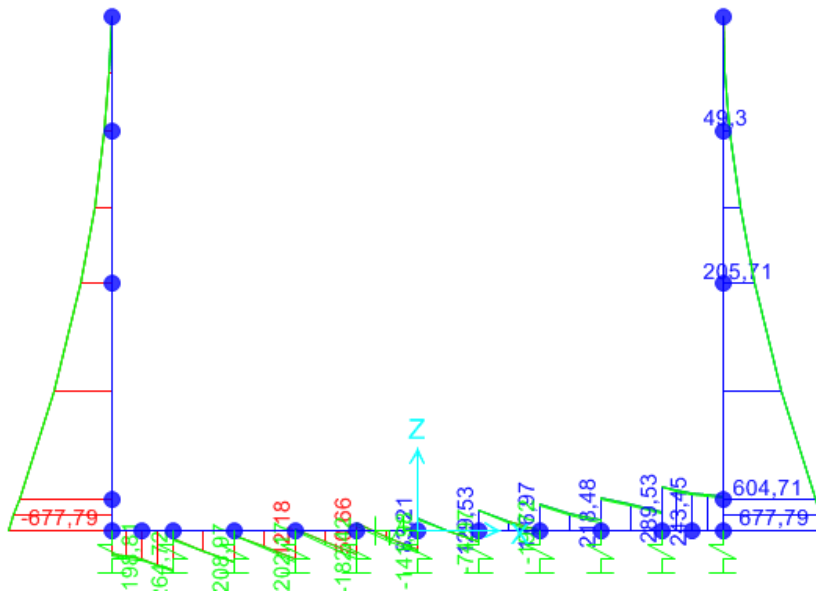
Si riportano, di seguito, i diagrammi di involuppo delle caratteristiche delle sollecitazioni di Flessione, Taglio e Sforzo Normale per le combinazioni SLU, SLE rara e Sismiche SLV



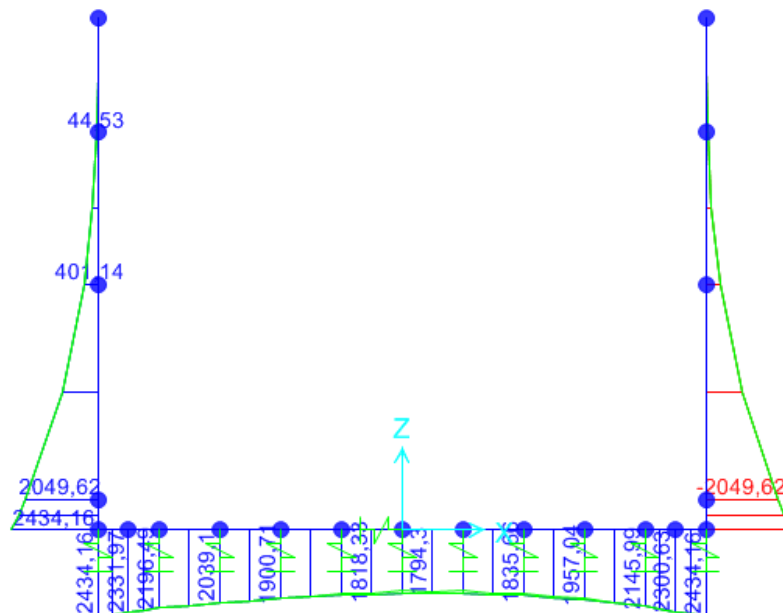
**Figura 10: N - SLU**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 32 di 153 |



**Figura 11: T - SLU**

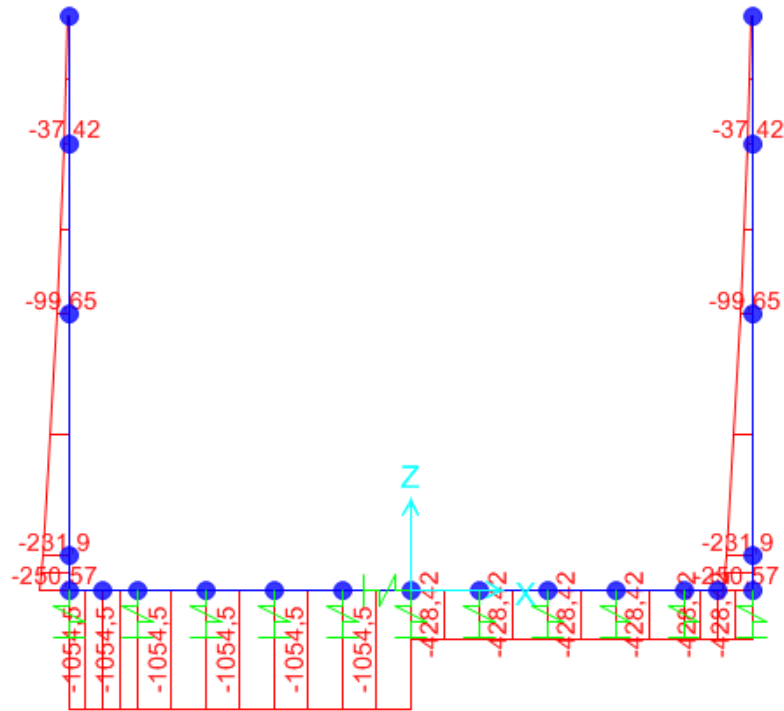


**Figura 12: M - SLU**

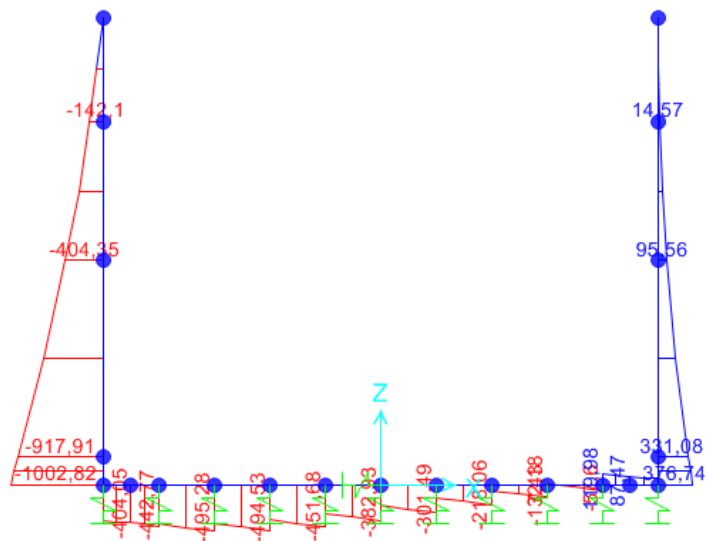


**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 33 di 153 |



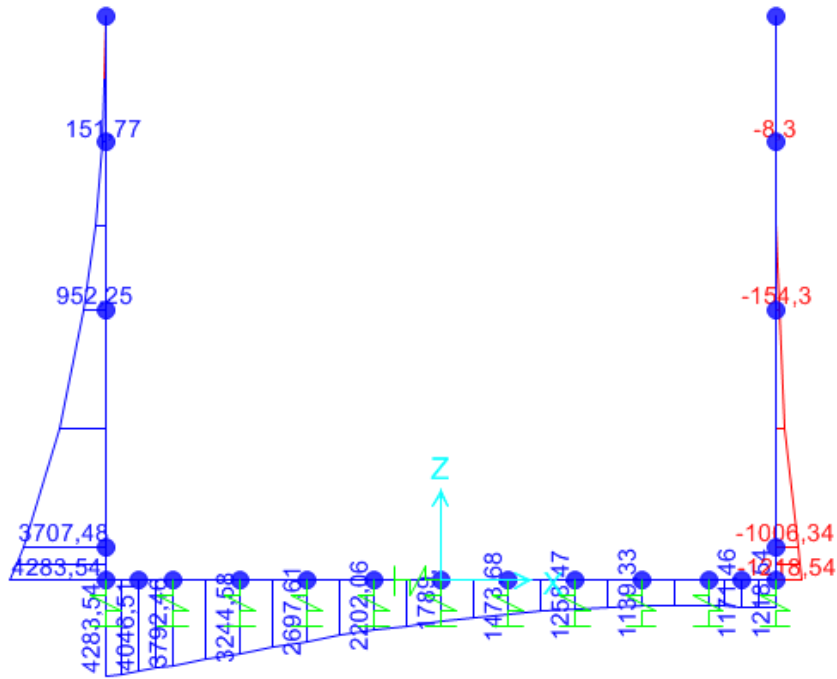
**Figura 13: N - SISMA**



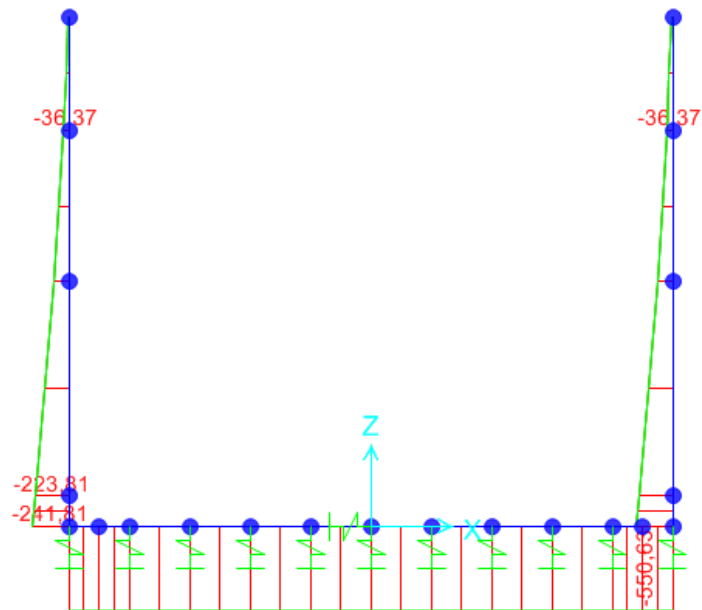
**Figura 14: T - SISMA**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 34 di 153 |



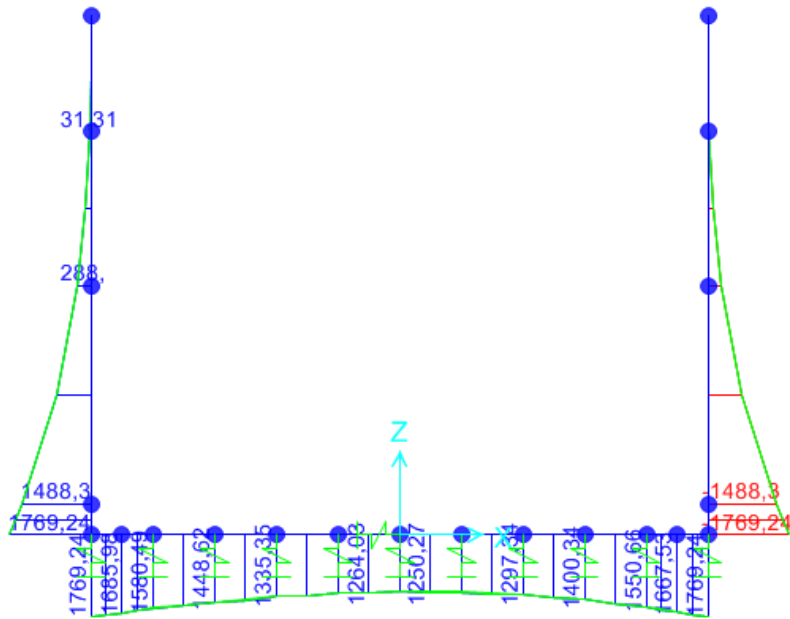
**Figura 15: M - SISMA**



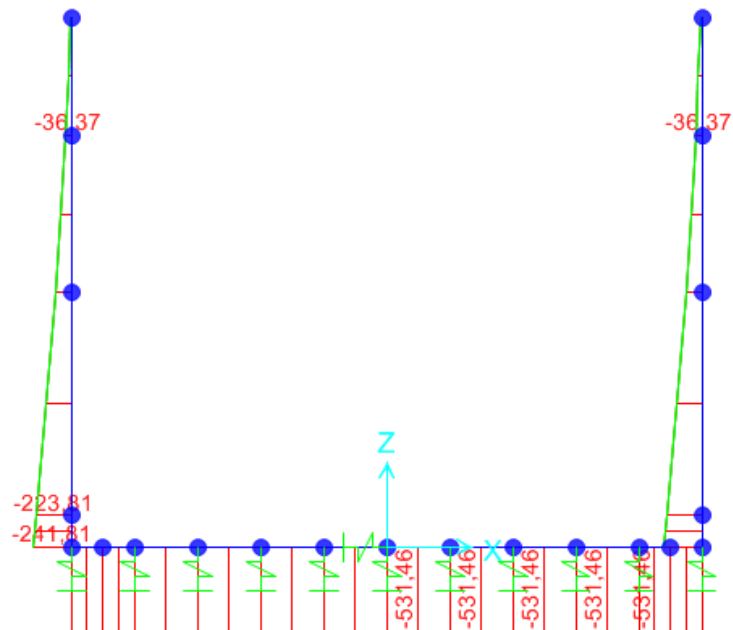
**Figura 16: N - SLE RARA**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 35 di 153 |



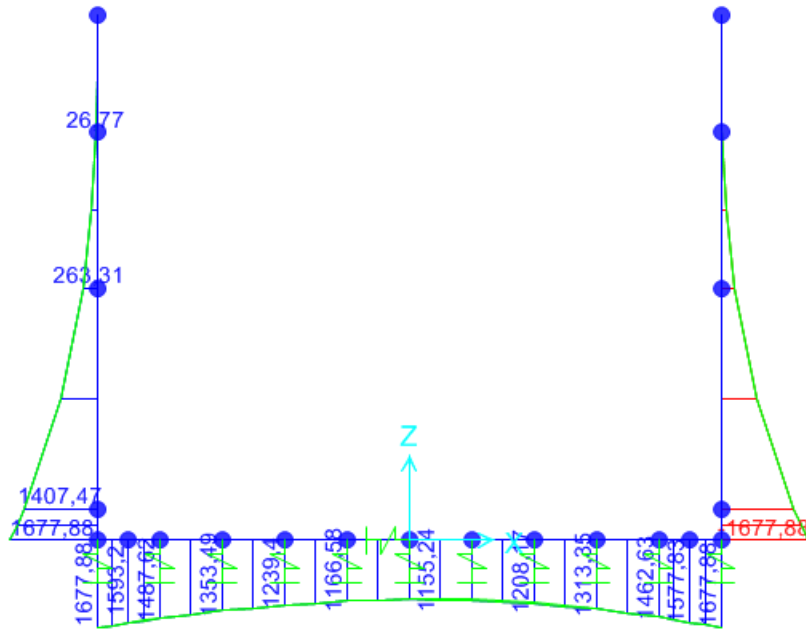
**Figura 17: M – SLE RARA**



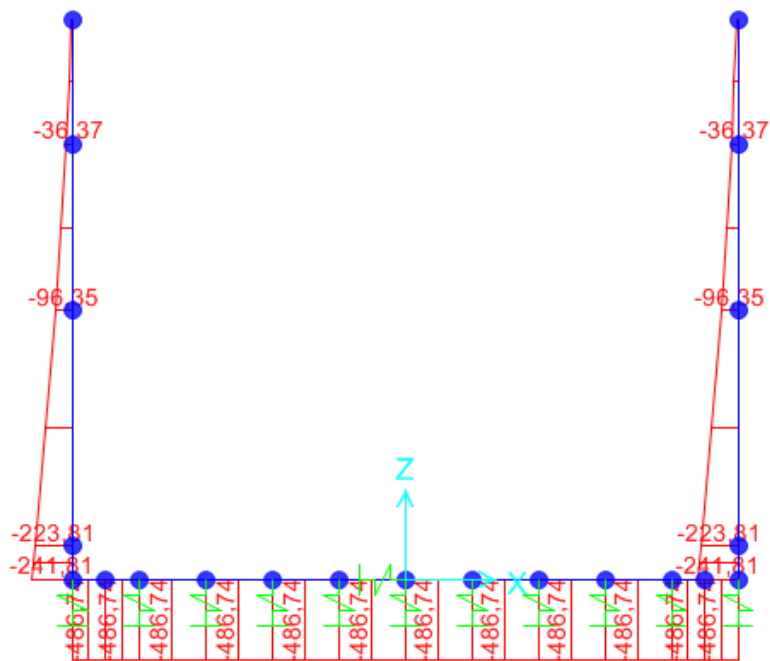
**Figura 18: N – SLE FREQ**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 36 di 153 |



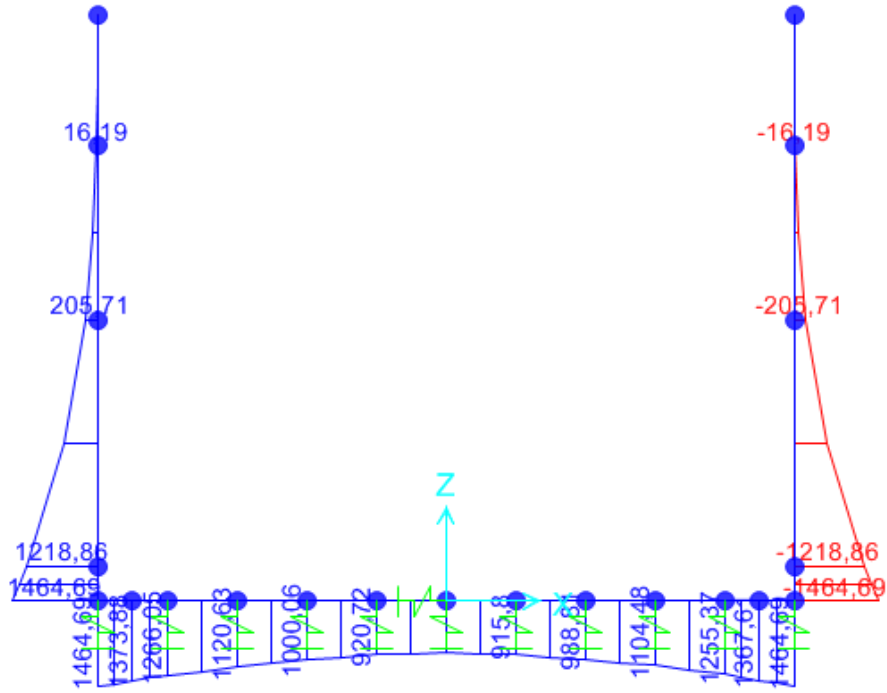
**Figura 19: M – SLE FREQ**



**Figura 20: N – SLE QP**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 37 di 153 |



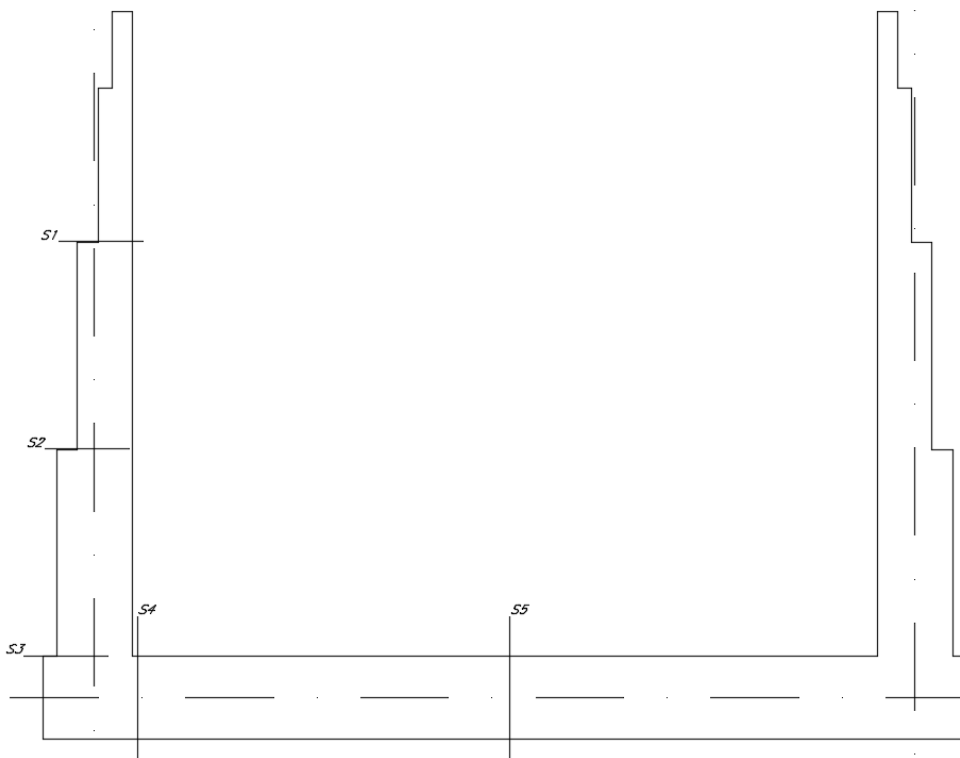
**Figura 21: M – SLE QP**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 38 di 153 |

## 9.2. Verifiche

Le sezioni verificate sono le seguenti:



**Figura 22: Sezioni di verifica**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

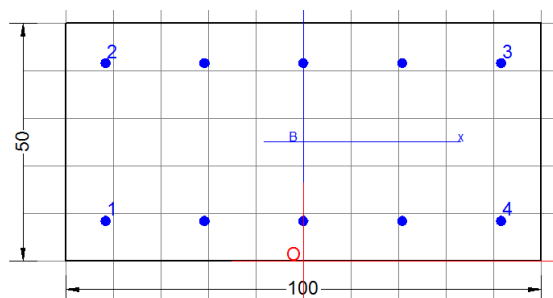
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 39 di 153 |

### 9.3. Verifica del piedritto

#### 9.3.1. Sezione 1

Armatura tesa  $\Phi$  20/20  
 Armatura compressa  $\Phi$  20/20  
 Armatura a taglio  $\Phi$  12 40x40

| Comb.    | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|----------|--------|--------|---------|
| SLU-1    | 50,3   | -49,3  | 44,5    |
| SLU-2    | 50,3   | -49,3  | 44,5    |
| Sisma    | 37,4   | -142,1 | 151,8   |
| Rara-1   | 36,4   | -35,0  | 31,3    |
| Rara-2   | 36,4   | -35,0  | 31,3    |
| Freq. -1 | 36,4   | -31,0  | 26,8    |
| Freq. -2 | 36,4   | -31,0  | 26,8    |
| Q. Perm. | 36,4   | -21,6  | 16,2    |



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                               |  |                            |
|-------------------------------|--|----------------------------|
| CALCESTRUZZO -                | Classe:                                      | C32/40                     |
|                               | Resis. compr. di calcolo fcd:                | 18.810 MPa                 |
|                               | Resis. compr. ridotta fcd':                  | 0.000 MPa                  |
|                               | Def.unit. max resistenza ec2:                | 0.0020                     |
|                               | Def.unit. ultima ecu:                        | 0.0035                     |
|                               | Diagramma tensione-deformaz.:                | Parabola-Rettangolo        |
|                               | Modulo Elastico Normale Ec:                  | 33643.0 MPa                |
|                               | Resis. media a trazione fctm:                | 2.120 MPa                  |
|                               | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                               | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                               | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:            | 198.00 daN/cm <sup>2</sup> |
|                               | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:    | 0.300 mm                   |
|                               | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:         | 0.00 Mpa                   |
|                               | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 mm                   |
|                               | ACCIAIO -                                    | Tipo:                      |
| Resist. caratt. snervam. fyk: |  | 450.00 MPa                 |
| Resist. caratt. rottura ftk:  |  | 450.00 MPa                 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 40 di 153 |

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. snerv. di calcolo fyd:                       | 391.30           | MPa                 |
| Resist. ultima di calcolo ftd:                       | 391.30           | MPa                 |
| Deform. ultima di calcolo Epu:                       | 0.068            |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 50.0   |
| 3          | 50.0   | 50.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -41.6  | 8.4    | 20        |
| 2       | -41.6  | 41.6   | 20        |
| 3       | 41.6   | 41.6   | 20        |
| 4       | 41.6   | 8.4    | 20        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 3       | 20 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---|----|----|----|----|
|---------|---|----|----|----|----|



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 41 di 153 |

|   |      |        |      |      |      |
|---|------|--------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 151.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 44.53  | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx    | My   |
|---------|------|-------|------|
| 1       | 0.00 | 31.31 | 0.00 |

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx            | My          |
|---------|------|---------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 26.77 (99.35) | 0.00 (0.00) |

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx            | My          |
|---------|------|---------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 15.50 (99.35) | 0.00 (0.00) |

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 18.8 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 42 di 153 |

My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | My   | N ult | Mx ult | My ult | Mis.Sic. | As Tesa   |
|--------|-----|------|--------|------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| 1      | S   | 0.00 | 151.77 | 0.00 | 0.00  | 259.73 | 0.00   | 1.711    | 31.4(5.4) |
| 2      | S   | 0.00 | 44.53  | 0.00 | 0.00  | 259.73 | 0.00   | 5.833    | 31.4(5.4) |

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Xc max | Yc max | es min   | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00830 | -50.0  | 50.0   | -0.00113 | -41.6  | 41.6   | -0.01941 | -41.6  | 8.4    |
| 2      | 0.00350 | -0.00830 | -50.0  | 50.0   | -0.00113 | -41.6  | 41.6   | -0.01941 | -41.6  | 8.4    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000550610 | -0.024030492 | 0.153 | 0.700  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000550610 | -0.024030492 | 0.153 | 0.700  |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 1.33   | -50.0  | 50.0   | -53.3  | -20.8  | 8.4    | 1938    | 15.7    | 20.8    | 1.00   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 43 di 153 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 1.14   | 50.0   | 50.0   | -45.6  | -41.6  | 8.4    | 1938    | 15.7    | 20.8    | 0.50   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_{c\ eff}$   
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_{c\ eff}$   
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$   
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi    | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|--------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.6 | -0.1 | 0.154 | 20 | 74.0 | -5.886 | 0.00009 (0.00009) | 341 | 0.053 (0.30) | 99.35   | 0.00    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 0.66   | 50.0   | 50.0   | -26.4  | -41.6  | 8.4    | 1938    | 15.7    | 20.8    | 0.50   |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi     | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|---------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.3 | -0.1 | 0.154 | 20 | 74.0 | -19.540 | 0.00005 (0.00005) | 341 | 0.031 (0.20) | 99.35   | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 44 di 153 |

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

∅<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

∅<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 9960,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

### Elemento non armato a taglio

k 1,60

k<sub>eff</sub> 1,60 coefficiente considerato nei calcoli

v<sub>min</sub> 0,409

V<sub>Rd,1</sub> 223,9 KN taglio resistente - valore 1

V<sub>Rd,2</sub> 225,1 KN taglio resistente - valore 2

V<sub>Rd</sub> **225,1** KN taglio resistente di calcolo

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 45 di 153 |

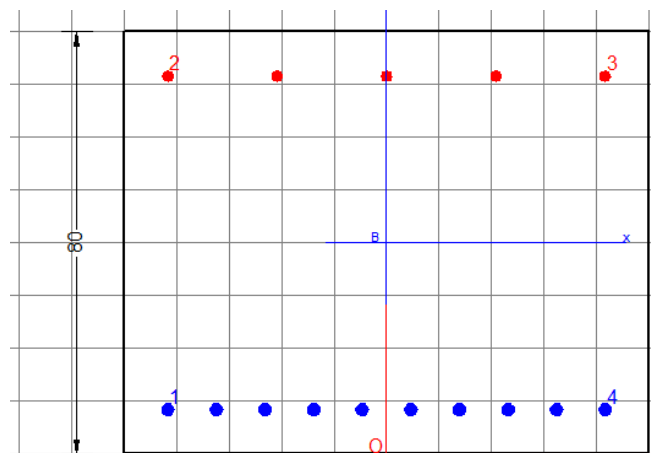
### 9.3.2. Sezione 2

Armatura tesa  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  20/20

Armatura a taglio  $\Phi$  12 40x40

| Comb.    | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|----------|--------|--------|---------|
| SLU-1    | 131,3  | -205,7 | 401,1   |
| SLU-2    | 131,3  | -205,7 | 401,1   |
| Sisma    | 99,7   | -404,4 | 952,3   |
| Rara-1   | 96,3   | -148,9 | 288,0   |
| Rara-2   | 96,3   | -148,9 | 288,0   |
| Freq. -1 | 96,3   | -139,5 | 263,3   |
| Freq. -2 | 96,3   | -139,5 | 263,3   |
| Q. Perm. | 96,3   | -117,6 | 205,7   |



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi           |
| Tipologia sezione:            | Sezione generica              |
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                        |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante       |
| Condizioni Ambientali:        | Moderat. aggressive           |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |  |                            |
|----------------|--|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                      | C32/40                     |
|                | Resis. compr. di calcolo fcd:                | 18.810 MPa                 |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':                  | 0.000 MPa                  |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:                | 0.0020                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                        | 0.0035                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:                | Parabola-Rettangolo        |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:                  | 33643.0 MPa                |
|                | Resis. media a trazione fctm:                | 2.120 MPa                  |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:            | 198.00 daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:    | 0.300 mm                   |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:         | 0.00 Mpa                   |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 mm                   |
| ACCIAIO -      | Tipo:  | B450C                      |
|                | Resist. caratt. snervam. fyk:                | 450.00 MPa                 |
|                | Resist. caratt. rottura ftk:                 | 450.00 MPa                 |
|                | Resist. snerv. di calcolo fyd:               | 391.30 MPa                 |
|                | Resist. ultima di calcolo ftd:               | 391.30 MPa                 |
|                | Deform. ultima di calcolo Epu:               | 0.068                      |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 46 di 153 |

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 80.0   |
| 3          | 50.0   | 80.0   |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -41.6  | 8.4    | 24        |
| 2       | -41.6  | 71.6   | 20        |
| 3       | 41.6   | 71.6   | 20        |
| 4       | 41.6   | 8.4    | 24        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 24 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

| N°Comb. | N    | Mx     | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|--------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 401.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 0.00 | 952.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 47 di 153 |

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx     | My   |
|---------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | 288.00 | 0.00 |

### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 263.31 (284.52) | 0.00 (0.00) |

### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 205.71 (284.52) | 0.00 (0.00) |

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 48 di 153 |

As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | My   | N ult | Mx ult  | My ult | Mis.Sic. | As Tesa   |
|--------|-----|------|--------|------|-------|---------|--------|----------|-----------|
| 1      | S   | 0.00 | 401.14 | 0.00 | 0.00  | 1183.34 | 0.00   | 2.950    | 45.2(9.3) |
| 2      | S   | 0.00 | 952.25 | 0.00 | 0.00  | 1183.34 | 0.00   | 1.243    | 45.2(9.3) |

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00815 | -50.0  | 80.0   | 0.00065 | -41.6  | 71.6   | -0.02083 | -41.6  | 8.4    |
| 2      | 0.00350 | -0.00815 | -50.0  | 80.0   | 0.00065 | -41.6  | 71.6   | -0.02083 | -41.6  | 8.4    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000339844 | -0.023687496 | 0.144 | 0.700  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000339844 | -0.023687496 | 0.144 | 0.700  |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 3.36   | -50.0  | 80.0   | -100.1 | -32.4  | 8.4    | 2484    | 45.2    | 9.2     | 1.00   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 49 di 153 |

1 S 3.07 -50.0 80.0 -91.6 -23.1 8.4 2484 45.2 9.2 0.50

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_c$  eff  
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_c$  eff  
 $\emptyset$  Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_c$  eff  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | $\emptyset$ | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|-------------|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -2.0 | -0.7 | 0.169 | 24          | 72.0 | 0.416 | 0.00019 (0.00018) | 252 | 0.082 (0.30) | 284.52  | 0.00    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 2.40   | -50.0  | 80.0   | -71.5  | -13.9  | 8.4    | 2484    | 45.2    | 9.2     | 0.50   |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | $\emptyset$ | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|-------------|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -1.5 | -0.5 | 0.169 | 24          | 72.0 | 0.043 | 0.00014 (0.00014) | 252 | 0.061 (0.20) | 284.52  | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 50 di 153 |

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>       condizioni calcestruzzo

Cl<sub>s</sub>       condizioni calcestruzzo

Acciaio 1       acciaio barre longitudinali

Acciaio 2       acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>       coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>       coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 16600,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

τ N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

σ<sub>1</sub> N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 51 di 153 |

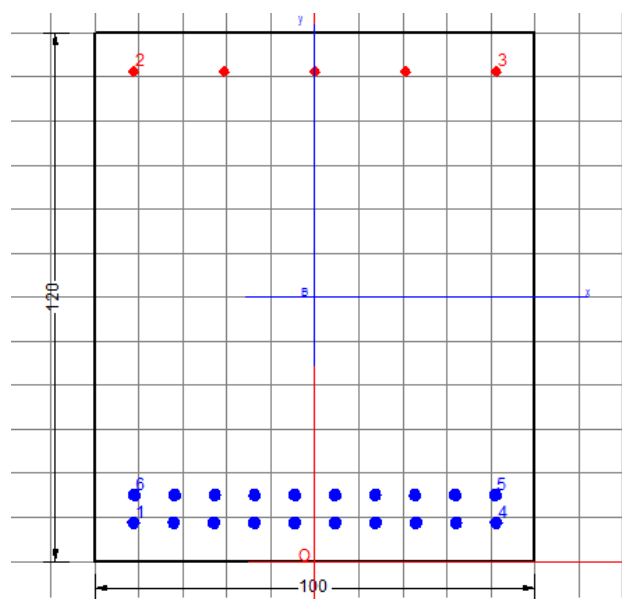
### 9.3.3. Sezione 3

Armatura tesa  $\Phi 26/10 + \Phi 26/10$

Armatura compressa  $\Phi 20/20$

Armatura a taglio  $\Phi 12 \quad 40 \times 20$

| Comb.    | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|----------|--------|--------|---------|
| SLU-1    | 303,4  | -604,7 | 2049,6  |
| SLU-2    | 303,4  | -604,7 | 2049,6  |
| Sisma    | 231,9  | -917,9 | 3707,5  |
| Rara-1   | 223,8  | -441,6 | 1488,3  |
| Rara-2   | 223,8  | -441,6 | 1488,3  |
| Freq. -1 | 223,8  | -424,6 | 1407,5  |
| Freq. -2 | 223,8  | -424,6 | 1407,5  |
| Q. Perm. | 223,8  | -384,9 | 1218,9  |



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi           |
| Tipologia sezione:            | Sezione generica              |
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                        |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante       |
| Condizioni Ambientali:        | Moderat. aggressive           |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                            |
|--|---|----------------------------|
| CALCESTRUZZO -                               | Classe:                                   | C32/40                     |
|  | Resis. compr. di calcolo fcd:             | 18.810 MPa                 |
|  | Resis. compr. ridotta fcd':               | 0.000 MPa                  |
|  | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020                     |
|  | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo        |
|  | Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0 MPa                |
|  | Resis. media a trazione fctm:             | 2.120 MPa                  |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 198.00 daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm                   |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00 Mpa                   |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 mm                                  |                            |
| ACCIAIO -                                    | Tipo:                                     | B450C                      |
|  | Resist. caratt. snervam. fyk:             | 450.00 MPa                 |
|  | Resist. caratt. rottura ftk:              | 450.00 MPa                 |
|  | Resist. snerv. di calcolo fyd:            | 391.30 MPa                 |
|  | Resist. ultima di calcolo ftd:            | 391.30 MPa                 |
|  | Deform. ultima di calcolo Epu:            | 0.068                      |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 52 di 153 |

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 120.0  |
| 3          | 50.0   | 120.0  |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -41.2  | 8.8    | 26        |
| 2       | -41.2  | 111.2  | 20        |
| 3       | 41.2   | 111.2  | 20        |
| 4       | 41.2   | 8.8    | 26        |
| 5       | 41.0   | 15.0   | 26        |
| 6       | -41.0  | 15.0   | 26        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 26 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |
| 3      | 5            | 6            | 8       | 26 |

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---|----|----|----|----|
|---------|---|----|----|----|----|

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 53 di 153 |

|   |      |         |      |      |      |
|---|------|---------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 2049.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 3707.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 1488.00 | 0.00 |

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1407.00 (705.62) | 0.00 (0.00) |

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1218.00 (705.62) | 0.00 (0.00) |

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.6 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 54 di 153 |

My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N ult | Mx ult  | My ult | Mis.Sic. | As Tesa     |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|-------------|
| 1      | S   | 0.00 | 2049.00 | 0.00 | 0.00  | 4095.04 | 0.00   | 1.999    | 106.2(14.5) |
| 2      | S   | 0.00 | 3707.00 | 0.00 | 0.00  | 4095.04 | 0.00   | 1.105    | 106.2(14.5) |

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00424 | -50.0  | 120.0  | 0.00218 | -41.2  | 111.2  | -0.01324 | -41.2  | 8.8    |
| 2      | 0.00350 | -0.00424 | -50.0  | 120.0  | 0.00218 | -41.2  | 111.2  | -0.01324 | -41.2  | 8.8    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000150518 | -0.014562154 | 0.209 | 0.701  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000150518 | -0.014562154 | 0.209 | 0.701  |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.68   | 50.0   | 120.0  | -155.9 | -13.7  | 8.8    | 2700    | 106.2   | 6.2     | 1.00   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 55 di 153 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.32   | 50.0   | 120.0  | -147.4 | -32.0  | 8.8    | 2700    | 106.2   | 6.2     | 0.50   |

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica

S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata

S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_{c\ eff}$

k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata

k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_{c\ eff}$

Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

Psi =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]

e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi

srm Distanza media tra le fessure [mm]

wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e\ sm * srm$ . Valore limite tra parentesi

MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -4.2 | -2.2 | 0.190 | 26 | 75.0 | 0.874 | 0.00064 (0.00029) | 213 | 0.233 (0.30) | 705.62  | 0.00    |

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 5.47   | 50.0   | 120.0  | -127.6 | -22.9  | 8.8    | 2700    | 106.2   | 6.2     | 0.50   |

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -3.7 | -1.9 | 0.190 | 26 | 75.0 | 0.832 | 0.00053 (0.00026) | 213 | 0.192 (0.20) | 705.62  | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 56 di 153 |

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 25453,3 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

τ N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

σ<sub>i</sub> N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 57 di 153 |

## 9.4. Verifica della soletta inferiore

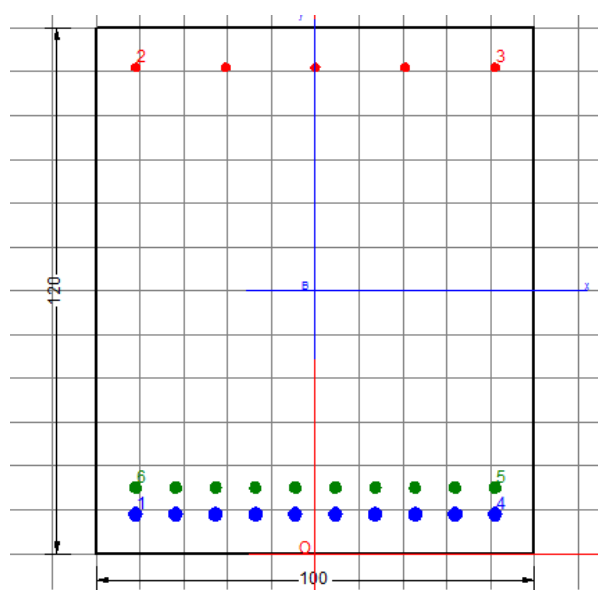
### 9.4.1. Sezione 4

Armatura tesa  $\Phi 30/10 + \Phi 26/10$

Armatura compressa  $\Phi 20/20$

Armatura a taglio  $\Phi 12 \quad 40 \times 40$

| Comb.    | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|----------|--------|--------|---------|
| SLU-1    | 752,9  | -190,2 | 2332,0  |
| SLU-2    | 752,9  | -198,8 | 2325,3  |
| Sisma    | 1054,5 | -404,1 | 4046,5  |
| Rara-1   | 550,6  | -152,1 | 1686,0  |
| Rara-2   | 550,6  | -156,8 | 1682,3  |
| Freq. -1 | 531,5  | -153,3 | 1593,2  |
| Freq. -2 | 531,5  | -156,9 | 1590,4  |
| Q. Perm. | 486,7  | -160,4 | 1373,9  |



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi           |
| Tipologia sezione:            | Sezione generica              |
| Normativa di riferimento:     | N.T.C.                        |
| Percorso sollecitazione:      | A Sforzo Norm. costante       |
| Condizioni Ambientali:        | Moderat. aggressive           |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |  |                            |
|----------------|--|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                      | C25/30                     |
|                | Resis. compr. di calcolo fcd:                | 14.160 MPa                 |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':                  | 0.000 MPa                  |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:                | 0.0020                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                        | 0.0035                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:                | Parabola-Rettangolo        |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:                  | 31475.0 MPa                |
|                | Resis. media a trazione fctm:                | 2.560 MPa                  |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                       | 15.00                      |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:            | 150.00 daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:    | 0.300 mm                   |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:         | 0.00 Mpa                   |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 mm                   |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 58 di 153 |

|           |  |                  |                     |
|-----------|--|------------------|---------------------|
| ACCIAIO - | Tipo:  | B450C            |                     |
|           | Resist. caratt. snervam. fyk:                    | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. caratt. rottura ftk:                     | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. snerv. di calcolo fyd:                   | 391.30           | MPa                 |
|           | Resist. ultima di calcolo ftd:                   | 391.30           | MPa                 |
|           | Deform. ultima di calcolo Epu:                   | 0.068            |                     |
|           | Modulo Elastico Ef                               | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
|           | Diagramma tensione-deformaz.:                    | Bilineare finito |                     |
|           | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 * \beta_2$ : | 1.00             |                     |
|           | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
|           | Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                     | 360.00           | MPa                 |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 120.0  |
| 3          | 50.0   | 120.0  |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -41.0  | 9.0    | 30        |
| 2       | -41.0  | 111.0  | 20        |
| 3       | 41.0   | 111.0  | 20        |
| 4       | 41.0   | 9.0    | 30        |
| 5       | 41.0   | 15.0   | 26        |
| 6       | -41.0  | 15.0   | 26        |

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 30 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |
| 3      | 5            | 6            | 8       | 26 |

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 59 di 153 |

| N°Comb. | N    | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 2331.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 0.00 | 4043.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
Vy con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 1865.00 | 0.00 |

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1593.00 (890.71) | 0.00 (0.00) |

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1373.00 (890.71) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.2 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 60 di 153 |

|          |  |
|----------|--|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx       | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia   |
| My       | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia   |
| N ult    | Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx ult   | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My ult   | Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1,000 |
| As Tesa  | Area armature [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa                               |

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N ult | Mx ult  | My ult | Mis.Sic. | As Tesa     |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|-------------|
| 1      | S   | 0.00 | 2331.00 | 0.00 | 0.00  | 4547.31 | 0.00   | 1.951    | 123.8(16.4) |
| 2      | S   | 0.00 | 4043.00 | 0.00 | 0.00  | 4547.31 | 0.00   | 1.125    | 123.8(16.4) |

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00138 | -50.0  | 120.0  | 0.00265 | -41.0  | 111.0  | -0.00703 | -41.0  | 9.0    |
| 2      | 0.00350 | -0.00138 | -50.0  | 120.0  | 0.00265 | -41.0  | 111.0  | -0.00703 | -41.0  | 9.0    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |  |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d     | Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)         |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue          |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000094875 | -0.007885027 | 0.332 | 0.855  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000094875 | -0.007885027 | 0.332 | 0.855  |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |
| D barre        | Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure                    |
| Beta12         | Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2                                      |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 61 di 153 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 7.97   | -50.0  | 120.0  | -167.5 | -41.0  | 9.0    | 2850    | 123.8   | 6.0     | 1.00   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.80   | -50.0  | 120.0  | -143.1 | -22.8  | 9.0    | 2850    | 123.8   | 6.0     | 0.50   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_{c\ eff}$   
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_{c\ eff}$   
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$   
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e\ sm * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -4.6 | -2.2 | 0.185 | 28 | 75.0 | 0.844 | 0.00060 (0.00029) | 210 | 0.216 (0.30) | 890.71  | 0.00    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 5.86   | -50.0  | 120.0  | -123.3 | -13.7  | 9.0    | 2850    | 123.8   | 6.0     | 0.50   |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -3.9 | -1.9 | 0.185 | 28 | 75.0 | 0.790 | 0.00049 (0.00025) | 210 | 0.174 (0.20) | 890.71  | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 62 di 153 |

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>       condizioni calcestruzzo

Cl<sub>s</sub>       condizioni calcestruzzo

Acciaio 1       acciaio barre longitudinali

Acciaio 2       acciaio armature trasversali

γ<sub>e</sub>       coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>       coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 19090,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

τ N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

σ<sub>1</sub> N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

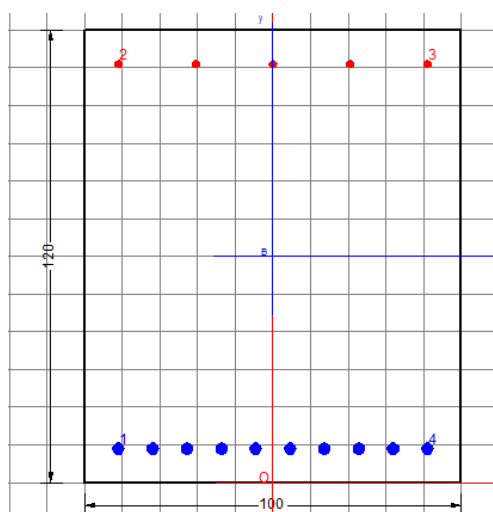
**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 63 di 153 |

### 9.4.2. Sezione 5

Armatura tesa                     $\Phi$  30/10  
Armatura compressa            $\Phi$  20/20  
Armatura a taglio               $\Phi$  12 40x40

| Comb.    | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
|----------|--------|--------|---------|
| SLU-1    | 752,9  | 25,5   | 1784,8  |
| SLU-2    | 752,9  | 50,7   | 1814,6  |
| Sisma    | 1054,5 | -305,5 | 2202,1  |
| Rara-1   | 550,6  | 15,1   | 1247,2  |
| Rara-2   | 550,6  | 29,1   | 1263,8  |
| Freq. -1 | 531,5  | 15,2   | 1154,2  |
| Freq. -2 | 531,5  | 25,6   | 1166,6  |
| Q. Perm. | 486,7  | 14,6   | 920,7   |



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
Tipologia sezione: Sezione generica  
Normativa di riferimento: N.T.C.  
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                            |
|--|---|----------------------------|
| CALCESTRUZZO -                               | Classe:                                   | C25/30                     |
|  | Resis. compr. di calcolo fcd:             | 14.160 MPa                 |
|  | Resis. compr. ridotta fcd':               | 0.000 MPa                  |
|  | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020                     |
|  | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo        |
|  | Modulo Elastico Normale Ec:               | 31475.0 MPa                |
|  | Resis. media a trazione fctm:             | 2.560 MPa                  |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 150.00 daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm                   |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00 Mpa                   |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 0.200 mm                                  |                            |
| ACCIAIO -                                    | Tipo:                                     | B450C                      |
|  | Resist. caratt. snervam. fyk:             | 450.00 MPa                 |
|  | Resist. caratt. rottura ftk:              | 450.00 MPa                 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 64 di 153 |

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. snerv. di calcolo fyd:                       | 391.30           | MPa                 |
| Resist. ultima di calcolo ftd:                       | 391.30           | MPa                 |
| Deform. ultima di calcolo Epu:                       | 0.068            |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 120.0  |
| 3          | 50.0   | 120.0  |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -41.0  | 9.0    | 30        |
| 2       | -41.0  | 111.0  | 20        |
| 3       | 41.0   | 111.0  | 20        |
| 4       | 41.0   | 9.0    | 30        |

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 30 |
| 2      | 2            | 3            | 3       | 20 |

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|---|----|----|----|----|
|---------|---|----|----|----|----|



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 65 di 153 |

|   |      |         |      |      |      |
|---|------|---------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 1818.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 1789.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 1264.00 | 0.00 |

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1166.00 (794.42) | 0.00 (0.00) |

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 920.00 (794.42) | 0.00 (0.00) |

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 66 di 153 |

My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N ult | Mx ult  | My ult | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 1818.00 | 0.00 | 0.00  | 2844.74 | 0.00   | 1.565    | 70.7(16.4) |
| 2      | S   | 0.00 | 1789.00 | 0.00 | 0.00  | 2844.74 | 0.00   | 1.590    | 70.7(16.4) |

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | ec 3/7   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -0.00594 | -50.0  | 120.0  | 0.00185 | -41.0  | 111.0  | -0.01688 | -41.0  | 9.0    |
| 2      | 0.00350 | -0.00594 | -50.0  | 120.0  | 0.00185 | -41.0  | 111.0  | -0.01688 | -41.0  | 9.0    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000183573 | -0.018528809 | 0.172 | 0.700  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000183573 | -0.018528809 | 0.172 | 0.700  |

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre  $Beta1 \cdot Beta2$

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 6.20   | -50.0  | 120.0  | -181.1 | -13.7  | 9.0    | 2976    | 70.7    | 9.1     | 1.00   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 67 di 153 |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 5.72   | -50.0  | 120.0  | -167.0 | -22.8  | 9.0    | 2976    | 70.7    | 9.1     | 0.50   |

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_{c\ eff}$   
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_{c\ eff}$   
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$   
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$  [B.6.6 DM96]  
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -3.8 | -1.8 | 0.185 | 30 | 75.0 | 0.768 | 0.00064 (0.00033) | 261 | 0.285 (0.30) | 794.42  | 0.00    |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. | D barre | Beta12 |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1      | S   | 4.52   | -50.0  | 120.0  | -131.8 | -22.8  | 9.0    | 2976    | 70.7    | 9.1     | 0.50   |

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

| Comb. | Ver | S1   | S2   | k3    | Ø  | Cf   | Psi   | e sm              | srm | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|------|------|-------|----|------|-------|-------------------|-----|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -3.0 | -1.4 | 0.185 | 30 | 75.0 | 0.627 | 0.00041 (0.00026) | 261 | 0.184 (0.20) | 794.42  | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 68 di 153 |

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 19090,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

τ N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

σ<sub>1</sub> N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 69 di 153 |

## 10. RIEPILOGO ARMATURE – MURO AD U

| Elemento strutturale | Sezione        | Armatura Principale                | Armatura secondaria        | Incidenze |
|----------------------|----------------|------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Piedritto            | 1°scalettatura | φ20/20 est.<br>φ20/20 int.         | φ20/20 est.<br>φ12/20 int. | 97 kg/m3  |
|                      | 2°scalettatura | φ24/10 est.<br>φ20/20 int.         | φ20/20 est.<br>φ12/20 int. |           |
|                      | 3°scalettatura | 2*φ26/10 est.<br>φ20/20 int.       | φ24/20 est.<br>φ12/20 int. |           |
| soletta inferiore    | mezzeria       | φ20/20 sup.<br>φ30/10 inf.         | φ24/20 sup.<br>φ12/20 inf. | 110kg/m3  |
|                      | nodo           | φ20/20 sup.<br>φ30/10+ φ26/10 inf. | φ24/20 sup.<br>φ12/20 inf. |           |

|   |   |             |                   |                        |           |                     |
|---|---|-------------|-------------------|------------------------|-----------|---------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.<br/>CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</b> |             |                   |                        |           |                     |
| <b>SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019</b><br><b>Relazione di calcolo muri delle rampe</b>  | COMESSA<br>IZ09   | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>D26CL | DOCUMENTO<br>SL0200002 | REV.<br>A | FOGLIO<br>70 di 153 |

## 11. METODO DI CALCOLO – MURI DI SOSTEGNO

L'analisi strutturale del muro di sostegno a fondazione diretta è stata condotta attraverso modelli di calcolo a mensola con incastro nella platea di fondazione (analisi del paramento) e con incastro nel paramento (analisi della fondazione lato valle e lato monte). Vista la geometria dell'opera a prevalente sviluppo longitudinale e le condizioni al contorno, le analisi e verifiche sono state effettuate prendendo in considerazione una porzione di muro corrispondente ad una larghezza unitaria.

Si riporta inoltre di seguito una breve sintesi della procedura proposta per il calcolo delle spinte orizzontali agenti sulla parete dell'opera di sostegno e delle azioni verticali agenti sulla zattera di fondazione.

### 11.1. Condizioni di spinta sul muro in condizioni statiche

Considerato un terrapieno con peso per unità di volume  $\gamma$ , sovraccarico uniforme su terrapieno  $q$ , condizioni drenate ed assenza di falda, si assume in genere la distribuzione di pressioni riportata nella Figura 2. Alla generica quota  $z$  dal piano campagna risulta:

$$\sigma_a = \gamma k_a z + q k_a - 2c' \sqrt{k_a}$$

$$\sigma_p = \gamma k_p z + q k_p - 2c' \sqrt{k_p}$$

Il problema si riconduce quindi al calcolo dei coefficienti di spinta attiva  $k_a$  o passiva  $k_p$ .

Con riferimento allo schema di Figura 24, in condizioni statiche il coefficiente di spinta attiva e quello di spinta passiva sono valutati attraverso le espressioni di Muller-Breslau (1924):

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi)}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi - \varphi)}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi + \varepsilon)}{\text{sen}(\psi + \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

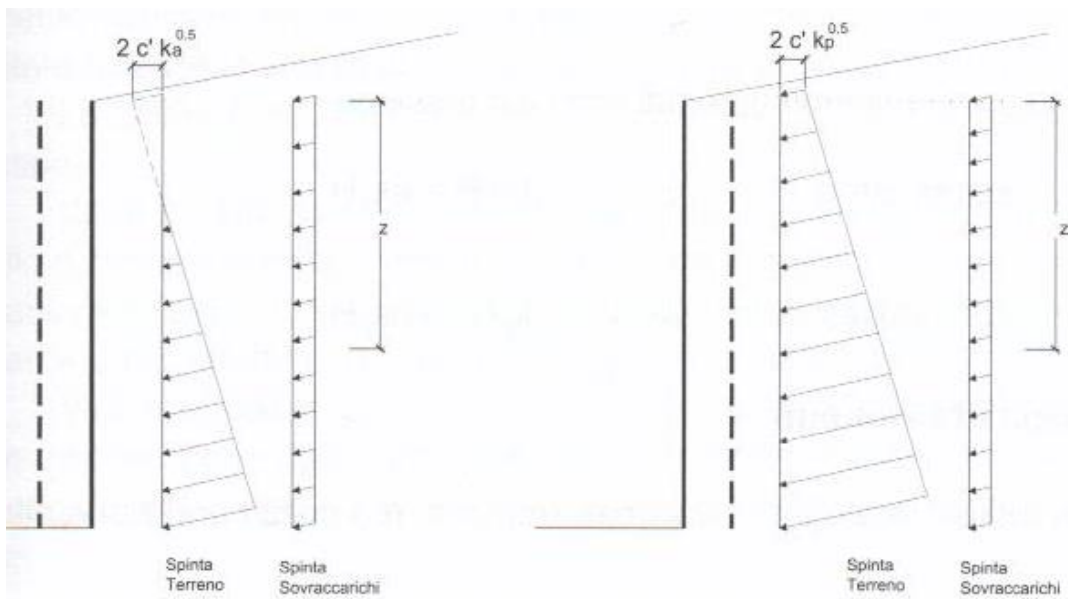
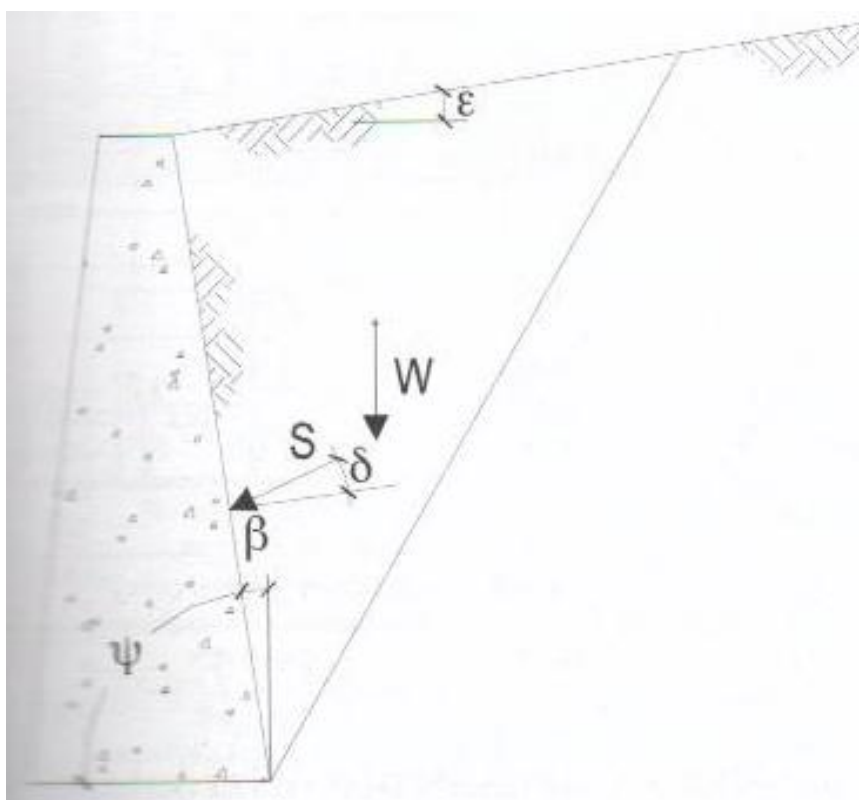


Figura 23: Spinte orizzontali in condizioni statiche



**Figura 24: Parametri geometrici per la valutazione dei coefficienti di spinta**

Il coefficiente di spinta passiva ove necessario può essere valutato con l'espressione di Caquot-Kerisel (1948) attraverso la quale si tiene in conto l'effetto sulla spinta della creazione in rottura passiva di superfici di scorrimento non piane. Non considerare tale effetto significherebbe sovrastimare considerevolmente la pressione passiva.

La distribuzione delle pressioni è da prassi considerata triangolare, mentre quella dei sovraccarichi è considerata costante con la profondità (rettangolare), per cui il punto di applicazione della spinta delle terre è posto a 1/3 dell'altezza del muro, mentre quella dei sovraccarichi è da considerarsi a metà dell'altezza del muro.



## 11.2. Condizioni di spinta sul muro in condizioni sismiche

L'analisi delle spinte sull'opera di sostegno in condizioni sismiche è eseguita attraverso metodi pseudo-statici. Nell'ipotesi di muro libero di muoversi in testa il metodo più appropriato è quello di Mononobe-Okabe il quale rappresenta un'estensione del criterio di Coulomb in cui il cuneo di rottura si muove come un corpo rigido soggetto ad accelerazioni verticali ed orizzontali. Tali accelerazioni sono espresse in funzione di opportuni coefficienti di intensità sismica  $k_v$  e  $k_h$ , menzionati anche dalle norme vigenti. Nel metodo considerato le condizioni di equilibrio limite sono espresse ancora da coefficienti di spinta attiva e passiva definiti a partire dalla geometria del sistema e dalle condizioni sismiche di calcolo.

Con riferimento allo schema di Figura 23, considerando un terreno in assenza di falda, si definisce:

$$\theta = \arctan \frac{k_h}{1 \pm k_v} \quad (0.1)$$

ed i coefficienti di spinta sono definiti da:

$$\text{per } \varepsilon \leq \phi' - \theta$$

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \varepsilon - \theta)}{\text{sen}(\psi - \delta - \theta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2} \quad (0.2)$$

$$\text{per } \varepsilon \geq \phi' - \theta$$

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta - \theta)} \quad (0.3)$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 74 di 153 |

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi - \Theta)}{\cos \Theta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi + \Theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen} \varphi \cdot \text{sen}(\varphi + \varepsilon - \Theta)}{\text{sen}(\psi + \Theta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

La spinta del terreno in condizioni sismiche vale perciò:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) k_a H^2$$

$$S_p = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) k_p H^2$$

con inclinazione del piano di rottura valutabile attraverso l'espressione:

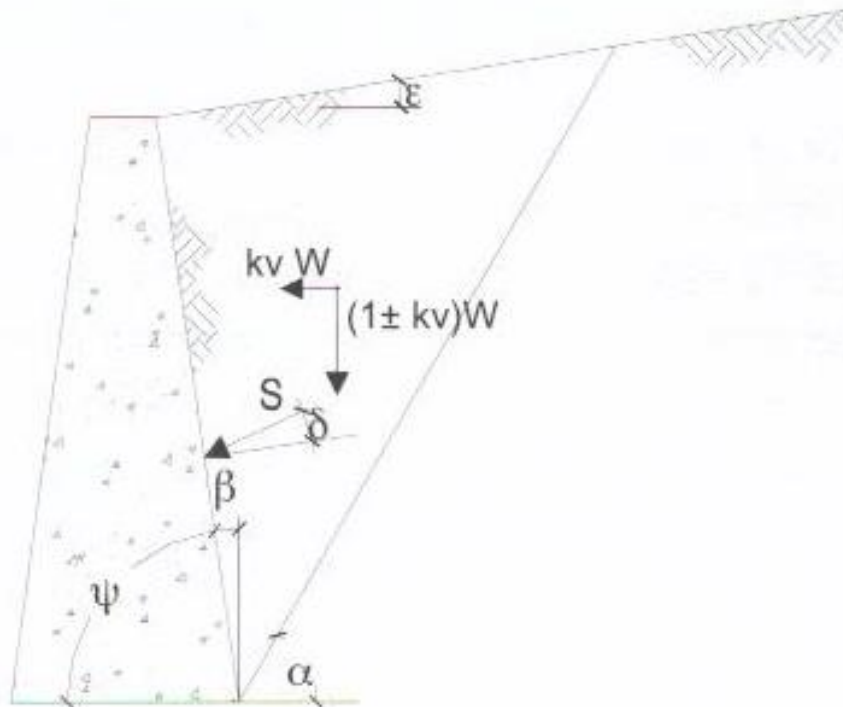
$$\alpha = \phi - \theta + \arctan \left[ \sqrt{\frac{P \cdot (P + Q) \cdot (1 + Q \cdot R) - P}{1 + R \cdot (P + Q)}} \right]$$

essendo:

$$P = \tan(\phi - \theta - \varepsilon)$$

$$Q = \cotan(\phi - \theta - \beta)$$

$$R = \tan(\theta + \beta + \delta)$$



**Figura 25: Azioni sismiche pseudo-statiche**

Nel caso di terreno con presenza di falda e permeabilità inferiore a  $5 \times 10^{-4} \text{m/sec}$  si trascurano gli effetti idrodinamici dell'acqua maggiorando l'angolo  $\theta$  secondo l'espressione:

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

e la spinta agente sulla parete si definisce solo a mezzo di effetti statici:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma' (1 + k_v) k_a H^2 + \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

Nel caso di valori maggiori di permeabilità va considerato anche l'effetto dinamico valutabile con l'espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{2} k_h \gamma_w H^2$$

|   |   |             |                   |                        |           |                     |
|---|---|-------------|-------------------|------------------------|-----------|---------------------|
|  <p><b>ITOLFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.<br/>CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</b> |             |                   |                        |           |                     |
| <b>SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019</b><br><b>Relazione di calcolo muri delle rampe</b>  | COMESSA<br>IZ09   | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>D26CL | DOCUMENTO<br>SL0200002 | REV.<br>A | FOGLIO<br>76 di 153 |

L'azione è applicata ad un'altezza pari ad  $0,4 \cdot H$  dalla base del muro.

### 11.3. Verifiche geotecniche

Sono state condotte, in accordo con la normativa vigente le seguenti verifiche globali di carattere geotecnico:

- verifica al ribaltamento, eseguita con riferimento allo spigolo anteriore della platea di fondazione, confrontando il momento stabilizzante  $M_s$  dovuto alle forze verticali con il momento ribaltante  $M_r$  provocato dalle forze orizzontali
- verifica allo scori verifica allo scorrimento, mento, eseguita controllando che la somma delle forze orizzontali sia sufficientemente minore della forza di attrito che si può esplicare per effetto dei carichi verticali  $N$  al contatto tra platea di fondazione e terreno. Il coefficiente di attrito  $f$  è assunto pari a:

$$f = tg (\delta) = tg (\phi)$$

trascurando il contributo stabilizzante dovuto alla spinta passiva del terreno anteriore.

- verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno utilizzando l'espressione della portanza unitaria limite secondo la teoria di Meyerhoff.

### 11.4. Verifiche strutturali

Sono state condotte, infine, le verifiche locali degli elementi che costituiscono l'opera di sostegno, valutando in corrispondenza delle sezioni caratteristiche le sollecitazioni esterne e i corrispondenti stati tensionali. Le sezioni di riferimento sono indicate nei report di calcolo. Le azioni sul paramento sono valutate considerando quest'ultimo incastrato nella soletta di fondazione. Le azioni sulla soletta di fondo (monte e valle) sono valutate col metodo del trapezio delle tensioni considerando questa incastrata al paramento.

## 12.AZIONI SISMICHE

In condizioni sismiche, il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; nel caso di specie per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Per la definizione dell'azione sismica si assumono i seguenti parametri di base:

- Categoria di suolo: **B;**
- Categoria topografica: **T<sub>1</sub>;**
- Vita nominale: **V<sub>N</sub> = 75 anni;**
- Classe d'uso : **II;**
- Coeff. d'uso: **c<sub>u</sub> = 1;**
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: **V<sub>R</sub> = V<sub>N</sub> x c<sub>u</sub> = 75 anni;**

I parametri che definiscono l'azione sismica, calcolati mediante il documento excel Spettri-NTC.ver.1.0.3.xls fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, vengono di seguito riportati:

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 78 di 153 |

### Individuazione della pericolosità sismica del sito

#### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

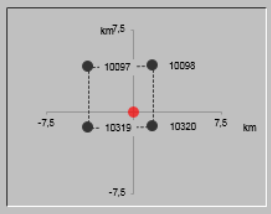
Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Reticolo di riferimento**



Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione:

Elaborazioni grafiche:

Elaborazioni numeriche:

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### Scelta della strategia di progettazione

#### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_D$   info

Valori di progetto

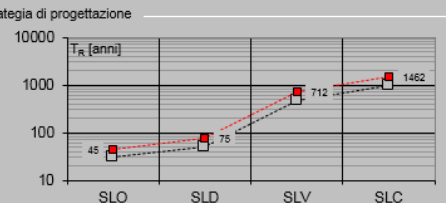
Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

|                                 |                        |                                   |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Stati limite di esercizio - SLE | SLO - $P_{V,R} = 81\%$ | <input type="text" value="45"/>   |
|                                 | SLD - $P_{V,R} = 63\%$ | <input type="text" value="75"/>   |
| Stati limite ultimi - SLU       | SLV - $P_{V,R} = 10\%$ | <input type="text" value="712"/>  |
|                                 | SLC - $P_{V,R} = 5\%$  | <input type="text" value="1462"/> |

Elaborazioni:

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO:  
--- Strategia per costruzioni ordinarie  
--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 79 di 153 |

### Determinazione dell'azione di progetto SLV

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato: SLV info

---

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: B info      $S_B = 1,191$       $C_C = 1,363$  info  
 Categoria topografica: T1 info      $h/H = 0,000$       $S_T = 1,000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

---

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE)     Smorzamento  $\xi$  (%): 5      $\eta = 1,000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU)     Fattore  $q_s$ : 1     Regol. in altezza: si info

---

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto     Fattore  $q_v$ : 1      $\eta = 1/q_v = 1,000$  info

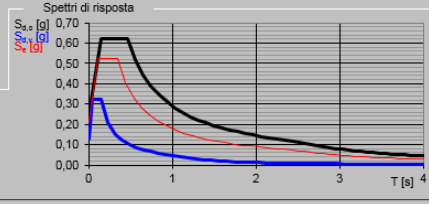
---

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

$S_{d+1}$  [g]

$S_{e+1}$  [g]

$S_{c+1}$  [s]



---

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 80 di 153 |

Determinazione dell'azione di progetto SLV

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV**

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,210 g |
| $F_0$        | 2,496   |
| $T_C^*$      | 0,342 s |
| $S_s$        | 1,191   |
| $C_C$        | 1,363   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,191   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,155 s |
| $T_C$  | 0,466 s |
| $T_D$  | 2,439 s |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

|       | T [s] | Se [g] |
|-------|-------|--------|
|       | 0,000 | 0,250  |
| $T_B$ | 0,155 | 0,623  |
| $T_C$ | 0,466 | 0,623  |
|       | 0,560 | 0,519  |
|       | 0,654 | 0,444  |
|       | 0,748 | 0,388  |
|       | 0,842 | 0,345  |
|       | 0,936 | 0,310  |
|       | 1,030 | 0,282  |
|       | 1,124 | 0,259  |
|       | 1,218 | 0,239  |
|       | 1,312 | 0,222  |
|       | 1,406 | 0,207  |
|       | 1,500 | 0,194  |
|       | 1,593 | 0,182  |
|       | 1,687 | 0,172  |
|       | 1,781 | 0,163  |
|       | 1,875 | 0,155  |
|       | 1,969 | 0,148  |
|       | 2,063 | 0,141  |
|       | 2,157 | 0,135  |
|       | 2,251 | 0,129  |
|       | 2,345 | 0,124  |
| $T_C$ | 2,439 | 0,119  |
|       | 2,513 | 0,112  |
|       | 2,587 | 0,106  |
|       | 2,662 | 0,100  |
|       | 2,736 | 0,095  |
|       | 2,811 | 0,090  |
|       | 2,885 | 0,085  |
|       | 2,959 | 0,081  |
|       | 3,034 | 0,077  |
|       | 3,108 | 0,073  |
|       | 3,182 | 0,070  |
|       | 3,257 | 0,067  |
|       | 3,331 | 0,064  |
|       | 3,405 | 0,061  |
|       | 3,480 | 0,059  |
|       | 3,554 | 0,056  |
|       | 3,628 | 0,054  |
|       | 3,703 | 0,052  |
|       | 3,777 | 0,050  |

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di SLV, i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche, con le espressioni che seguono; la Tabella 1 ne riporta una sintesi.



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 81 di 153 |

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

essendo

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

**Tabella 1: Sintesi dei parametri sismici**

| $S_s$ | $S_t$ | $a_g$ | $a_{\max}$ | $\beta_m$ | $k_h$ | $k_v$ |
|-------|-------|-------|------------|-----------|-------|-------|
| [°]   | [°]   | [g]   | [g]        | [-]       | [-]   | [-]   |
| 1.191 | 1     | 0.210 | 0.250      | 0.38      | 0.095 | 0.048 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 82 di 153 |

## 13. SOFTWARE DI CALCOLO

Le verifiche geotecniche e strutturali dell'opera di sostegno sono state eseguite mediante apposito foglio di calcolo.

La determinazione dell'accelerazione massima attesa al suolo è stata effettuata per mezzo di apposito foglio di calcolo (Spettri-NTCver.1.0.3) distribuito dal CSLLPP.

### 13.1. Caratteristiche geotecniche del terreno

| <b>Dati Geotecnici</b>  |  |                      | <b>valori caratteristici</b>   | <b>valori di progetto</b> |            |
|-------------------------|--|----------------------|--|---------------------------|------------|
|                         |  |                      | <b>SLE</b>   | <b>STR/GEO</b>            | <b>EQU</b> |
| Dati Terrapieno         | Angolo di attrito del terrapieno                       | (°)                  | $\phi'$  | 35.00                     | 29.26      |
|                         | Peso Unità di Volume del terrapieno                    | (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma'$  | 20.00                     | 20.00      |
|                         | Angolo di attrito terreno-superficie ideale            | (°)                  | $\delta$   | 23.33                     | 19.50      |
| Dati Terreno Fondazione | Condizioni   |                      | <input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate |                           |            |
|                         | Coesione Terreno di Fondazione                         | (kPa)                | $c1'$  | 0.00                      | 0.00       |
|                         | Angolo di attrito del Terreno di Fondazione            | (°)                  | $\phi1'$   | 38.00                     | 32.01      |
|                         | Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione         | (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma1$  | 20.00                     | 20.00      |
|                         | Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione     | (kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma d$   | 20.00                     | 20.00      |
|                         | Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B) | (m)                  | Hs   | 5.00                      |            |
|                         | Modulo di deformazione                                 | (kN/m <sup>2</sup> ) | E  | 65000                     |            |

Dati sismici per la definizione dell'azione sismica per le seguenti verifiche:

1. Verifiche strutturali (SLV di tipo strutturale – raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali)
2. SLV di tipo geotecnico:
  - Scorrimento su piano di posa
  - Capacità portante del terreno della fondazione

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 83 di 153 |

|              |  |  |           |     |
|--------------|--|--|-----------|-----|
| Dati Sismici | Accelerazione sismica                                | $a_g/g$  | 0.21      | (-) |
|              | Coefficiente Amplificazione Stratigrafico            | $S_S$  | 1.191     | (-) |
|              | Coefficiente Amplificazione Topografico              | $S_T$  | 1         | (-) |
|              | Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima | $\beta_s$  | 0.38      | (-) |
|              | Coefficiente sismico orizzontale                     | kh   | 0.0950418 | (-) |
|              | Coefficiente sismico verticale                       | kv   | 0.0475    | (-) |
|              | Muro libero di traslare o ruotare                    | <input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no |           |     |

|                        |  |      | SLE   |  | STR/GEO |  | EQU   |  |
|------------------------|--|------|-------|--|---------|--|-------|--|
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico          | ka   | 0.244 |  | 0.244   |  | 0.306 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +  | kas+ | 0.300 |  | 0.300   |  | 0.369 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -  | kas- | 0.306 |  | 0.306   |  | 0.376 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva                 | kp   | 4.204 |  | 4.204   |  | 3.255 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma + | kps+ | 4.014 |  | 4.014   |  | 3.088 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma - | kps- | 3.995 |  | 3.995   |  | 3.070 |  |

Dati sismici per la definizione dell'azione sismica per la verifica al ribaltamento del muro di sostegno durante l'azione sismica (si utilizza un valore del  $\beta_m$  incrementato del 50%):

|              |  |  |           |     |
|--------------|--|--|-----------|-----|
| Dati Sismici | Accelerazione sismica                                | $a_g/g$  | 0.21      | (-) |
|              | Coefficiente Amplificazione Stratigrafico            | $S_S$  | 1.191     | (-) |
|              | Coefficiente Amplificazione Topografico              | $S_T$  | 1         | (-) |
|              | Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima | $\beta_s$  | 0.57      | (-) |
|              | Coefficiente sismico orizzontale                     | kh   | 0.1425627 | (-) |
|              | Coefficiente sismico verticale                       | kv   | 0.0713    | (-) |
|              | Muro libero di traslare o ruotare                    | <input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no |           |     |

|                        |  |      | SLE   |  | STR/GEO |  | EQU   |  |
|------------------------|--|------|-------|--|---------|--|-------|--|
| Coefficienti di Spinta | Coeff. di Spinta Attiva Statico          | ka   | 0.244 |  | 0.244   |  | 0.306 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +  | kas+ | 0.330 |  | 0.330   |  | 0.403 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -  | kas- | 0.346 |  | 0.346   |  | 0.421 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva                 | kp   | 4.204 |  | 4.204   |  | 3.255 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma + | kps+ | 3.923 |  | 3.923   |  | 3.006 |  |
|                        | Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma - | kps- | 3.878 |  | 3.878   |  | 2.966 |  |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 84 di 153 |





## 13.2. Analisi dei carichi

### 13.2.1. Carichi permanenti:

Sul testa del muro e agente un carico concentrato dovuta al parapetto con dimensioni 1.10mx0.3m e  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ . Carico ha un valore di  $1.1 \times 0.3 \times 25 = 8.25 \text{ kN}$ .

### 13.2.2. Sovraccarico accidentale:

Il sovraccarico accidentale è pari a  $20.00 \text{ kN/m}^2$  rappresentativo del carico per effetti dei mezzi agricoli.

| <b>Carichi Agenti</b> |   |   |                      | valori caratteristici |       | valori di progetto  |   |
|-----------------------|---|---|----------------------|-----------------------|-------|---|---|
|                       |   |   |                      | SLE - sisma           |       | STR/GEO   | EQU   |
| Carichi permanenti    | Sovraccarico permanente                                       |   | (kN/m <sup>2</sup> ) | qp                    | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                       | Sovraccarico su zattera di monte                              | <input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no                        |                      |                       |       |   |   |
|                       | Forza Orizzontale in Testa permanente                         |   | (kN/m)               | fp                    | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                       | Forza Verticale in Testa permanente                           |   | (kN/m)               | vp                    | 8.25  | 8.25  | 7.43  |
|                       | Momento in Testa permanente                                   |   | (kNm/m)              | mp                    |       | 0.00  | 0.00  |
| Condizioni Statiche   | Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche               |   | (kN/m <sup>2</sup> ) | q                     | 20.00 | 30.00   | 30.00   |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche |   | (kN/m)               | f                     |       | 0.00  | 0.00  |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche   |   | (kN/m)               | v                     | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni statiche           |   | (kNm/m)              | m                     |       | 0.00  | 0.00  |
|                       | Coefficienti di combinazione                                  | condizione frequente $\Psi 1$   |                      |                       | 0.75  | condizione quasi permanente $\Psi 2$  |   |
| Condizioni Sismiche   | Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche               |   | (kN/m <sup>2</sup> ) | qs                    | 0.00  |   |   |
|                       | Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche |  | (kN/m)               | fs                    | 0.00  |  |  |
|                       | Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche   |  | (kN/m)               | vs                    | 0.00  |   |   |
|                       | Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche           |   | (kNm/m)              | ms                    | 0.00  |   |   |

## 13.3. Forze inerziali

In condizioni sismiche le forze d'inerzia orizzontali e verticali su paramento, soletta di fondazione e terreno di riempimento su soletta di monte sono valutate attraverso le espressioni:

$$F_h = k_h W$$

$$F_v = k_v W$$

dove W è il peso delle masse oscillanti applicato nei rispettivi baricentri ed i parametri di intensità sismica sono definiti in precedenza.

|   |   |             |                   |                        |           |                     |
|---|---|-------------|-------------------|------------------------|-----------|---------------------|
|  <p><b>ITALFERR</b><br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.<br/>CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</b> |             |                   |                        |           |                     |
| <b>SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019</b><br><b>Relazione di calcolo muri delle rampe</b>  | COMESSA<br>IZ09   | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>D26CL | DOCUMENTO<br>SL0200002 | REV.<br>A | FOGLIO<br>85 di 153 |

## 14. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto nelle norme riportate nel §2.

Per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- ribaltamento;

secondo l'approccio progettuale "Approccio 2" e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II E 6.5.I

$$\Rightarrow (A1+M1+R3)$$

- Stabilità globale del complesso opera di sostegno –terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1, con la combinazione:

$$\text{Comb 2} \Rightarrow (A2+M2+R2)$$

SLU di tipo strutturale (STR)

raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali secondo l'approccio progettuale "Approccio 2" e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II E 6.5.I

$$\Rightarrow (A1+M1+R3)$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara)} \Rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 86 di 153 |

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente)} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è definita nella tabella 5.2.VI:

$$\text{Combinazione sismica+M1+R3)} \quad \Rightarrow \quad E + G_1 + G_2 + \sum i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione eccezionale, la combinazione per gli stati limite ultimi si prenderà:

$$A1+M1+R3 \quad \Rightarrow \quad A_d + G_1 + G_2 + \sum i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 87 di 153 |

| Carichi    | Effetto     | Coeff. Parziale | EQU  | A1 (STR) | A2 (GEO) | SLE  | altro |
|------------|-------------|-----------------|------|----------|----------|------|-------|
| Permanenti | favorevole  | $\gamma_G$      | 0.90 | 1.00     | 1.00     | 1.00 | 1.00  |
|            | sfavorevole |                 | 1.10 | 1.30     | 1.00     | 1.00 | 1.00  |
| Variabili  | favorevole  | $\gamma_Q$      | 0.00 | 0.00     | 0.00     | 0.00 | 1.00  |
|            | sfavorevole |                 | 1.50 | 1.50     | 1.30     | 1.00 | 1.00  |

 Coefficienti parziali per le azioni  $\gamma_G, \gamma_Q$ 

| Parametro              |                | Coeff. Parziale  | M1   | M2   | SLE  | altro |
|------------------------|----------------|------------------|------|------|------|-------|
| angolo d'attrito       | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00  |
| coesione               | $c'_k$         | $\gamma_{c'}$    | 1.00 | 1.25 | 1.00 | 1.00  |
| resistenza non drenata | $c_{uk}$       | $\gamma_{cu}$    | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| peso unità di volume   | $\gamma$       | $\gamma_\gamma$  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00  |

 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno  $\gamma_M$ .

| Verifica                     | Coeff. Parziale | R1   | R2   | R3   | SLE  | altro |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|------|-------|
| Capacità portante fondazione | $\gamma_R$      | 1.00 | 1.00 | 1.40 | 2.00 | 1.00  |
| Scorrimento                  |                 | 1.00 | 1.00 | 1.10 | 1.30 | 1.00  |
| Ribaltamento                 |                 | 1.00 | 1.00 | 1.15 | 1.50 | 1.00  |

 Coefficienti parziali delle resistenze  $\gamma_R$  per la condizione statica.

| Verifica                     | Coeff. Parziale | R1   | R2   | R3   | SLE  | altro |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|------|-------|
| Capacità portante fondazione | $\gamma_R$      | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 2.00 | 1.00  |
| Scorrimento                  |                 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 1.00  |
| Ribaltamento                 |                 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.00  |

 Coefficienti parziali delle resistenze  $\gamma_R$  per la condizione sismica.

## 15. VERIFICHE

### 15.1. Caratteristiche dei materiali utilizzati nelle verifiche

#### **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

##### Calcestruzzo

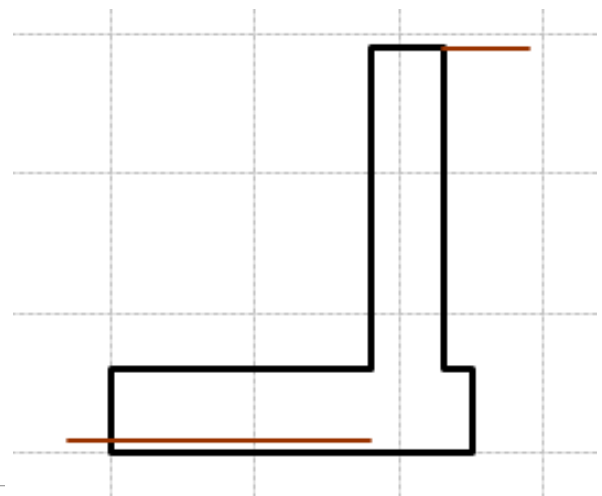
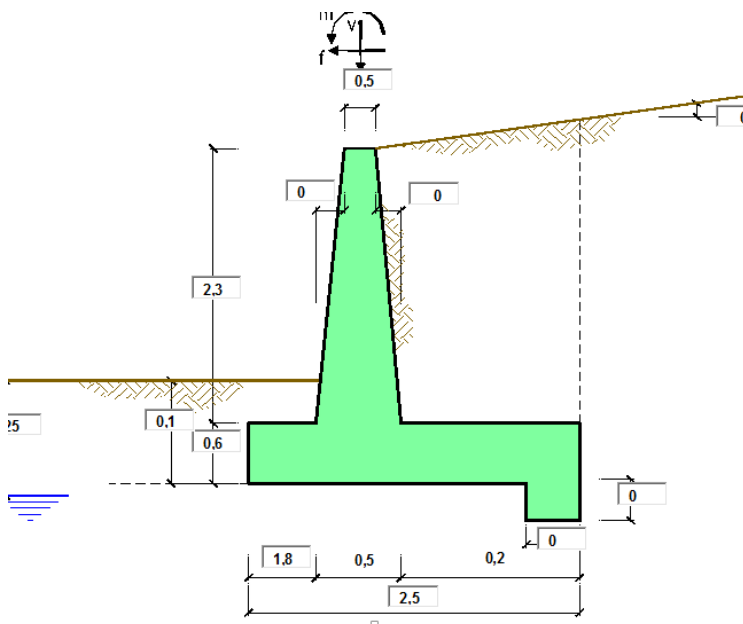
|  |                                     |       |  |
|--|-------------------------------------|-------|--|
| classe cls   | <input type="text" value="C25/30"/> |       |  |
| Rck  | 30                                  | (MPa) |  |
| fck  | 25                                  | (MPa) |  |
| fc <sub>m</sub>  | 33                                  | (MPa) |  |
| E <sub>c</sub>   | 31476                               | (MPa) |  |
| α <sub>cc</sub>  | 0.85                                |       |  |
| γ <sub>c</sub>   | 1.50                                |       |  |
|  |                                     |       |  |
| f <sub>cd</sub> = α <sub>cc</sub> * f <sub>ck</sub> / γ <sub>c</sub> | 14.17                               | (MPa) |  |
| f <sub>ctm</sub> = 0.30 * f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup>             | 2.56                                | (MPa) |  |

##### Acciaio

|   |                                    |       |  |
|---|------------------------------------|-------|--|
| tipo di acciaio   | <input type="text" value="B450C"/> |       |  |
| f <sub>yk</sub> =   | 450                                | (MPa) |  |
| γ <sub>s</sub> =  | 1.15                               |       |  |
| f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>s</sub> / γ <sub>E</sub> = | 391.30                             | (MPa) |  |
|   |                                    |       |  |
| E <sub>s</sub> =  | 210000                             | (MPa) |  |
| ε <sub>ys</sub> =   | 0.19%                              |       |  |

### 15.2. Muro di sostegno (TIPO 1)

#### 15.2.1. Verifiche geotecniche





**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

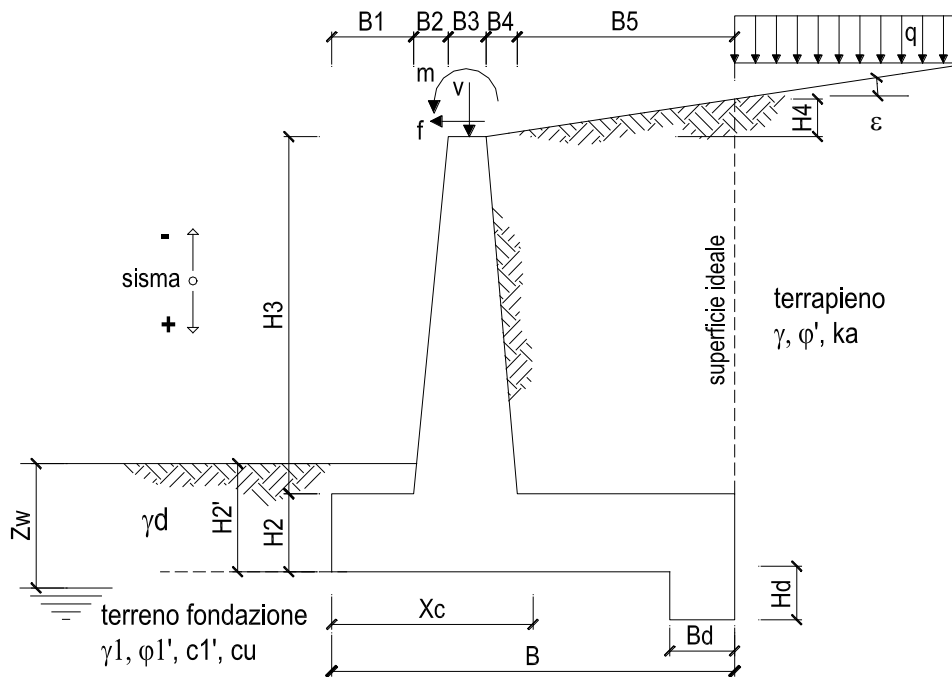
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 89 di 153 |

Vista la particolare conformazione della sezione in esame, le spinte agenti sul paramento non vengono considerate, si fa quindi riferimento alla sola verifica a carico limite della fondazione nell'ambito delle verifiche geotecniche, di cui si assume la seguente combinazione:

**Combinazioni coefficienti parziali di verifica**

|                   |                    |                |                 |                                  |
|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| <b>SLU</b>        | <b>Approccio 1</b> | <b>comb. 1</b> | <b>A1+M1+R1</b> | <input type="radio"/>            |
|                   |                    | <b>comb. 2</b> | <b>A2+M2+R2</b> | <input type="radio"/>            |
|                   | <b>Approccio 2</b> |                | <b>A1+M1+R3</b> | <input checked="" type="radio"/> |
| <b>SLE (DM88)</b> |                    |                |                 | <input type="radio"/>            |
| <b>altro</b>      |                    |                |                 | <input type="radio"/>            |

### 15.2.2. Verifiche geotecniche in condizione statica



#### OPERA

#### DATI DI PROGETTO:

##### Geometria del Muro

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| Elevazione                 | H3 = | 2.30 | (m) |
| Aggetto Valle              | B2 = | 0.00 | (m) |
| Spessore del Muro in Testa | B3 = | 0.50 | (m) |
| Aggetto monte              | B4 = | 0.00 | (m) |

##### Geometria della Fondazione

|                      |      |      |     |
|----------------------|------|------|-----|
| Larghezza Fondazione | B =  | 2.50 | (m) |
| Spessore Fondazione  | H2 = | 0.60 | (m) |
| Suola Lato Valle     | B1 = | 1.80 | (m) |
| Suola Lato Monte     | B5 = | 0.20 | (m) |
| Altezza dente        | Hd = | 0.00 | (m) |
| Larghezza dente      | Bd = | 0.00 | (m) |
| Mezzeria Sezione     | Xc = | 1.25 | (m) |

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

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 91 di 153 |

**FORZE VERTICALI**

|   |  | SLE    | STR/GEO |
|---|--|--------|---------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |  |        |         |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) | 0.00    |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 28.75   |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) | 0.00    |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) | 37.50   |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 0.00    |
| Pm =  | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$                | (kN/m) | 66.25   |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |  |        |         |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$                | (kN/m) | 9.20    |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')$                | (kN/m) | 0.00    |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0.00    |
| Pt =  | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                     | (kN/m) | 9.20    |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |  |        |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4+B5)$                            | (kN/m) | 4       |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0       |

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

|  |   | SLE     | STR/GEO |
|--|---|---------|---------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |         |         |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$                   | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kNm/m) | 58.94   |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kNm/m) | 46.88   |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                    | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm =   | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$             | (kNm/m) | 105.81  |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) | 22.08   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kNm/m) | 0.00    |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt =   | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kNm/m) | 22.08   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$    | (kNm/m) | 9.6     |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$   | (kNm/m) | 0       |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 92 di 153 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |   |        | SLE   | STR/GEO |
|-----------|---|--------|-------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$ | (kN/m) | 20.55 | 26.72   |
| Sq perm = | $q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$                  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$                  | (kN/m) | 14.18 | 21.26   |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                                     |        |       |       |
|------------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$              | (kN/m) | 18.87 | 24.54 |
| Sqh perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 13.02 | 19.53 |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                     |        |      |       |
|------------|-------------------------------------|--------|------|-------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$              | (kN/m) | 8.14 | 10.58 |
| Sqv perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00  |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 5.61 | 8.42  |

- Spinta passiva sul dente

|      |   |        |      |      |
|------|---|--------|------|------|
| Sp = | $\frac{1}{2} \cdot g1 \cdot Hd^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \gamma1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c1 \cdot kp^{0.5} + \gamma1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd \right]$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|------|---|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |  |         | SLE   | STR/GEO |
|-------------|--|---------|-------|---------|
| MSt1 =      | $St \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$  | (kNm/m) | 18.25 | 23.72   |
| MSt2 =      | $St \cdot B$   | (kNm/m) | 20.35 | 26.46   |
| MSq1 perm = | $Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$  | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$   | (kNm/m) | 18.87 | 28.31   |
| MSq2 perm = | $Sqv \text{ perm} \cdot B$   | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$  | (kNm/m) | 14.03 | 21.05   |
| MSp =       | $\gamma1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c1 \cdot kp^{0.5} + \gamma1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$ | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|          |                                   |         |       |       |
|----------|-----------------------------------|---------|-------|-------|
| Mfext1 = | $mp + m$                          | (kNm/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mfext2 = | $(fp + f) \cdot (H3 + H2)$        | (kNm/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mfext3 = | $(vp + v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) | 16.91 | 16.91 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 93 di 153 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + St_v + Sq_v \text{ perm} + Sq_v \text{ acc} \quad 102.70 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 44.06 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.78 \quad (-)$$

$$\mathbf{Fs \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + Sp) / T \quad \mathbf{1.82} \quad > \quad \mathbf{1.1}}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 192.31 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 52.03 \quad (\text{kNm/m})$$

$$\mathbf{Fs \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{3.70} \quad > \quad \mathbf{1.15}}$$

### VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ \text{Sovr acc}) \quad N_{min} \quad N_{max} \quad 102.70 \quad 108.70 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - Sp \quad 44.06 \quad 44.06 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 140.28 \quad 154.68 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -11.90 \quad -18.80 \quad (\text{kNm/m})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |           |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 94 di 153 |

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                             |                                      |       |       |                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| $c'1'$                      | coesione terreno di fondaz.          | 0.00  |       | (kPa)                |
| $\phi 1'$                   | angolo di attrito terreno di fondaz. | 38.00 |       | (°)                  |
| $\gamma_1$                  | peso unità di volume terreno fondaz. | 20.00 |       | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $q_0 = \gamma d \cdot H_2'$ | sovraccarico stabilizzante           | 2.00  |       | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| $e = M / N$                 | eccentricità                         | -0.12 | -0.17 | (m)                  |
| $B^* = B - 2e$              | larghezza equivalente                | 2.27  | 2.15  | (m)                  |

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                        |       |  |     |
|--|------------------------|-------|--|-----|
| $N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$ | (1 in cond. nd)        | 48.93 |  | (-) |
| $N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$                                    | (2+ $\pi$ in cond. nd) | 61.35 |  | (-) |
| $N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$                   | (0 in cond. nd)        | 78.02 |  | (-) |

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|   |                 |      |      |     |
|---|-----------------|------|------|-----|
| $i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot \phi))^m$          | (1 in cond. nd) | 0.33 | 0.35 | (-) |
| $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$                             |                 | 0.31 | 0.31 | (-) |
| $i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cot \phi))^{m+1}$ |                 | 0.19 | 0.19 | (-) |

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

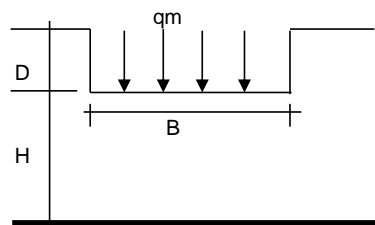
|           |                          |        |        |                      |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| $q_{lim}$ | (carico limite unitario) | 361.34 | 364.05 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N$$

|           |             |   |            |
|-----------|-------------|---|------------|
| $N_{min}$ | <b>7.98</b> | > | <b>1.4</b> |
| $N_{max}$ | <b>7.21</b> | > |            |

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

|             |        |         |
|-------------|--------|---------|
| N           | 96.05  | (kN/m)  |
| M           | -23.22 | (kNm/m) |
| $e = M / N$ | -0.24  | (m)     |
| $B^*$       | 2.02   | (m)     |

Profondità Piano di Posa della Fondazione

|               |      |     |
|---------------|------|-----|
| D =           | 0.10 | (m) |
| $D / B^*$ =   | 0.05 | (m) |
| $H_s / B^*$ = | 2.48 | (m) |

Carico unitario medio ( $q_m$ )

$$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* = 50.93 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

|           |       |     |
|-----------|-------|-----|
| $\mu_0$ = | 0.962 | (-) |
|-----------|-------|-----|

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

|           |      |     |
|-----------|------|-----|
| $\mu_1$ = | 0.76 | (-) |
|-----------|------|-----|

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E = 1.15 \quad (\text{mm})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 95 di 153 |

### 15.2.3. Verifiche geotecniche allo scorrimento e a carico limite della fondazione in condizione sismica

#### FORZE VERTICALI

|   |   | SLE          | STR/GEO |
|---|---|--------------|---------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |   |              |         |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$        | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) 28.75 | 28.75   |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$        | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$             | (kN/m) 37.50 | 37.50   |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Pm =  | Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5                   | (kN/m) 66.25 | 66.25   |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |   |              |         |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                  | (kN/m) 9.20  | 9.20    |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$              | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4 + B5)$                          | (kN/m) 0.00  | 0.00    |
| Pt =  | Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr                        | (kN/m) 9.20  | 9.20    |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |   |              |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4 + B5)$                           | (kN/m) 4     | 6       |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4 + B5)$                          | (kN/m) 0     |         |

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

|  |   | SLE            | STR/GEO |
|--|---|----------------|---------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |                |         |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$                         | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$              | (kNm/m) 58.94  | 58.94   |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$               | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                                 | (kNm/m) 46.88  | 46.88   |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                            | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm =   | Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5                       | (kNm/m) 105.81 | 105.81  |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |                |         |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) 22.08  | 22.08   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$  | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$         | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$ | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt =   | Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr                           | (kNm/m) 22.08  | 22.08   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |                |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$    | (kNm/m) 9.6    | 14.4    |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4 + B5))$   | (kNm/m) 0      |         |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 96 di 153 |

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

|        |                 |        |      |
|--------|-----------------|--------|------|
| Ps h = | $P_m \cdot k_h$ | (kN/m) | 6.30 |
| Ps v = | $P_m \cdot k_v$ | (kN/m) | 3.15 |

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

|          |                 |        |      |
|----------|-----------------|--------|------|
| Ptsh =   | $P_t \cdot k_h$ | (kN/m) | 0.87 |
| Ptsh v = | $P_t \cdot k_v$ | (kN/m) | 0.44 |

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

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPs1 h = | $k_h \cdot P_{m1} \cdot (H_2 + H_3/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs2 h = | $k_h \cdot P_{m2} \cdot (H_2 + H_3/2)$ | (kNm/m) | 4.78 |
| MPs3 h = | $k_h \cdot P_{m3} \cdot (H_2 + H_3/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs4 h = | $k_h \cdot P_{m4} \cdot (H_2/2)$       | (kNm/m) | 1.07 |
| MPs5 h = | $-k_h \cdot P_{m5} \cdot (H_d/2)$      | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs h =  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$     | (kNm/m) | 5.85 |

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

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPs1 v = | $k_v \cdot P_{m1} \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$     | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs2 v = | $k_v \cdot P_{m2} \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$       | (kNm/m) | 2.80 |
| MPs3 v = | $k_v \cdot P_{m3} \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs4 v = | $k_v \cdot P_{m4} \cdot (B/2)$                     | (kNm/m) | 2.23 |
| MPs5 v = | $k_v \cdot P_{m5} \cdot (B - B_d/2)$               | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs v =  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$                 | (kNm/m) | 5.03 |

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

|           |  |         |      |
|-----------|--|---------|------|
| MPts1 h = | $k_h \cdot P_{t1} \cdot (H_2 + H_3/2)$         | (kNm/m) | 1.53 |
| MPts2 h = | $k_h \cdot P_{t2} \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$   | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 h = | $k_h \cdot P_{t3} \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts h =  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                        | (kNm/m) | 1.53 |

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

|           |  |         |      |
|-----------|--|---------|------|
| MPts1 v = | $k_v \cdot P_{t1} \cdot ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5)$                               | (kNm/m) | 1.05 |
| MPts2 v = | $k_v \cdot P_{t2} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5)$                         | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 v = | $k_v \cdot P_{t3} \cdot ((H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts v =  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 1.05 |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 97 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA +

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

|   |        | SLE   | STR/GEO |
|---|--------|-------|---------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                              | (kN/m) | 20.55 | 20.55   |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1\ stat$ | (kN/m) | 5.85  | 5.85    |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione sismica +

|   |        |       |       |
|---|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1\ stat \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 18.87 | 18.87 |
| Sst1h sism = $Sst1\ sism \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 5.38  | 5.38  |
| Ssq1h perm = $Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1\ acc \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica +

|   |        |      |      |
|---|--------|------|------|
| Sst1v stat = $Sst1\ stat \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 8.14 | 8.14 |
| Sst1v sism = $Sst1\ sism \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 2.32 | 2.32 |
| Ssq1v perm = $Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Ssq1v acc = $Ssq1\ acc \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

- Spinta passiva sul dente

|   |        |      |      |
|---|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|---|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

|  |           | SLE   | STR/GEO |
|--|-----------|-------|---------|
| MSst1 stat = $Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | ( kNm/m ) | 18.25 | 18.25   |
| MSst1 sism = $Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | ( kNm/m ) | 5.20  | 5.20    |
| MSst2 stat = $Sst1v\ stat \cdot B$   | ( kNm/m ) | 20.35 | 20.35   |
| MSst2 sism = $Sst1v\ sism \cdot B$   | ( kNm/m ) | 5.80  | 5.80    |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$   | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00    |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$  | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00    |
| MSp = $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00    |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|   |           |  |       |
|---|-----------|--|-------|
| Mfext1 = $mp+ms$                          | ( kNm/m ) |  | 0.00  |
| Mfext2 = $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | ( kNm/m ) |  | 0.00  |
| Mfext3 = $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) |  | 16.91 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 98 di 153 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 97.74 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 31.42 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.78 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{2.43} \quad > \quad \mathbf{1}$$

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (S_{ovr} \text{ acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 97.74 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 97.74 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 31.42 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 146.21 \quad 146.21 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -24.03 \quad -24.03 \quad (\text{kNm/m})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO    |
|---------|-------|----------|-----------|------|-----------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 99 di 153 |

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                             |                                      |       |       |                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| c1'                         | coesione terreno di fondaz.          | 0.00  |       | (kN/mq)              |
| $\phi 1'$                   | angolo di attrito terreno di fondaz. | 38.00 |       | (°)                  |
| $\gamma_1$                  | peso unità di volume terreno fondaz. | 20.00 |       | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $q_0 = \gamma d \cdot H_2'$ | sovraccarico stabilizzante           | 2.00  |       | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| $e = M / N$                 | eccentricità                         | -0.25 | -0.25 | (m)                  |
| $B^* = B - 2e$              | larghezza equivalente                | 2.01  | 2.01  | (m)                  |

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                        |       |  |     |
|--|------------------------|-------|--|-----|
| $N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$ | (1 in cond. nd)        | 48.93 |  | (-) |
| $N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$                                    | (2+ $\pi$ in cond. nd) | 61.35 |  | (-) |
| $N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$                   | (0 in cond. nd)        | 78.02 |  | (-) |

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|   |                 |      |      |     |
|---|-----------------|------|------|-----|
| $i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^m$          | (1 in cond. nd) | 0.46 | 0.46 | (-) |
| $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$                             |                 | 0.45 | 0.45 | (-) |
| $i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^{m+1}$ |                 | 0.31 | 0.31 | (-) |

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

|           |                          |        |        |                      |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| $q_{lim}$ | (carico limite unitario) | 534.61 | 534.61 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

|                         |   |      |              |   |            |
|-------------------------|---|------|--------------|---|------------|
| <b>FS carico limite</b> | <b>F = <math>q_{lim} \cdot B^* / N</math></b> | Nmin | <b>10.98</b> | > | <b>1.2</b> |
|                         |   | Nmax | <b>10.98</b> | > |            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 100 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

|   |        | SLE   | STR/GEO |
|---|--------|-------|---------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$  | (kN/m) | 20.55 | 20.55   |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_{as} - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 3.95  | 3.95    |
| Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 18.87 | 18.87 |
| Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 3.63  | 3.63  |
| Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 8.14 | 8.14 |
| Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 1.57 | 1.57 |
| Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

- Spinta passiva sul dente

|   |        |      |      |
|---|--------|------|------|
| $S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1 - k_v) \cdot H_d^2 \cdot k_{ps} + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{-0.5} + \gamma_1 \cdot (1 - k_v) \cdot k_{ps} \cdot H_d^2) \cdot H_d$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|---|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

|  |         | SLE   | STR/GEO |
|--|---------|-------|---------|
| MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + h_d) / 3 - h_d)$  | (kNm/m) | 18.25 | 18.25   |
| MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$  | (kNm/m) | 3.51  | 3.51    |
| MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$  | (kNm/m) | 20.35 | 20.35   |
| MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$  | (kNm/m) | 3.91  | 3.91    |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$  | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$  | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |
| MSp = $\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_{ps} / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_{ps}^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_{ps} \cdot H_d^2) \cdot H_d^2 / 2$ | (kNm/m) | 0.00  | 0.00    |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|  |         |       |  |
|--|---------|-------|--|
| Mfext1 = $m_p + m_s$                               | (kNm/m) | 0.00  |  |
| Mfext2 = $(f_p + f_s) \cdot (H_3 + H_2)$           | (kNm/m) | 0.00  |  |
| Mfext3 = $(v_p + v_s) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$ | (kNm/m) | 16.91 |  |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 101 di 153 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 89.82 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 29.68 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.78 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{2.36} \quad > \quad \mathbf{1}$$

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{\min} & N_{\max} \\ 89.82 & 89.82 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 29.68 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 133.86 \quad 133.86 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -21.58 \quad -21.58 \quad (\text{kNm/m})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 102 di 153 |

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                             |                                      |       |       |  |                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|--|----------------------|
| c1'                         | coesione terreno di fondaz.          | 0.00  |       |  | (kN/mq)              |
| $\phi 1'$                   | angolo di attrito terreno di fondaz. | 38.00 |       |  | (°)                  |
| $\gamma_1$                  | peso unità di volume terreno fondaz. | 20.00 |       |  | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $q_0 = \gamma d \cdot H_2'$ | sovraccarico stabilizzante           | 2.00  |       |  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| $e = M / N$                 | eccentricità                         | -0.24 | -0.24 |  | (m)                  |
| $B^* = B - 2e$              | larghezza equivalente                | 2.02  | 2.02  |  | (m)                  |

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                        |       |  |  |     |
|--|------------------------|-------|--|--|-----|
| $N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$ | (1 in cond. nd)        | 48.93 |  |  | (-) |
| $N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$                                    | (2+ $\pi$ in cond. nd) | 61.35 |  |  | (-) |
| $N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$                   | (0 in cond. nd)        | 78.02 |  |  | (-) |

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|   |                 |      |      |  |     |
|---|-----------------|------|------|--|-----|
| $i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^m$          | (1 in cond. nd) | 0.45 | 0.45 |  | (-) |
| $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$                                   |                 | 0.44 | 0.44 |  | (-) |
| $i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^{m+1}$ |                 | 0.30 | 0.30 |  | (-) |

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

|           |                          |        |        |  |                      |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--|----------------------|
| $q_{lim}$ | (carico limite unitario) | 516.96 | 516.96 |  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--|----------------------|

|                         |   |           |              |   |            |
|-------------------------|---|-----------|--------------|---|------------|
| <b>FS carico limite</b> | <b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b> | $N_{min}$ | <b>11.62</b> | > | <b>1.2</b> |
|                         |   | $N_{max}$ | <b>11.62</b> | > |            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 103 di 153 |

### 15.2.4. Verifiche geotecniche al ribaltamento condizione sismica

#### FORZE VERTICALI

|   |  | SLE    | STR/GEO |
|---|--|--------|---------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |  |        |         |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$         | (kN/m) | 0.00    |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$             | (kN/m) | 28.75   |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$         | (kN/m) | 0.00    |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$              | (kN/m) | 37.50   |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$             | (kN/m) | 0.00    |
| Pm =  | Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5                    | (kN/m) | 66.25   |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |  |        |         |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$                  | (kN/m) | 9.20    |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma') / 2$              | (kN/m) | 0.00    |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4 + B5)$                           | (kN/m) | 0.00    |
| Pt =  | Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr                         | (kN/m) | 9.20    |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |  |        |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4 + B5)$                            | (kN/m) | 4       |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4 + B5)$                           | (kN/m) | 0       |

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

|  |   | SLE     | STR/GEO |
|--|---|---------|---------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |         |         |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$                   | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$              | (kNm/m) | 58.94   |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$         | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                           | (kNm/m) | 46.88   |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                      | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm =   | Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5                 | (kNm/m) | 105.81  |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$    | (kNm/m) | 22.08   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$  | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$         | (kNm/m) | 0.00    |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$ | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt =   | Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr                     | (kNm/m) | 22.08   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Sovr acc. Stat   | $(B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$            | (kNm/m) | 9.6     |
| Sovr acc. Sism   | $(B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$            | (kNm/m) | 0       |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 104 di 153 |

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

|        |               |        |      |
|--------|---------------|--------|------|
| Ps h = | $Pm \cdot kh$ | (kN/m) | 9.44 |
| Ps v = | $Pm \cdot kv$ | (kN/m) | 4.72 |

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

|        |               |        |      |
|--------|---------------|--------|------|
| Ptsh = | $Pt \cdot kh$ | (kN/m) | 1.31 |
| Ptsv = | $Pt \cdot kv$ | (kN/m) | 0.66 |

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

|         |                                    |         |      |
|---------|------------------------------------|---------|------|
| MPs1 h= | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs2 h= | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$   | (kNm/m) | 7.17 |
| MPs3 h= | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs4 h= | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$        | (kNm/m) | 1.60 |
| MPs5 h= | $-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$       | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs h=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$ | (kNm/m) | 8.78 |

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

|         |  |         |      |
|---------|--|---------|------|
| MPs1 v= | $kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$   | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs2 v= | $kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$      | (kNm/m) | 4.20 |
| MPs3 v= | $kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs4 v= | $kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$                 | (kNm/m) | 3.34 |
| MPs5 v= | $kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$            | (kNm/m) | 0.00 |
| MPs v=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$         | (kNm/m) | 7.54 |

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

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 h= | $kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$         | (kNm/m) | 2.30 |
| MPts2 h= | $kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$    | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 h= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                  | (kNm/m) | 2.30 |

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

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 v= | $kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$                            | (kNm/m) | 1.57 |
| MPts2 v= | $kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$                       | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 v= | $kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 1.57 |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 105 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA +

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Spinta condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                                     | (kN/m) | 20.55 | 20.55 |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 9.16  | 9.16  |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 18.87 | 18.87 |
| Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 8.42  | 8.42  |
| Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica +

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 8.14 | 8.14 |
| Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 3.63 | 3.63 |
| Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

- Spinta passiva sul dente

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|--|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Condizione sismica +

|   |           |       |       |
|---|-----------|-------|-------|
| MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | ( kNm/m ) | 18.25 | 18.25 |
| MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | ( kNm/m ) | 8.13  | 8.13  |
| MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 20.35 | 20.35 |
| MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 9.07  | 9.07  |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$   | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |
| MSp = $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|   |           |       |
|---|-----------|-------|
| Mfext1 = $mp+ms$                          | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext2 = $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext3 = $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) | 16.91 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 106 di 153 |

## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 174.23 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 37.45 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Fr = \frac{M_s}{M_r} \quad \mathbf{4.65} \quad > \quad \mathbf{1}$$

## CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

|   |        | SLE   | STR/GEO |
|---|--------|-------|---------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$  | (kN/m) | 20.55 | 20.55   |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_{as}^- \cdot Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 6.43  | 6.43    |
| Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 18.87 | 18.87 |
| Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 5.91  | 5.91  |
| Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 8.14 | 8.14 |
| Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 2.55 | 2.55 |
| Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
| Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |

- Spinta passiva sul dente

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot H_d^2 \cdot k_{ps}^- + (2 \cdot c_1' \cdot k_{ps}^{-0.5} + \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot k_{ps}^- \cdot H_2') \cdot H_d \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 107 di 153 |

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

- Condizione sismica -

| SLE | STR/GEO |
|-----|---------|
|-----|---------|

|              |   |           |       |       |
|--------------|---|-----------|-------|-------|
| MSst1 stat = | $Sst1h \text{ stat} * ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$   | ( kNm/m ) | 18.25 | 18.25 |
| MSst1 sism=  | $Sst1h \text{ sism} * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$   | ( kNm/m ) | 5.71  | 5.71  |
| MSst2 stat = | $Sst1v \text{ stat} * B$  | ( kNm/m ) | 20.35 | 20.35 |
| MSst2 sism = | $Sst1v \text{ sism} * B$  | ( kNm/m ) | 6.37  | 6.37  |
| MSsq1 =      | $Ssq1h * ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |
| MSsq2 =      | $Ssq1v * B$   | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |
| MSp =        | $\gamma_1 * Hd^3 * kps^+ / 3 + (2 * c1 * kps^{+0.5} + \gamma_1 * kps^+ * H2') * Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0.00  | 0.00  |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|          |                              |           |  |       |
|----------|------------------------------|-----------|--|-------|
| Mfext1 = | $mp+ms$                      | ( kNm/m ) |  | 0.00  |
| Mfext2 = | $(fp+fs) * (H3 + H2)$        | ( kNm/m ) |  | 0.00  |
| Mfext3 = | $(vp+vs) * (B1 + B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) |  | 16.91 |

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + Mfext3 \quad 171.52 \text{ ( kNm/m )}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSst+MSsq+Mfext1+Mfext2+MSp+MPs+Mpts \quad 44.14 \text{ ( kNm/m )}$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{3.89} \quad > \quad \mathbf{1}$$

### 15.3. Verifiche SLU condizione statica e sismica

#### Verifica allo Stato Limite Ultimo

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

###### Reazione del terreno

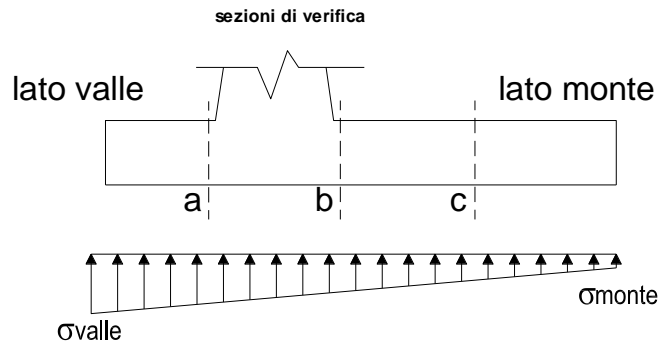
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

| caso    | N      | M      | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|---------|--------|--------|----------------------|----------------------|
|         | [kN]   | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| statico | 102.70 | -11.90 | 29.65                | 52.51                |
|         | 108.70 | -18.80 | 25.43                | 61.53                |
| sisma+  | 97.74  | -24.03 | 16.03                | 62.16                |
|         | 97.74  | -24.03 | 16.03                | 62.16                |
| sisma-  | 89.82  | -21.58 | 15.21                | 56.65                |
|         | 89.82  | -21.58 | 15.21                | 56.65                |



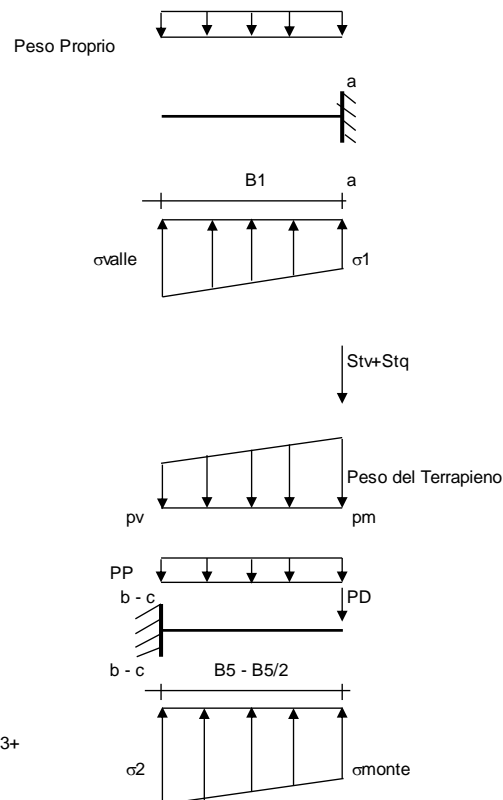
###### Mensola Lato Valle

$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 15.00 \quad (kN/m)$$

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_a = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | $M_a$ | $V_a$ |
|---------|----------------------|----------------------|-------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] | [kN]  |
| statico | 29.65                | 46.11                | 32.62 | 41.19 |
|         | 25.43                | 51.42                | 30.93 | 42.17 |
| sisma+  | 16.03                | 49.25                | 18.45 | 43.75 |
|         | 16.03                | 49.25                | 19.61 | 43.75 |
| sisma-  | 15.21                | 45.04                | 17.61 | 37.88 |
|         | 15.21                | 45.04                | 16.45 | 37.88 |



###### Mensola Lato Monte

$$PP = 15.00 \quad (kN/m^2) \quad \text{peso proprio soletta fondazione}$$

$$PD = 0.00 \quad (kN/m) \quad \text{peso proprio dente}$$

|     | Nmin  | N max stat | N max sism |                      |
|-----|-------|------------|------------|----------------------|
| pm  | 46.00 | 76.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 46.00 | 76.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 46.00 | 76.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B_5 / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5 / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 109 di 153 |

| caso    | $\sigma_{0mte}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{2b}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $M_b$<br>[kNm] | $V_b$<br>[kN] | $\sigma_{2c}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $M_c$<br>[kNm] | $V_c$<br>[kN] |
|---------|---|---------------------------------------|----------------|---------------|---------------------------------------|----------------|---------------|
| statico | 52.51                                   | 50.68                                 | -3.98          | -20.88        | 51.59                                 | -1.94          | -19.90        |
|         | 61.53                                   | 58.64                                 | -4.41          | -25.19        | 60.09                                 | -2.05          | -22.02        |
| sisma+  | 62.16                                   | 58.47                                 | -2.15          | -11.18        | 60.32                                 | -1.06          | -10.72        |
|         | 62.16                                   | 58.47                                 | -2.15          | -11.18        | 60.32                                 | -1.06          | -10.72        |
| sisma-  | 56.65                                   | 53.33                                 | -1.99          | -10.33        | 54.99                                 | -0.98          | -9.93         |
|         | 56.65                                   | 53.33                                 | -1.99          | -10.33        | 54.99                                 | -0.98          | -9.93         |

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

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

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

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

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

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{ext} = v$$

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

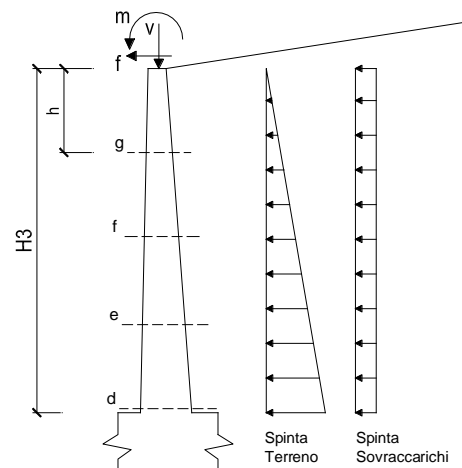
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



#### condizione statica

| sezione | h<br>[m] | Mt<br>[kNm/m] | Mq<br>[kNm/m] | M <sub>ext</sub><br>[kNm/m] | M <sub>tot</sub><br>[kNm/m] | N <sub>ext</sub><br>[kN/m] | N <sub>pp</sub><br>[kN/m] | N <sub>tot</sub><br>[kN/m] |
|---------|----------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| d-d     | 2.30     | 11.83         | 17.81         | 0.00                        | 29.64                       | 8.25                       | 28.75                     | 37.00                      |
| e-e     | 1.73     | 4.99          | 10.02         | 0.00                        | 15.01                       | 8.25                       | 21.56                     | 29.81                      |
| f-f     | 1.15     | 1.48          | 4.45          | 0.00                        | 5.93                        | 8.25                       | 14.38                     | 22.63                      |
| g-g     | 0.58     | 0.18          | 1.11          | 0.00                        | 1.30                        | 8.25                       | 7.19                      | 15.44                      |

| sezione | h<br>[m] | Vt<br>[kN/m] | Vq<br>[kN/m] | V <sub>ext</sub><br>[kN/m] | V <sub>tot</sub><br>[kN/m] |
|---------|----------|--------------|--------------|----------------------------|----------------------------|
| d-d     | 2.30     | 15.43        | 15.49        | 0.00                       | 30.92                      |
| e-e     | 1.73     | 8.68         | 11.61        | 0.00                       | 20.30                      |
| f-f     | 1.15     | 3.86         | 7.74         | 0.00                       | 11.60                      |
| g-g     | 0.58     | 0.96         | 3.87         | 0.00                       | 4.84                       |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 110 di 153 |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | Mt <sub>stat</sub> | Mt <sub>sism</sub> | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]            | [kNm/m]            | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10               | 2.82               | 0.00    | 0.00             | 3.14                 | 15.07            | 8.25             | 30.12                   | 38.37            |
| e-e     | 1.73 | 3.84               | 1.19               | 0.00    | 0.00             | 1.77                 | 6.80             | 8.25             | 22.59                   | 30.84            |
| f-f     | 1.15 | 1.14               | 0.35               | 0.00    | 0.00             | 0.79                 | 2.28             | 8.25             | 15.06                   | 23.31            |
| g-g     | 0.58 | 0.14               | 0.04               | 0.00    | 0.00             | 0.20                 | 0.38             | 8.25             | 7.53                    | 15.78            |

| sezione | h    | Vt <sub>stat</sub> | Vt <sub>sism</sub> | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]             | [kN/m]             | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 11.87              | 3.68               | 0.00   | 0.00             | 2.73                 | 18.29            |
| e-e     | 1.73 | 6.68               | 2.07               | 0.00   | 0.00             | 2.05                 | 10.80            |
| f-f     | 1.15 | 2.97               | 0.92               | 0.00   | 0.00             | 1.37                 | 5.25             |
| g-g     | 0.58 | 0.74               | 0.23               | 0.00   | 0.00             | 0.68                 | 1.66             |

**condizione sismica -**

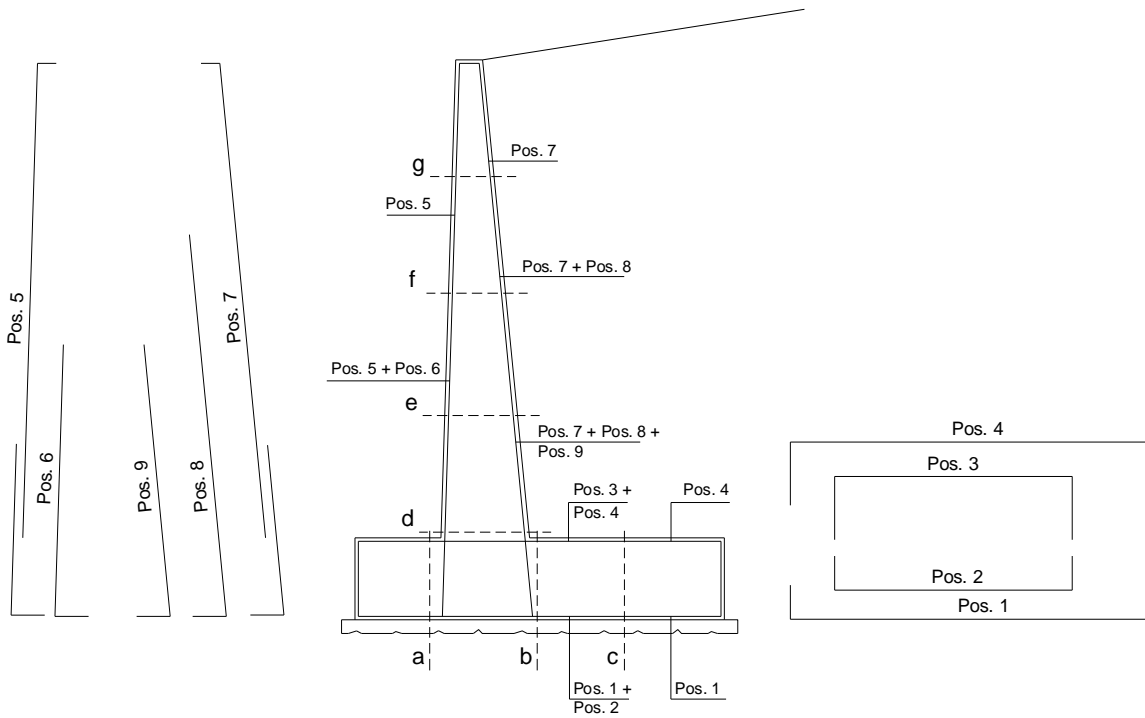
| sezione | h    | Mt <sub>stat</sub> | Mt <sub>sism</sub> | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]            | [kNm/m]            | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10               | 1.91               | 0.00    | 0.00             | 3.14                 | 14.15            | 8.25             | 27.38                   | 35.63            |
| e-e     | 1.73 | 3.84               | 0.80               | 0.00    | 0.00             | 1.77                 | 6.41             | 8.25             | 20.54                   | 28.79            |
| f-f     | 1.15 | 1.14               | 0.24               | 0.00    | 0.00             | 0.79                 | 2.16             | 8.25             | 13.69                   | 21.94            |
| g-g     | 0.58 | 0.14               | 0.03               | 0.00    | 0.00             | 0.20                 | 0.37             | 8.25             | 6.85                    | 15.10            |

| sezione | h    | Vt <sub>stat</sub> | Vt <sub>sism</sub> | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]             | [kN/m]             | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 11.87              | 2.49               | 0.00   | 0.00             | 2.73                 | 17.09            |
| e-e     | 1.73 | 6.68               | 1.40               | 0.00   | 0.00             | 2.05                 | 10.13            |
| f-f     | 1.15 | 2.97               | 0.62               | 0.00   | 0.00             | 1.37                 | 4.96             |
| g-g     | 0.58 | 0.74               | 0.16               | 0.00   | 0.00             | 0.68                 | 1.58             |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 111 di 153 |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

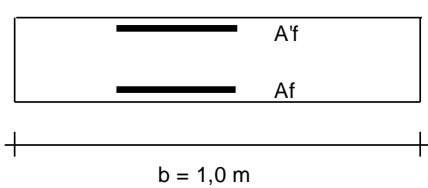


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5.0   | 20 |                          | 5   | 5.0   | 20 |                          |
| 2   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5.0   | 20 |                          |
| 4   | 5.0   | 20 |                          | 8   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



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

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 112 di 153 |

| Sez.  | M     | N     | h    | Af                 | A'f                | Mu     |
|-------|-------|-------|------|--------------------|--------------------|--------|
| (-)   | (kNm) | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)  |
| a - a | 32.62 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 305.87 |
| b - b | -4.41 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 305.87 |
| c - c | -2.05 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 305.87 |
| d - d | 29.64 | 37.00 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 250.94 |
| e - e | 15.01 | 29.81 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 249.67 |
| f - f | 5.93  | 22.63 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 248.40 |
| g - g | 1.30  | 15.44 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 247.13 |

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

| Sez.  | V <sub>Ed</sub> | h    | V <sub>rd</sub> | ∅ staffe | i orizz. | i vert. | θ    | V <sub>Rsd</sub> |                                  |
|-------|-----------------|------|-----------------|----------|----------|---------|------|------------------|----------------------------------|
| (-)   | (kN)            | (m)  | (kN)            | (mm)     | (cm)     | (cm)    | (°)  | (kN)             |                                  |
| a - a | 43.75           | 0.60 | 198.35          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 143.83           | Armatura a taglio non necessaria |
| b - b | 25.19           | 0.60 | 198.35          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 143.83           | Armatura a taglio non necessaria |
| c - c | 22.02           | 0.60 | 198.35          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 143.83           | Armatura a taglio non necessaria |
| d - d | 30.92           | 0.50 | 184.11          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 116.17           | Armatura a taglio non necessaria |
| e - e | 20.30           | 0.50 | 183.20          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 116.17           | Armatura a taglio non necessaria |
| f - f | 11.60           | 0.50 | 182.30          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 116.17           | Armatura a taglio non necessaria |
| g - g | 4.84            | 0.50 | 181.39          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 116.17           | Armatura a taglio non necessaria |



## 15.4. Verifiche strutturali SLE

### 15.4.1. Verifiche a fessurazione

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

###### Reazione del terreno

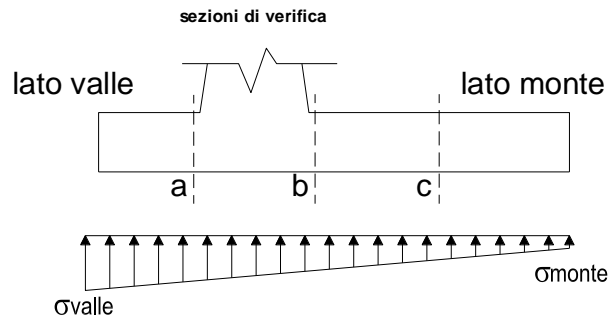
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

| caso  | N     | M      | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|-------|-------|--------|----------------------|----------------------|
|       | [kN]  | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| Freq. | 96.05 | -23.22 | 16.13                | 60.71                |
|       | 99.05 | -26.67 | 14.02                | 65.22                |
| Q.P.  | 91.84 | -32.11 | 5.91                 | 67.56                |
|       | 91.84 | -32.11 | 5.91                 | 67.56                |

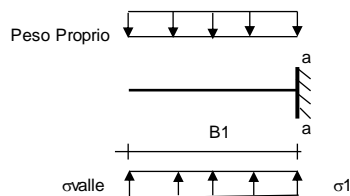


###### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso  | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | $M_a$ |
|-------|----------------------|----------------------|-------|
|       | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| Freq. | 16.13                | 48.23                | 19.16 |
|       | 14.02                | 50.88                | 18.32 |
| Q.P.  | 5.91                 | 50.30                | 9.24  |
|       | 5.91                 | 50.30                | 9.24  |



###### Mensola Lato Monte

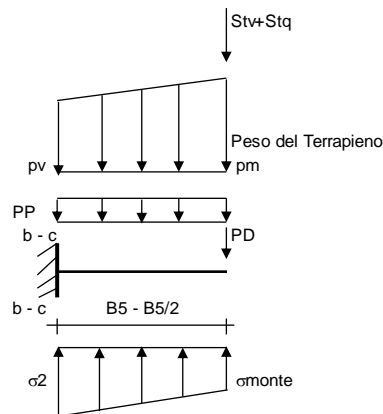
PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

|     |      |       |       |       |                      |
|-----|------|-------|-------|-------|----------------------|
|     | Nmin | N max | Freq  | N max | QP                   |
| pm  | =    | 46.00 | 61.00 | 46.00 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | =    | 46.00 | 61.00 | 46.00 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | =    | 46.00 | 61.00 | 46.00 | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (B_5 - B_d / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (B_5 / 2 - B_d / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

| caso  | $\sigma_{monte}$     | $\sigma_{2b}$        | $M_b$ | $\sigma_{2c}$        | $M_c$ |
|-------|----------------------|----------------------|-------|----------------------|-------|
|       | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| Freq. | 60.71                | 57.14                | -2.50 | 58.93                | -1.24 |
|       | 65.22                | 61.13                | -2.71 | 63.17                | -1.29 |
| Q.P.  | 67.56                | 62.63                | -1.53 | 65.10                | -0.79 |
|       | 67.56                | 62.63                | -1.53 | 65.10                | -0.79 |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 114 di 153 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

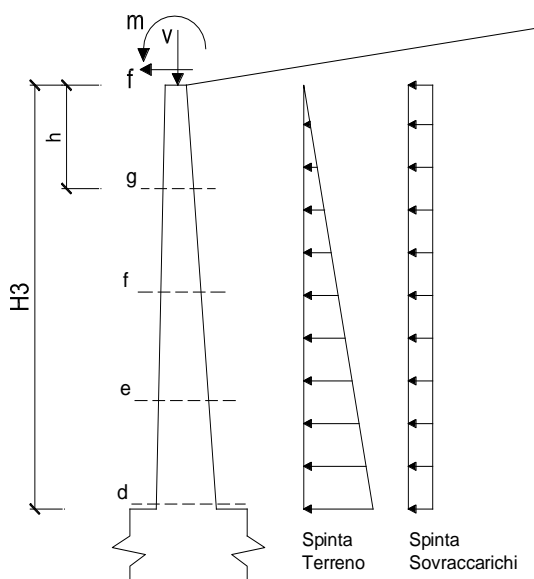
**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

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

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

$$N_{ext} = v$$



**condizione Frequente**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10    | 8.90    | 0.00             | 18.01            | 8.25             | 28.75           | 37.00            |
| e-e     | 1.73 | 3.84    | 5.01    | 0.00             | 8.85             | 8.25             | 21.56           | 29.81            |
| f-f     | 1.15 | 1.14    | 2.23    | 0.00             | 3.36             | 8.25             | 14.38           | 22.63            |
| g-g     | 0.58 | 0.14    | 0.56    | 0.00             | 0.70             | 8.25             | 7.19            | 15.44            |

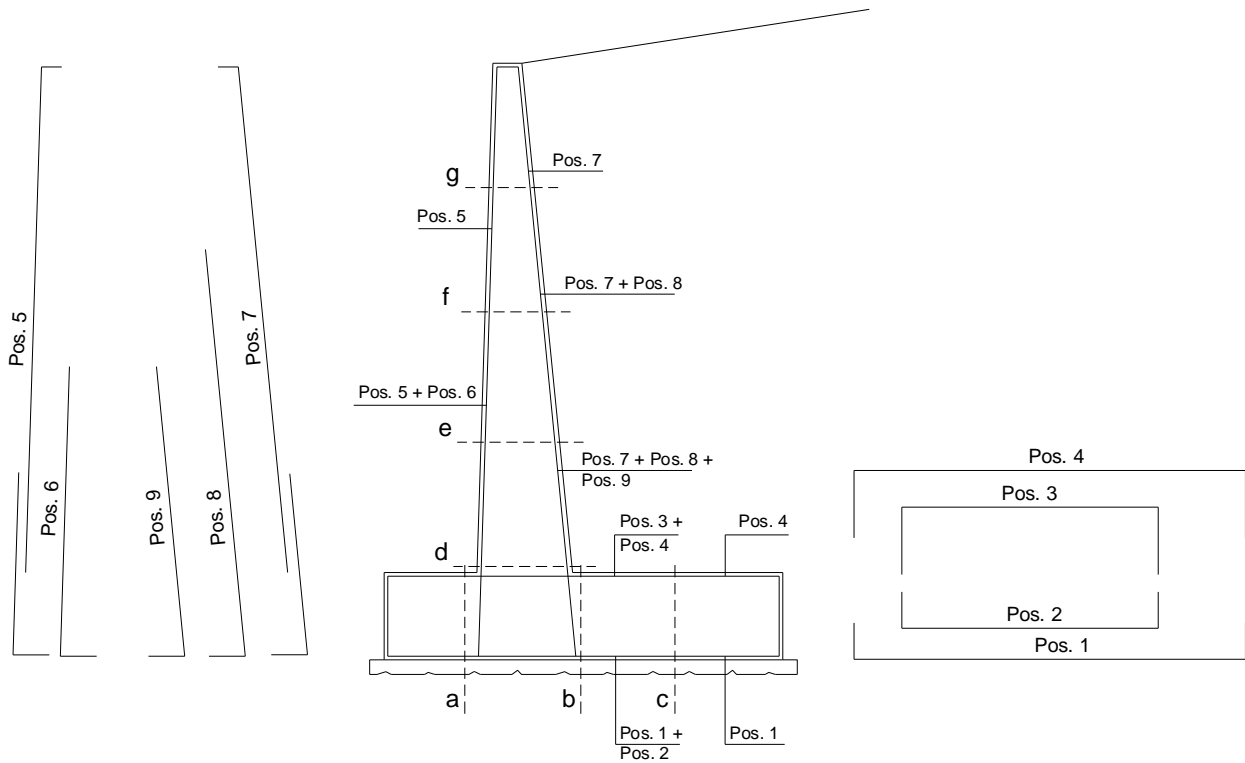
**condizione Quasi Permanente**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10    | 0.00    | 0.00             | 9.10             | 8.25             | 28.75           | 37.00            |
| e-e     | 1.73 | 3.84    | 0.00    | 0.00             | 3.84             | 8.25             | 21.56           | 29.81            |
| f-f     | 1.15 | 1.14    | 0.00    | 0.00             | 1.14             | 8.25             | 14.38           | 22.63            |
| g-g     | 0.58 | 0.14    | 0.00    | 0.00             | 0.14             | 8.25             | 7.19            | 15.44            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 115 di 153 |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

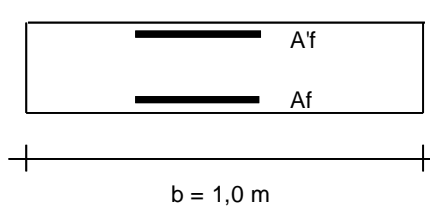


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5.0   | 20 |                          | 5   | 5.0   | 20 |                          |
| 2   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5.0   | 20 |                          |
| 4   | 5.0   | 20 |                          | 8   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



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

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 116 di 153 |

**condizione Frequente**

| Sez.  | M     | N     | h    | Af                 | A'f                | $\sigma_c$           | $\sigma_f$           | wk    | w <sub>amm</sub> |
|-------|-------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------|
| (-)   | (kNm) | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | (mm)             |
| a - a | 19.16 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.56                 | 25.80                | 0.043 | 0.300            |
| b - b | -2.71 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.08                 | 3.65                 | 0.006 | 0.300            |
| c - c | -1.29 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.04                 | 1.74                 | 0.003 | 0.300            |
| d - d | 18.01 | 37.00 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.74                 | 18.89                | 0.026 | 0.300            |
| e - e | 8.85  | 29.81 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.35                 | 6.11                 | 0.008 | 0.300            |
| f - f | 3.36  | 22.63 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.12                 | 0.43                 | 0.000 | 0.300            |
| g - g | 0.70  | 15.44 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.00                 | -                    | -     | 0.300            |

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

**condizione Quasi Permanente**

| Sez.  | M     | N     | h    | Af                 | A'f                | $\sigma_c$           | $\sigma_f$           | wk    | w <sub>amm</sub> |
|-------|-------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------|
| (-)   | (kNm) | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | (mm)             |
| a - a | 9.24  | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.27                 | 12.44                | 0.021 | 0.200            |
| b - b | -1.53 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.04                 | 2.06                 | 0.003 | 0.200            |
| c - c | -0.79 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.02                 | 1.06                 | 0.002 | 0.200            |
| d - d | 9.10  | 37.00 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.35                 | 4.80                 | 0.006 | 0.200            |
| e - e | 3.84  | 29.81 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.14                 | 0.19                 | 0.000 | 0.200            |
| f - f | 1.14  | 22.63 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.00                 | -                    | -     | 0.200            |
| g - g | 0.14  | 15.44 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.00                 | -                    | -     | 0.200            |

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

## 15.4.2. Verifiche tensionali

### VERIFICHE TENSIONE

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

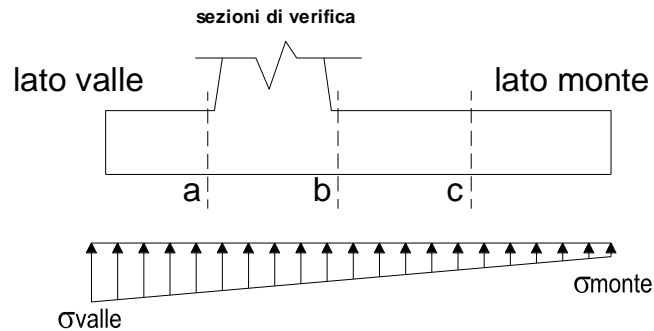
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

| caso    | N      | M      | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|---------|--------|--------|----------------------|----------------------|
|         | [kN]   | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| statico | 97.45  | -20.25 | 19.54                | 58.42                |
|         | 101.45 | -24.85 | 16.72                | 64.44                |
| sisma+  | 100.85 | -19.83 | 21.30                | 59.38                |
|         | 100.85 | -19.83 | 21.30                | 59.38                |
| sisma-  | 89.01  | -16.12 | 20.13                | 51.08                |
|         | 89.01  | -16.12 | 20.13                | 51.08                |

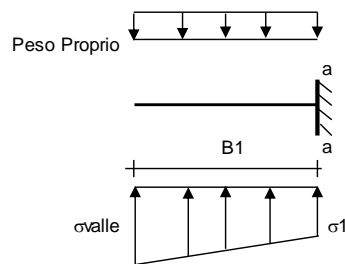


##### Mensola Lato Valle

$$\text{Peso Proprio.} \quad PP = 15.00 \quad (kN/m)$$

$$Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | Ma    |
|---------|----------------------|----------------------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| statico | 19.54                | 47.54                | 22.47 |
|         | 16.72                | 51.08                | 21.34 |
| sisma+  | 21.30                | 48.72                | 23.28 |
|         | 21.30                | 48.72                | 23.28 |
| sisma-  | 20.13                | 42.41                | 22.07 |
|         | 20.13                | 42.41                | 22.07 |



##### Mensola Lato Monte

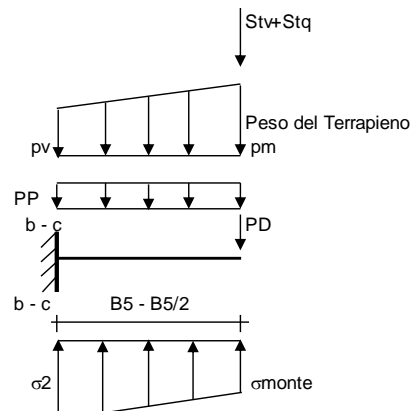
$$PP = 15.00 \quad (kN/m^2) \quad \text{peso proprio soletta fondazione}$$

$$PD = 0.00 \quad (kN/m) \quad \text{peso proprio dente}$$

|     | Nmin  | N max stat | N max sism |                      |
|-----|-------|------------|------------|----------------------|
| pm  | 46.00 | 66.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 46.00 | 66.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 46.00 | 66.00      | 46.00      | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$Mb = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 118 di 153 |

| caso    | $\sigma_{monte}$     | $\sigma_{2b}$        | $M_b$ | $\sigma_{2c}$        | $M_c$ |
|---------|----------------------|----------------------|-------|----------------------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| statico | 58.42                | 55.31                | -2.82 | 56.87                | -1.39 |
|         | 64.44                | 60.62                | -3.11 | 62.53                | -1.46 |
| sisma+  | 59.38                | 56.33                | -2.49 | 57.86                | -1.21 |
|         | 59.38                | 56.33                | -2.49 | 57.86                | -1.21 |
| sisma-  | 51.08                | 48.60                | -2.27 | 49.84                | -1.10 |
|         | 51.08                | 48.60                | -2.27 | 49.84                | -1.10 |

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

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

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

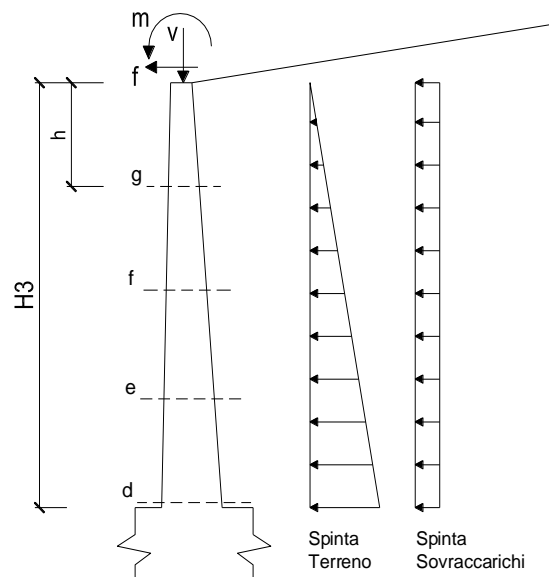
$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

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

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

$$N_{\text{ext}} = v$$

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



#### condizione statica

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10    | 11.87   | 0.00             | 20.97            | 8.25             | 28.75           | 37.00            |
| e-e     | 1.73 | 3.84    | 6.68    | 0.00             | 10.52            | 8.25             | 21.56           | 29.81            |
| f-f     | 1.15 | 1.14    | 2.97    | 0.00             | 4.11             | 8.25             | 14.38           | 22.63            |
| g-g     | 0.58 | 0.14    | 0.74    | 0.00             | 0.88             | 8.25             | 7.19            | 15.44            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 119 di 153 |

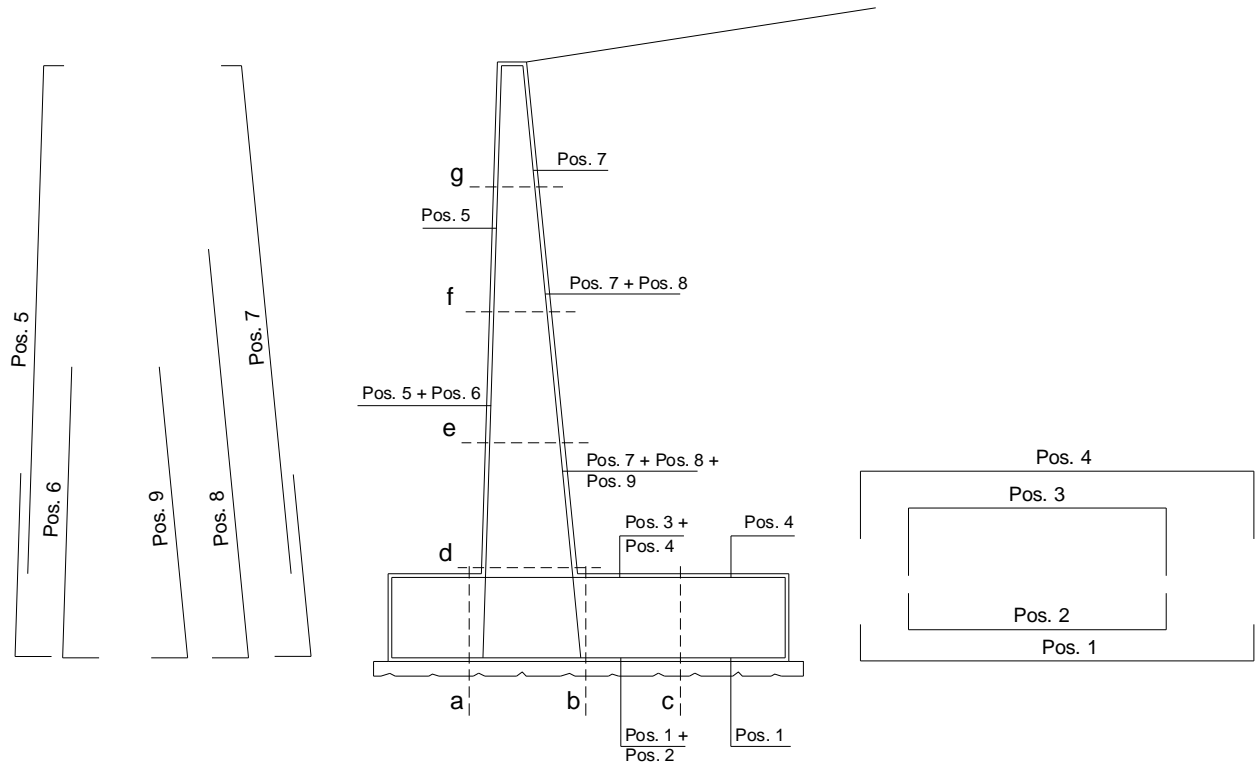
**condizione sismica +**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10    | 4.42    | 0.00    | 0.00             | 4.71                 | 18.24            | 8.25             | 30.80                   | 39.05            |
| e-e     | 1.73 | 3.84    | 1.86    | 0.00    | 0.00             | 2.65                 | 8.36             | 8.25             | 23.10                   | 31.35            |
| f-f     | 1.15 | 1.14    | 0.55    | 0.00    | 0.00             | 1.18                 | 2.87             | 8.25             | 15.40                   | 23.65            |
| g-g     | 0.58 | 0.14    | 0.07    | 0.00    | 0.00             | 0.29                 | 0.51             | 8.25             | 7.70                    | 15.95            |

**condizione sismica -**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 2.30 | 9.10    | 3.10    | 0.00    | 0.00             | 4.71                 | 16.92            | 8.25             | 26.70                   | 34.95            |
| e-e     | 1.73 | 3.84    | 1.31    | 0.00    | 0.00             | 2.65                 | 7.80             | 8.25             | 20.03                   | 28.28            |
| f-f     | 1.15 | 1.14    | 0.39    | 0.00    | 0.00             | 1.18                 | 2.70             | 8.25             | 13.35                   | 21.60            |
| g-g     | 0.58 | 0.14    | 0.05    | 0.00    | 0.00             | 0.29                 | 0.49             | 8.25             | 6.68                    | 14.93            |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**



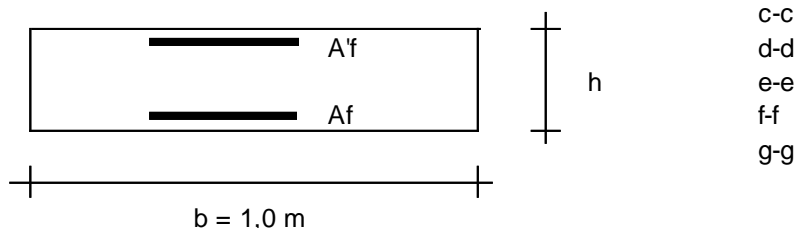
**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 120 di 153 |

### ARMATURE

| pos | n°/ml | φ  | II strato | pos | n°/ml | φ  | II strato |
|-----|-------|----|-----------|-----|-------|----|-----------|
| 1   | 5.0   | 20 |           | 5   | 5.0   | 20 |           |
| 2   | 0.0   | 0  | ☐         | 6   | 0.0   | 0  | ☐         |
| 3   | 0.0   | 0  | ☐         | 7   | 5.0   | 20 |           |
| 4   | 5.0   | 20 |           | 8   | 0.0   | 0  | ☐         |
|     |       |    |           | 9   | 0.0   | 0  | ☐         |

### VERIFICHE



#### Condizione Statica

| Sez.  | M     | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   |
|-------|-------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm) | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 22.47 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.66                 | 30.25                |
| b - b | -3.11 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.09                 | 4.18                 |
| c - c | -1.46 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.04                 | 1.97                 |
| d - d | 20.97 | 37.00 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.87                 | 23.81                |
| e - e | 10.52 | 29.81 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.43                 | 8.73                 |
| f - f | 4.11  | 22.63 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.15                 | 1.09                 |
| g - g | 0.88  | 15.44 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.05                 | -                    |

#### Condizione Sismica

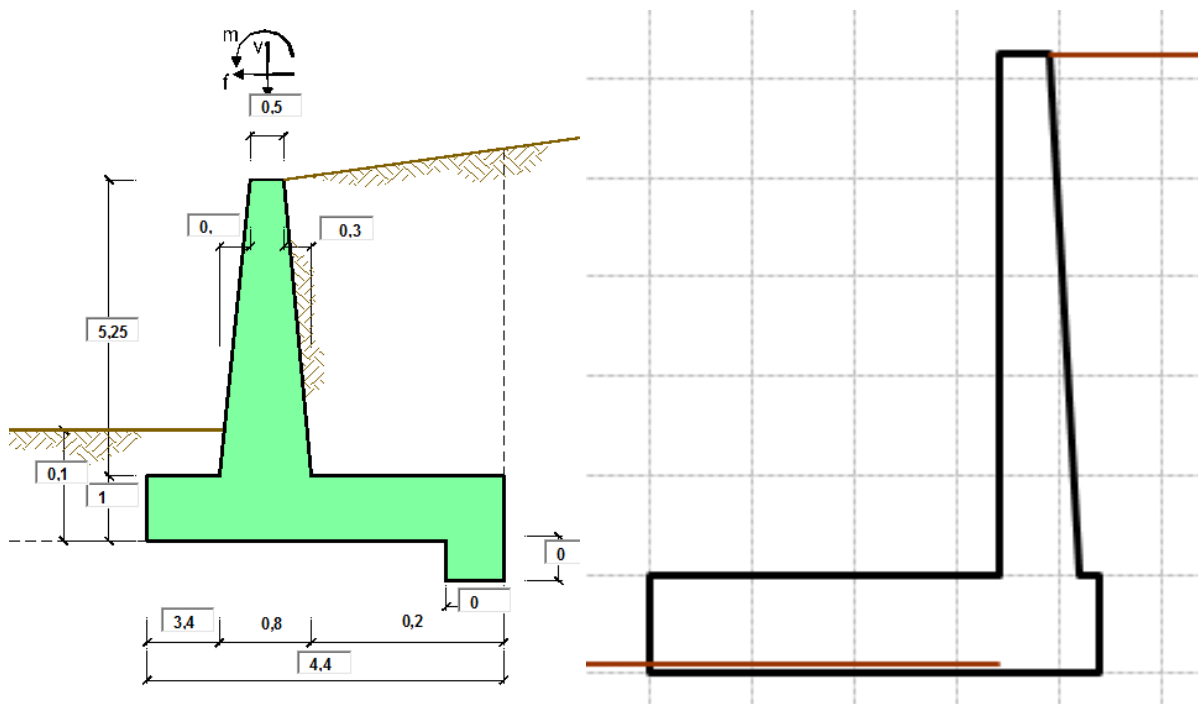
| Sez.  | M     | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   |
|-------|-------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm) | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 23.28 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.68                 | 31.33                |
| b - b | -2.49 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.07                 | 3.36                 |
| c - c | -1.21 | 0.00  | 0.60 | 15.71              | 15.71              | 0.04                 | 1.63                 |
| d - d | 18.24 | 34.95 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.76                 | 19.87                |
| e - e | 8.36  | 28.28 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.33                 | 5.74                 |
| f - f | 2.87  | 21.60 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.11                 | 0.19                 |
| g - g | 0.51  | 14.93 | 0.50 | 15.71              | 15.71              | 0.04                 | -                    |

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



## 15.5. Muro di sostegno (TIPO 2)

### 15.5.1. Verifiche geotecniche



Vista la particolare conformazione della sezione in esame, le spinte agenti sul paramento non vengono considerate, si fa quindi riferimento alla sola verifica a carico limite della fondazione nell'ambito delle verifiche geotecniche, di cui si assume la seguente combinazione:

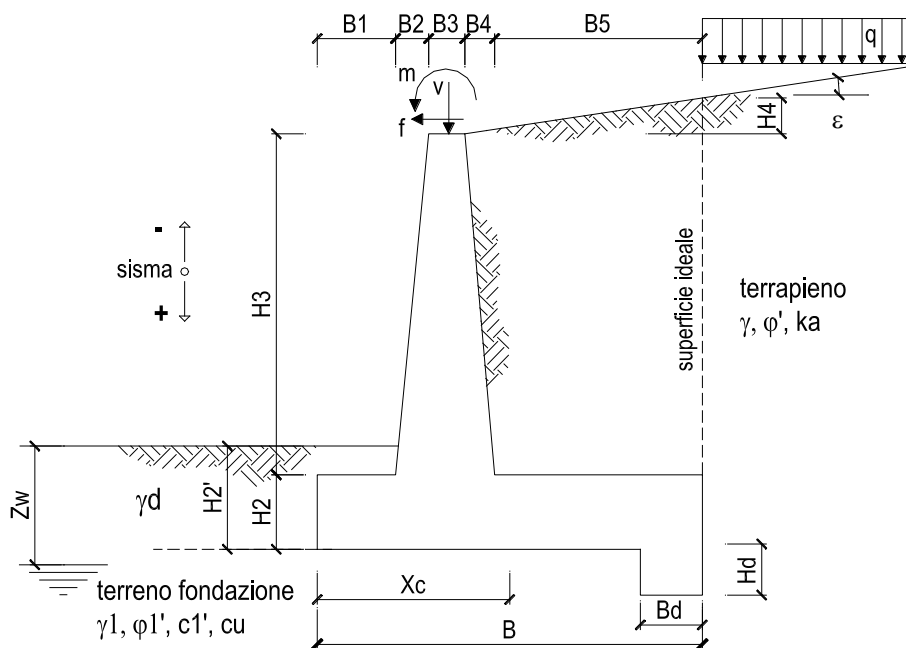
#### Combinazioni coefficienti parziali di verifica

|            |             |          |                                  |                       |
|------------|-------------|----------|----------------------------------|-----------------------|
| SLU        | Approccio 1 | comb. 1  | A1+M1+R1                         | <input type="radio"/> |
|            |             | comb. 2  | A2+M2+R2                         | <input type="radio"/> |
|            | Approccio 2 | A1+M1+R3 | <input checked="" type="radio"/> |                       |
| SLE (DM88) |             |          |                                  | <input type="radio"/> |
| altro      |             |          |                                  | <input type="radio"/> |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 122 di 153 |

### 15.5.2. Verifiche geotecniche in condizione statica



#### OPERA

#### DATI DI PROGETTO:

##### Geometria del Muro

|                            |      |      |     |
|----------------------------|------|------|-----|
| Elevazione                 | H3 = | 5.25 | (m) |
| Aggetto Valle              | B2 = | 0.00 | (m) |
| Spessore del Muro in Testa | B3 = | 0.50 | (m) |
| Aggetto monte              | B4 = | 0.30 | (m) |

##### Geometria della Fondazione

|                      |      |      |     |
|----------------------|------|------|-----|
| Larghezza Fondazione | B =  | 4.40 | (m) |
| Spessore Fondazione  | H2 = | 1.00 | (m) |
| Suola Lato Valle     | B1 = | 3.40 | (m) |
| Suola Lato Monte     | B5 = | 0.20 | (m) |
| Altezza dente        | Hd = | 0.00 | (m) |
| Larghezza dente      | Bd = | 0.00 | (m) |
| Mezzeria Sezione     | Xc = | 2.20 | (m) |

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

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 123 di 153 |

### FORZE VERTICALI

|   |   | SLE           | STR/GEO |
|---|---|---------------|---------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |   |               |         |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$          | (kN/m) 65.63  | 65.63   |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$        | (kN/m) 19.69  | 19.69   |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) 110.00 | 110.00  |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$          | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pm =  | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$               | (kN/m) 195.31 | 195.31  |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |   |               |         |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                | (kN/m) 21.00  | 21.00   |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$ | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$              | (kN/m) 15.75  | 15.75   |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pt =  | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                    | (kN/m) 36.75  | 36.75   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |   |               |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) 10     | 15      |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4+B5)$                          | (kN/m) 0      |         |

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

|  |   | SLE            | STR/GEO |
|--|---|----------------|---------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |                |         |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$                   | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kNm/m) 239.53 | 239.53  |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kNm/m) 78.75  | 78.75   |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kNm/m) 242.00 | 242.00  |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                    | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm =   | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$             | (kNm/m) 560.28 | 560.28  |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |                |         |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) 90.30  | 90.30   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kNm/m) 64.58  | 64.58   |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt =   | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kNm/m) 154.88 | 154.88  |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |                |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$    | (kNm/m) 41.5   | 62.25   |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$   | (kNm/m) 0      |         |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 124 di 153 |

## CONDIZIONE STATICA

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

|           |  |        | SLE   | STR/GEO |
|-----------|--|--------|-------|---------|
| St =      | $0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$ | (kN/m) | 95.47 | 124.11  |
| Sq perm = | $q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$                  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Sq acc =  | $q \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_a$                  | (kN/m) | 30.55 | 45.83   |

- Componente orizzontale condizione statica

|            |                                     |        |       |        |
|------------|-------------------------------------|--------|-------|--------|
| Sth =      | $St \cdot \cos \delta$              | (kN/m) | 87.67 | 113.97 |
| Sqh perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00   |
| Sqh acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$  | (kN/m) | 28.05 | 42.08  |

- Componente verticale condizione statica

|            |                                     |        |       |       |
|------------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Stv =      | $St \cdot \sin \delta$              | (kN/m) | 37.81 | 49.15 |
| Sqv perm = | $Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Sqv acc =  | $Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$  | (kN/m) | 12.10 | 18.15 |

- Spinta passiva sul dente

|      |   |        |      |      |
|------|---|--------|------|------|
| Sp = | $\frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d \right]$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|------|---|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|             |   |         | SLE    | STR/GEO |
|-------------|---|---------|--------|---------|
| MSt1 =      | $St \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 3 - H_d)$  | (kNm/m) | 182.64 | 237.43  |
| MSt2 =      | $St \cdot B$  | (kNm/m) | 166.36 | 216.27  |
| MSq1 perm = | $Sqh \text{ perm} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$  | (kNm/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSq1 acc =  | $Sqh \text{ acc} \cdot ((H_2 + H_3 + H_4 + H_d) / 2 - H_d)$   | (kNm/m) | 87.67  | 131.50  |
| MSq2 perm = | $Sqv \text{ perm} \cdot B$  | (kNm/m) | 0.00   | 0.00    |
| MSq2 acc =  | $Sqv \text{ acc} \cdot B$   | (kNm/m) | 53.24  | 79.85   |
| MSp =       | $\gamma_1 \cdot H_d^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$ | (kNm/m) | 0.00   | 0.00    |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|          |   |         |       |       |
|----------|---|---------|-------|-------|
| Mfext1 = | $m_p + m$                               | (kNm/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mfext2 = | $(f_p + f) \cdot (H_3 + H_2)$           | (kNm/m) | 0.00  | 0.00  |
| Mfext3 = | $(v_p + v) \cdot (B_1 + B_2 + B_3 / 2)$ | (kNm/m) | 30.11 | 30.11 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 125 di 153 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 307.61 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 156.05 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi' \quad 0.78 \quad (-)$$

$$\mathbf{Fs \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.54} \quad > \quad \mathbf{1.1}}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 1041.39 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 368.93 \quad (\text{kNm/m})$$

$$\mathbf{Fs \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{2.82} \quad > \quad \mathbf{1.15}}$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 126 di 153 |

**VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)**

|   |  |        |        |         |
|---|--|--------|--------|---------|
| Risultante forze verticali (N)                            |  | Nmin   | Nmax   |         |
| $N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc})$ |  | 307.61 | 322.61 | (kN/m)  |
| Risultante forze orizzontali (T)                          |  |        |        |         |
| $T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$                           |  | 156.05 | 156.05 | (kN/m)  |
| Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)    |  |        |        |         |
| $MM = \sum M$   |  | 672.46 | 734.71 | (kNm/m) |
| Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)       |  |        |        |         |
| $M = X_c \cdot N - MM$                                    |  | 4.29   | -24.96 | (kNm/m) |

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                             |                                      |       |       |                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| $c'$                        | coesione terreno di fondaz.          | 0.00  |       | (kPa)                |
| $\phi'$                     | angolo di attrito terreno di fondaz. | 38.00 |       | (°)                  |
| $\gamma_1$                  | peso unità di volume terreno fondaz. | 20.00 |       | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $q_0 = \gamma_d \cdot H_2'$ | sovraccarico stabilizzante           | 2.00  |       | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| $e = M / N$                 | eccentricità                         | 0.01  | -0.08 | (m)                  |
| $B^* = B - 2e$              | larghezza equivalente                | 4.37  | 4.25  | (m)                  |

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                          |       |  |     |
|--|--------------------------|-------|--|-----|
| $N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi'))}$ | (1 in cond. nd)          | 48.93 |  | (-) |
| $N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$                                     | ( $2 + \pi$ in cond. nd) | 61.35 |  | (-) |
| $N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$                    | (0 in cond. nd)          | 78.02 |  | (-) |

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                 |      |      |     |
|--|-----------------|------|------|-----|
| $i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot \phi'))^m$          | (1 in cond. nd) | 0.24 | 0.27 | (-) |
| $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$                            |                 | 0.23 | 0.23 | (-) |
| $i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cot \phi'))^{m+1}$ |                 | 0.12 | 0.12 | (-) |

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

|           |                          |        |        |                      |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| $q_{lim}$ | (carico limite unitario) | 431.82 | 434.15 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

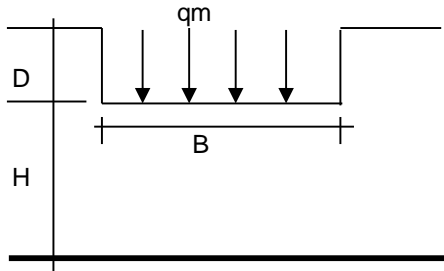
|                         |   |      |             |   |            |
|-------------------------|---|------|-------------|---|------------|
| <b>FS carico limite</b> | <b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b> | Nmin | <b>6.14</b> | > | <b>1.4</b> |
|                         |   | Nmax | <b>5.71</b> | > |            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 127 di 153 |

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

|       |        |         |
|-------|--------|---------|
| N     | 287.20 | (kN/m)  |
| M     | -71.34 | (kNm/m) |
| e=M/N | -0.25  | (m)     |
| B*    | 3.90   | (m)     |

Profondità Piano di Posa della Fondazione

|         |      |     |
|---------|------|-----|
| D =     | 0.10 | (m) |
| D/B* =  | 0.03 | (m) |
| Hs/B* = | 2.25 | (m) |

Carico unitario medio (qm)

$$qm = N / (B - 2*e) = N / B^* = 78.81 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

$$\mu_0 = 0.963 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

$$\mu_1 = 0.72 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E = 3.26 \quad (\text{mm})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 128 di 153 |

### 15.5.3. Verifiche geotecniche allo scorrimento e del carico limite della fondazione in condizione sismica

#### FORZE VERTICALI

|  |  | SLE           | STR/GEO |
|--|--|---------------|---------|
| - Peso del Muro (Pm)   |  |               |         |
| Pm1 =  | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pm2 =  | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) 65.63  | 65.63   |
| Pm3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) 19.69  | 19.69   |
| Pm4 =  | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) 110.00 | 110.00  |
| Pm5 =  | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pm =   | Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5                  | (kN/m) 195.31 | 195.31  |
| - Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt) |  |               |         |
| Pt1 =  | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$                 | (kN/m) 21.00  | 21.00   |
| Pt2 =  | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pt3 =  | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$               | (kN/m) 15.75  | 15.75   |
| Sovr =   | $qp \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) 0.00   | 0.00    |
| Pt =   | Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr                       | (kN/m) 36.75  | 36.75   |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro            |  |               |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B4+B5)$                            | (kN/m) 10     | 15      |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) 0      |         |

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

|   |   | SLE            | STR/GEO |
|---|---|----------------|---------|
| - Muro (Mm)   |   |                |         |
| Mm1 =   | $Pm1 \cdot (B1+2/3 \cdot B2)$             | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm2 =   | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kNm/m) 239.53 | 239.53  |
| Mm3 =   | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 \cdot B4)$       | (kNm/m) 78.75  | 78.75   |
| Mm4 =   | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kNm/m) 242.00 | 242.00  |
| Mm5 =   | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                    | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mm =  | Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5               | (kNm/m) 560.28 | 560.28  |
| - Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro |   |                |         |
| Mt1 =   | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) 90.30  | 90.30   |
| Mt2 =   | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt3 =   | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kNm/m) 64.58  | 64.58   |
| Msovr =   | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kNm/m) 0.00   | 0.00    |
| Mt =  | Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr                   | (kNm/m) 154.88 | 154.88  |
| - Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro |   |                |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$    | (kNm/m) 41.5   | 62.25   |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$   | (kNm/m) 0      |         |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 129 di 153 |

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

|        |               |        |       |
|--------|---------------|--------|-------|
| Ps h = | $Pm \cdot kh$ | (kN/m) | 18.56 |
| Ps v = | $Pm \cdot kv$ | (kN/m) | 9.28  |

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

|        |               |        |      |
|--------|---------------|--------|------|
| Ptsh = | $Pt \cdot kh$ | (kN/m) | 3.49 |
| Ptsv = | $Pt \cdot kv$ | (kN/m) | 1.75 |

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

|         |                                    |         |       |
|---------|------------------------------------|---------|-------|
| MPs1 h= | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs2 h= | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$   | (kNm/m) | 22.61 |
| MPs3 h= | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 5.15  |
| MPs4 h= | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$        | (kNm/m) | 5.23  |
| MPs5 h= | $-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$       | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs h=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$ | (kNm/m) | 32.98 |

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

|         |  |         |       |
|---------|--|---------|-------|
| MPs1 v= | $kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$   | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs2 v= | $kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$      | (kNm/m) | 11.38 |
| MPs3 v= | $kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$ | (kNm/m) | 3.74  |
| MPs4 v= | $kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$                 | (kNm/m) | 11.50 |
| MPs5 v= | $kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$            | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs v=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$         | (kNm/m) | 26.63 |

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

|          |  |         |       |
|----------|--|---------|-------|
| MPts1 h= | $kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$         | (kNm/m) | 7.24  |
| MPts2 h= | $kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$    | (kNm/m) | 0.00  |
| MPts3 h= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$ | (kNm/m) | 6.74  |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                  | (kNm/m) | 13.97 |

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

|          |  |         |      |
|----------|--|---------|------|
| MPts1 v= | $kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$                            | (kNm/m) | 4.29 |
| MPts2 v= | $kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$                       | (kNm/m) | 0.00 |
| MPts3 v= | $kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 3.26 |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 7.55 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 130 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA +

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

|  |        | SLE   | STR/GEO |
|--|--------|-------|---------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                                     | (kN/m) | 95.47 | 95.47   |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 27.19 | 27.19   |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00    |

- Componente orizzontale condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 87.67 | 87.67 |
| Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 24.97 | 24.97 |
| Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 37.81 | 37.81 |
| Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 10.77 | 10.77 |
| Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Spinta passiva sul dente

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|--|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

|   |           | SLE    | STR/GEO |
|---|-----------|--------|---------|
| MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | ( kNm/m ) | 182.64 | 182.64  |
| MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | ( kNm/m ) | 52.02  | 52.02   |
| MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 166.36 | 166.36  |
| MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 47.38  | 47.38   |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00    |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$   | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00    |
| MSp = $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00    |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 131 di 153 |

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

|          |                         |           |       |
|----------|-------------------------|-----------|-------|
| Mfext1 = | mp+ms                   | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext2 = | (fp+fs)*(H3 + H2)       | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext3 = | (vp+vs)*(B1 +B2 + B3/2) | ( kNm/m ) | 30.11 |

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO**

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv      299.92 (kN/m)

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh      134.69 (kN/m)

Coefficiente di attrito alla base (f)

f = tgφ1'      0.78 (-)

**Fs = (N\*f + Sp) / T      1.74 > 1**

**VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv + (Sovr acc)      Nmin 299.92      Nmax 299.92 (kN/m)

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh - Sp      134.69 (kN/m)

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

MM = ΣM      711.57      711.57 ( kNm/m )

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

M = Xc\*N - MM      -51.75      -51.75 ( kNm/m )

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

**qlim = c'Nc\*ic + q0\*Nq\*iq + 0,5\*γ1\*B\*Nγ\*iy**

|     |                                      |       |                      |
|-----|--------------------------------------|-------|----------------------|
| c1' | coesione terreno di fondaz.          | 0.00  | (kN/mq)              |
| φ1' | angolo di attrito terreno di fondaz. | 38.00 | (°)                  |
| γ1  | peso unità di volume terreno fondaz. | 20.00 | (kN/m <sup>3</sup> ) |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 132 di 153 |

$q_0 = \gamma d^* H_2'$  sovraccarico stabilizzante 2.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$e = M / N$  eccentricità -0.17 -0.17 (m)

$B^* = B - 2e$  larghezza equivalente 4.05 4.05 (m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi/2) * e^{(\pi * \text{tg}(\varphi))}$  (1 in cond. nd) 48.93 (-)

$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi)$  (2+ $\pi$  in cond. nd) 61.35 (-)

$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\varphi)$  (0 in cond. nd) 78.02 (-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi))^m$  (1 in cond. nd) 0.30 0.30 (-)

$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$  0.29 0.29 (-)

$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \varphi))^{m+1}$  0.17 0.17 (-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$  (carico limite unitario) 558.68 558.68 (kN/m<sup>2</sup>)

**FS carico limite**  $F = q_{lim} * B^* / N$

|      |             |   |            |
|------|-------------|---|------------|
| Nmin | <b>7.55</b> | > | <b>1.2</b> |
| Nmax | <b>7.55</b> | > |            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 133 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

| SLE | STR/GEO |
|-----|---------|
|-----|---------|

- Spinta condizione sismica -

|   |        |       |       |
|---|--------|-------|-------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                             | (kN/m) | 95.47 | 95.47 |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^-$ - Sst1 stat | (kN/m) | 18.36 | 18.36 |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = Sst1 stat * $\cos \delta$ | (kN/m) | 87.67 | 87.67 |
| Sst1h sism = Sst1 sism * $\cos \delta$ | (kN/m) | 16.86 | 16.86 |
| Ssq1h perm = Ssq1 perm * $\cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = Ssq1 acc * $\cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1v stat = Sst1 stat * $\sin \delta$ | (kN/m) | 37.81 | 37.81 |
| Sst1v sism = Sst1 sism * $\sin \delta$ | (kN/m) | 7.27  | 7.27  |
| Ssq1v perm = Ssq1 perm * $\sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1v acc = Ssq1 acc * $\sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Spinta passiva sul dente

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^- + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{-0.5} + \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot kps^- \cdot H2) \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|--|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

| SLE | STR/GEO |
|-----|---------|
|-----|---------|

- Condizione sismica -

|   |         |        |        |
|---|---------|--------|--------|
| MSst1 stat = Sst1h stat * $((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | (kNm/m) | 182.64 | 182.64 |
| MSst1 sism = Sst1h sism * $((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | (kNm/m) | 35.13  | 35.13  |
| MSst2 stat = Sst1v stat * B   | (kNm/m) | 166.36 | 166.36 |
| MSst2 sism = Sst1v sism * B   | (kNm/m) | 32.00  | 32.00  |
| MSsq1 = Ssq1h * $((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| MSsq2 = Ssq1v * B   | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| MSp = $\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$ | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|                                     |         |       |
|-------------------------------------|---------|-------|
| Mfext1 = mp+ms                      | (kNm/m) | 0.00  |
| Mfext2 = (fp+fs) * (H3 + H2)        | (kNm/m) | 0.00  |
| Mfext3 = (vp+vs) * (B1 + B2 + B3/2) | (kNm/m) | 30.11 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 134 di 153 |

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + \varphi_p + \varphi_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} = 274.37 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + \varphi_p + \varphi_s + P_s h + P_{tsh} = 126.58 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\varphi_1' = 0.78 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T = 1.69 > 1$$

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + \varphi_p + \varphi_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} = \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 274.37 & 274.37 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + \varphi_p + \varphi_s + P_s h + P_{tsh} - S_p = 126.58 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M = 644.74 \quad 644.74 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM = -41.13 \quad -41.13 \quad (\text{kNm/m})$$

### **Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$c' = \text{coesione terreno di fondaz.} = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi_1' = \text{angolo di attrito terreno di fondaz.} = 38.00 \quad (^\circ)$$

$$\gamma_1 = \text{peso unit\`a di volume terreno fondaz.} = 20.00 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$q_0 = \gamma_d \cdot H_2' = \text{sovraccarico stabilizzante} = 2.00 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$e = M / N = \text{eccentricit\`a} = -0.15 \quad -0.15 \quad (\text{m})$$

$$B^* = B - 2e = \text{larghezza equivalente} = 4.10 \quad 4.10 \quad (\text{m})$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 135 di 153 |

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_g$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|  |                          |       |  |     |
|--|--------------------------|-------|--|-----|
| $N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi/2) * e^{(\pi * \text{tg}(\varphi))}$ | (1 in cond. nd)          | 48.93 |  | (-) |
| $N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi)$                               | ( $2 + \pi$ in cond. nd) | 61.35 |  | (-) |
| $N_g = 2 * (N_q + 1) * \text{tg}(\varphi)$                           | (0 in cond. nd)          | 78.02 |  | (-) |

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_g$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

|   |                 |      |      |     |
|---|-----------------|------|------|-----|
| $i_q = (1 - T / (N + B * c' * \cotg(\varphi)))^m$     | (1 in cond. nd) | 0.29 | 0.29 | (-) |
| $i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$                   |                 | 0.28 | 0.28 | (-) |
| $i_g = (1 - T / (N + B * c' * \cotg(\varphi)))^{m+1}$ |                 | 0.16 | 0.16 | (-) |

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

|           |                          |        |        |                      |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|
| $q_{lim}$ | (carico limite unitario) | 528.32 | 528.32 | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------|--------|--------|----------------------|

**FS carico limite**

**$F = q_{lim} * B / N$**

|           |             |   |              |
|-----------|-------------|---|--------------|
| $N_{min}$ | <b>7.90</b> | > | <b>1.2</b>   |
| $N_{max}$ | <b>7.90</b> | > | <b>1.2</b> ▲ |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 136 di 153 |

### 15.5.4. Verifiche geotecniche al ribaltamento in condizione sismica

#### FORZE VERTICALI

|   |  | SLE    | STR/GEO |
|---|--|--------|---------|
| <b>- Peso del Muro (Pm)</b>   |  |        |         |
| Pm1 =   | $(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) | 0.00    |
| Pm2 =   | $(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 65.63   |
| Pm3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$         | (kN/m) | 19.69   |
| Pm4 =   | $(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$            | (kN/m) | 110.00  |
| Pm5 =   | $(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$           | (kN/m) | 0.00    |
| Pm =  | $Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$                | (kN/m) | 195.31  |
| <b>- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)</b> |  |        |         |
| Pt1 =   | $(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$                | (kN/m) | 21.00   |
| Pt2 =   | $(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$ | (kN/m) | 0.00    |
| Pt3 =   | $(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')/2$              | (kN/m) | 15.75   |
| Sovr =  | $qp \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0.00    |
| Pt =  | $Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr$                     | (kN/m) | 36.75   |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b>            |  |        |         |
| Sovr acc. Stat  | $q \cdot (B4+B5)$                            | (kN/m) | 10      |
| Sovr acc. Sism  | $qs \cdot (B4+B5)$                           | (kN/m) | 0       |

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

|  |   | SLE     | STR/GEO |
|--|---|---------|---------|
| <b>- Muro (Mm)</b>   |   |         |         |
| Mm1 =  | $Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$                   | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm2 =  | $Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$          | (kNm/m) | 239.53  |
| Mm3 =  | $Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$             | (kNm/m) | 78.75   |
| Mm4 =  | $Pm4 \cdot (B/2)$                         | (kNm/m) | 242.00  |
| Mm5 =  | $Pm5 \cdot (B - Bd/2)$                    | (kNm/m) | 0.00    |
| Mm =   | $Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$             | (kNm/m) | 560.28  |
| <b>- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Mt1 =  | $Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$    | (kNm/m) | 90.30   |
| Mt2 =  | $Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$  | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt3 =  | $Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$       | (kNm/m) | 64.58   |
| Msovr =  | $Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$ | (kNm/m) | 0.00    |
| Mt =   | $Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$                 | (kNm/m) | 154.88  |
| <b>- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro</b> |   |         |         |
| Sovr acc. Stat   | $q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$    | (kNm/m) | 41.5    |
| Sovr acc. Sism   | $qs \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$   | (kNm/m) | 0       |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 137 di 153 |

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

|        |               |        |       |
|--------|---------------|--------|-------|
| Ps h = | $Pm \cdot kh$ | (kN/m) | 27.84 |
| Ps v = | $Pm \cdot kv$ | (kN/m) | 13.92 |

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

|        |               |        |      |
|--------|---------------|--------|------|
| Ptsh = | $Pt \cdot kh$ | (kN/m) | 5.24 |
| Ptsv = | $Pt \cdot kv$ | (kN/m) | 2.62 |

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

|         |                                    |         |       |
|---------|------------------------------------|---------|-------|
| MPs1 h= | $kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs2 h= | $kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$   | (kNm/m) | 33.91 |
| MPs3 h= | $kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$   | (kNm/m) | 7.72  |
| MPs4 h= | $kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$        | (kNm/m) | 7.84  |
| MPs5 h= | $-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$       | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs h=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$ | (kNm/m) | 49.47 |

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

|         |  |         |       |
|---------|--|---------|-------|
| MPs1 v= | $kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$   | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs2 v= | $kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$      | (kNm/m) | 17.07 |
| MPs3 v= | $kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$ | (kNm/m) | 5.61  |
| MPs4 v= | $kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$                 | (kNm/m) | 17.25 |
| MPs5 v= | $kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$            | (kNm/m) | 0.00  |
| MPs v=  | $MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$         | (kNm/m) | 39.94 |

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

|          |  |         |       |
|----------|--|---------|-------|
| MPts1 h= | $kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$         | (kNm/m) | 10.85 |
| MPts2 h= | $kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$    | (kNm/m) | 0.00  |
| MPts3 h= | $kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$ | (kNm/m) | 10.10 |
| MPts h=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$                  | (kNm/m) | 20.96 |

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

|          |  |         |       |
|----------|--|---------|-------|
| MPts1 v= | $kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$                            | (kNm/m) | 6.44  |
| MPts2 v= | $kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$                       | (kNm/m) | 0.00  |
| MPts3 v= | $kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$ | (kNm/m) | 4.88  |
| MPts v=  | $MPts1 + MPts2 + MPts3$  | (kNm/m) | 11.32 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 138 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA +

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Spinta condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                                     | (kN/m) | 95.47 | 95.47 |
| Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$ | (kN/m) | 42.57 | 42.57 |
| Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 87.67 | 87.67 |
| Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 39.09 | 39.09 |
| Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica +

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 37.81 | 37.81 |
| Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 16.86 | 16.86 |
| Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Spinta passiva sul dente

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|--|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Condizione sismica +

|   |           |        |        |
|---|-----------|--------|--------|
| MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | ( kNm/m ) | 182.64 | 182.64 |
| MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | ( kNm/m ) | 81.43  | 81.43  |
| MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 166.36 | 166.36 |
| MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$   | ( kNm/m ) | 74.18  | 74.18  |
| MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00   |
| MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$   | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00   |
| MSp = $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2') \cdot Hd^2 / 2$ | ( kNm/m ) | 0.00   | 0.00   |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|   |           |       |
|---|-----------|-------|
| Mfext1 = $mp+ms$                          | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext2 = $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | ( kNm/m ) | 0.00  |
| Mfext3 = $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | ( kNm/m ) | 30.11 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 139 di 153 |

## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + Mfext3 \quad 985.81 \quad (\text{ kNm/m })$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSst + MSsq + Mfext1 + Mfext2 + MSp + MPs + Mpts \quad 334.50 \quad (\text{ kNm/m })$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{2.95} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 140 di 153 |

## CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Spinta condizione sismica -

|   |        |       |       |
|---|--------|-------|-------|
| $Sst1\ stat = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$                              | (kN/m) | 95.47 | 95.47 |
| $Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^- - Sst1\ stat$ | (kN/m) | 29.88 | 29.88 |
| $Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| $Ssq1\ acc = qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^-$  | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente orizzontale condizione sismica -

|   |        |       |       |
|---|--------|-------|-------|
| $Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos\delta$ | (kN/m) | 87.67 | 87.67 |
| $Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos\delta$ | (kN/m) | 27.43 | 27.43 |
| $Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos\delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| $Ssq1h\ acc = Ssq1\ acc \cdot \cos\delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Componente verticale condizione sismica -

|   |        |       |       |
|---|--------|-------|-------|
| $Sst1v\ stat = Sst1\ stat \cdot \sin\delta$ | (kN/m) | 37.81 | 37.81 |
| $Sst1v\ sism = Sst1\ sism \cdot \sin\delta$ | (kN/m) | 11.83 | 11.83 |
| $Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin\delta$ | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |
| $Ssq1v\ acc = Ssq1\ acc \cdot \sin\delta$   | (kN/m) | 0.00  | 0.00  |

- Spinta passiva sul dente

|  |        |      |      |
|--|--------|------|------|
| $Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^- + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{-0.5} + \gamma_1 \cdot (1-kv) \cdot kps^- \cdot H2) \cdot Hd$ | (kN/m) | 0.00 | 0.00 |
|--|--------|------|------|

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

|  | SLE | STR/GEO |
|--|-----|---------|
|--|-----|---------|

- Condizione sismica -

|   |         |        |        |
|---|---------|--------|--------|
| $MSst1\ stat = Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$  | (kNm/m) | 182.64 | 182.64 |
| $MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$  | (kNm/m) | 57.15  | 57.15  |
| $MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$   | (kNm/m) | 166.36 | 166.36 |
| $MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$   | (kNm/m) | 52.06  | 52.06  |
| $MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$  | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| $MSsq2 = Ssq1v \cdot B$   | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |
| $MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$ | (kNm/m) | 0.00   | 0.00   |

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

|   |         |       |
|---|---------|-------|
| $Mfext1 = mp+ms$                          | (kNm/m) | 0.00  |
| $Mfext2 = (fp+fs) \cdot (H3 + H2)$        | (kNm/m) | 0.00  |
| $Mfext3 = (vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$ | (kNm/m) | 30.11 |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 141 di 153 |

## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + Mfext3 \quad 963.69 \quad (\text{ kNm/m })$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSst+MSsq+Mfext1+Mfext2+MSp+MPs+Mpts \quad 361.48 \quad (\text{ kNm/m })$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{2.67} \quad > \quad \mathbf{1}$$

## 15.6. Verifiche SLU per combinazione statica e sismica

### Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

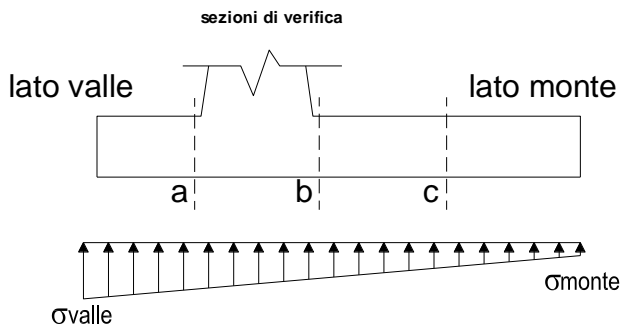
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

| caso    | N      | M      | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|---------|--------|--------|----------------------|----------------------|
|         | [kN]   | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| statico | 307.61 | 4.29   | 71.24                | 68.58                |
|         | 322.61 | -24.96 | 65.58                | 81.06                |
| sisma+  | 299.92 | -51.75 | 52.12                | 84.20                |
|         | 299.92 | -51.75 | 52.12                | 84.20                |
| sisma-  | 274.37 | -41.13 | 49.61                | 75.10                |
|         | 274.37 | -41.13 | 49.61                | 75.10                |



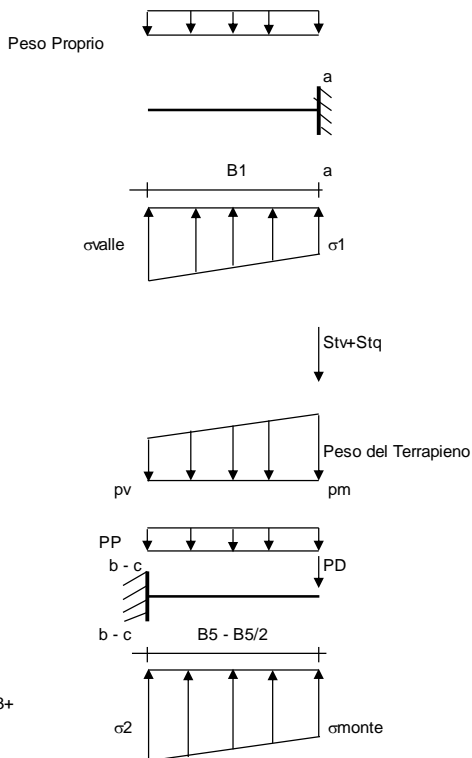
##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_a = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | $M_a$  | $V_a$  |
|---------|----------------------|----------------------|--------|--------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN]   |
| statico | 71.24                | 69.19                | 263.32 | 153.73 |
|         | 65.58                | 77.54                | 257.62 | 158.31 |
| sisma+  | 52.12                | 76.91                | 197.67 | 160.07 |
|         | 52.12                | 76.91                | 204.54 | 160.07 |
| sisma-  | 49.61                | 69.31                | 187.06 | 136.76 |
|         | 49.61                | 69.31                | 180.20 | 136.76 |



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

Nmin N max stat N max sism

pm = 105.00 135.00 105.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvb = 105.00 135.00 105.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 105.00 135.00 105.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B/2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B/2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B/2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2) / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 143 di 153 |

| caso    | $\sigma_{2b}$        | $\sigma_{2c}$        | Mb     | Vb     | Mc    | Vc    |
|---------|----------------------|----------------------|--------|--------|-------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN]   | [kNm] | [kN]  |
| statico | 68.58                | 68.70                | -14.69 | -79.57 | 68.64 | -7.04 |
|         | 81.06                | 80.35                | -15.04 | -83.16 | 80.71 | -7.13 |
| sisma+  | 84.20                | 82.74                | -10.76 | -59.12 | 83.47 | -5.12 |
|         | 84.20                | 82.74                | -10.76 | -59.12 | 83.47 | -5.12 |
| sisma-  | 75.10                | 73.94                | -10.00 | -54.94 | 74.52 | -4.75 |
|         | 75.10                | 73.94                | -10.00 | -54.94 | 74.52 | -4.75 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{ext} = v$$

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

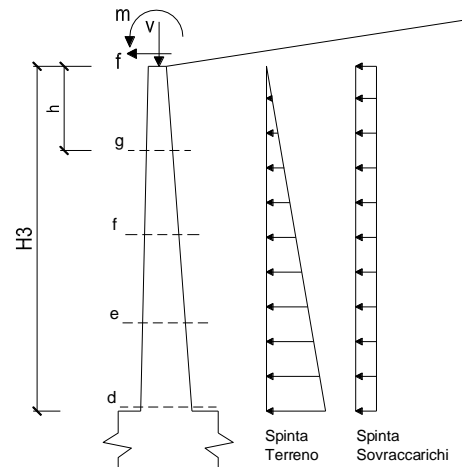
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 140.73  | 92.79   | 0.00             | 233.51           | 8.25             | 85.31           | 93.56            |
| e-e     | 3.94 | 59.37   | 52.19   | 0.00             | 111.56           | 8.25             | 60.29           | 68.54            |
| f-f     | 2.63 | 17.59   | 23.20   | 0.00             | 40.79            | 8.25             | 37.73           | 45.98            |
| g-g     | 1.31 | 2.20    | 5.80    | 0.00             | 8.00             | 8.25             | 17.64           | 25.89            |

| sezione | h    | Vt     | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------|--------|------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 80.41  | 35.35  | 0.00             | 115.76           |
| e-e     | 3.94 | 45.23  | 26.51  | 0.00             | 71.74            |
| f-f     | 2.63 | 20.10  | 17.67  | 0.00             | 37.78            |
| g-g     | 1.31 | 5.03   | 8.84   | 0.00             | 13.86            |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | M <sub>t stat</sub> | M <sub>t sism</sub> | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------------------|---------------------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]             | [kNm/m]             | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25              | 33.58               | 0.00    | 0.00             | 19.65                | 161.48           | 8.25             | 89.37                   | 97.62            |
| e-e     | 3.94 | 45.67               | 14.17               | 0.00    | 0.00             | 10.59                | 70.42            | 8.25             | 63.16                   | 71.41            |
| f-f     | 2.63 | 13.53               | 4.20                | 0.00    | 0.00             | 4.50                 | 22.23            | 8.25             | 39.53                   | 47.78            |
| g-g     | 1.31 | 1.69                | 0.52                | 0.00    | 0.00             | 1.07                 | 3.29             | 8.25             | 18.47                   | 26.72            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 144 di 153 |

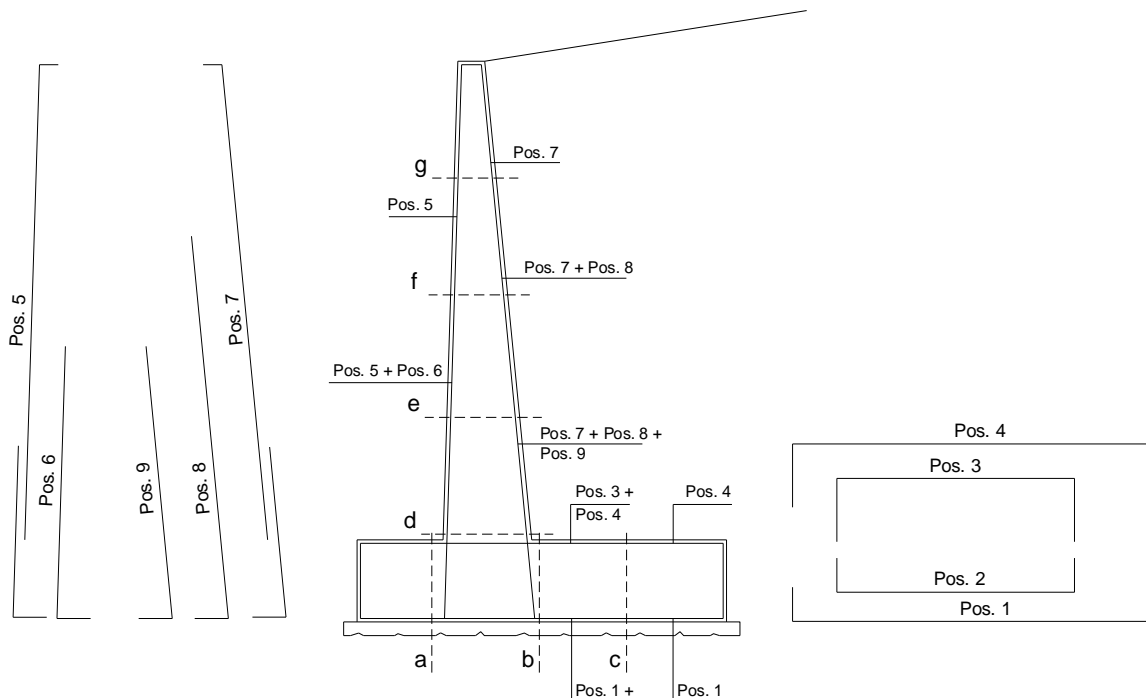
| sezione | h    | Vt <sub>stat</sub> | Vt <sub>sism</sub> | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]             | [kN/m]             | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 61.86              | 19.19              | 0.00   | 0.00             | 8.11                 | 89.15            |
| e-e     | 3.94 | 34.79              | 10.79              | 0.00   | 0.00             | 5.73                 | 51.32            |
| f-f     | 2.63 | 15.46              | 4.80               | 0.00   | 0.00             | 3.59                 | 23.85            |
| g-g     | 1.31 | 3.87               | 1.20               | 0.00   | 0.00             | 1.68                 | 6.74             |

**condizione sismica -**

| sezione | h    | Mt <sub>stat</sub> | Mt <sub>sism</sub> | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m]            | [kNm/m]            | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25             | 22.68              | 0.00    | 0.00             | 19.65                | 150.57           | 8.25             | 81.26                   | 89.51            |
| e-e     | 3.94 | 45.67              | 9.57               | 0.00    | 0.00             | 10.59                | 65.83            | 8.25             | 57.43                   | 65.68            |
| f-f     | 2.63 | 13.53              | 2.83               | 0.00    | 0.00             | 4.50                 | 20.87            | 8.25             | 35.94                   | 44.19            |
| g-g     | 1.31 | 1.69               | 0.35               | 0.00    | 0.00             | 1.07                 | 3.12             | 8.25             | 16.80                   | 25.05            |

| sezione | h    | Vt <sub>stat</sub> | Vt <sub>sism</sub> | Vq     | V <sub>ext</sub> | V <sub>inerzia</sub> | V <sub>tot</sub> |
|---------|------|--------------------|--------------------|--------|------------------|----------------------|------------------|
|         | [m]  | [kN/m]             | [kN/m]             | [kN/m] | [kN/m]           | [kN/m]               | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 61.86              | 12.96              | 0.00   | 0.00             | 8.11                 | 82.92            |
| e-e     | 3.94 | 34.79              | 7.29               | 0.00   | 0.00             | 5.73                 | 47.81            |
| f-f     | 2.63 | 15.46              | 3.24               | 0.00   | 0.00             | 3.59                 | 22.29            |
| g-g     | 1.31 | 3.87               | 0.81               | 0.00   | 0.00             | 1.68                 | 6.35             |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**





**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

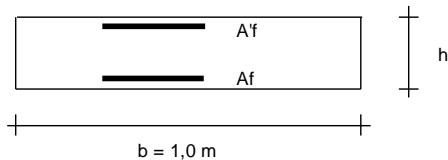
|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 145 di 153 |

**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5.0   | 20 |                          | 5   | 5.0   | 20 |                          |
| 2   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5.0   | 20 |                          |
| 4   | 5.0   | 20 |                          | 8   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



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

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | Mu     |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|--------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (kNm)  |
| a - a | 263.32 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 551.73 |
| b - b | -15.04 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 551.73 |
| c - c | -7.13  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 551.73 |
| d - d | 233.51 | 93.56 | 0.80 | 15.71              | 15.71              | 459.34 |
| e - e | 111.56 | 68.54 | 0.73 | 15.71              | 15.71              | 402.51 |
| f - f | 40.79  | 45.98 | 0.65 | 15.71              | 15.71              | 348.17 |
| g - g | 8.00   | 25.89 | 0.58 | 15.71              | 15.71              | 296.04 |

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

| Sez.  | V <sub>Ed</sub> | h    | V <sub>rd</sub> | ø staffe | i orizz. | i vert. | θ    | V <sub>Rsd</sub> |                                  |
|-------|-----------------|------|-----------------|----------|----------|---------|------|------------------|----------------------------------|
| (-)   | (kN)            | (m)  | (kN)            | (mm)     | (cm)     | (cm)    | (°)  | (kN)             |                                  |
| a - a | 160.07          | 1.00 | 285.85          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 254.47           | Armatura a taglio non necessaria |
| b - b | 83.16           | 1.00 | 285.85          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 254.47           | Armatura a taglio non necessaria |
| c - c | 75.21           | 1.00 | 285.85          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 254.47           | Armatura a taglio non necessaria |
| d - d | 115.76          | 0.80 | 250.40          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 199.15           | Armatura a taglio non necessaria |
| e - e | 71.74           | 0.73 | 229.18          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 178.40           | Armatura a taglio non necessaria |
| f - f | 37.78           | 0.65 | 213.30          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 157.66           | Armatura a taglio non necessaria |
| g - g | 13.86           | 0.58 | 197.12          | 8        | 40       | 40      | 21.8 | 136.92           | Armatura a taglio non necessaria |

## 15.7. Verifiche strutturali SLE

### 15.7.1. Verifiche a fessurazione

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

###### Reazione del terreno

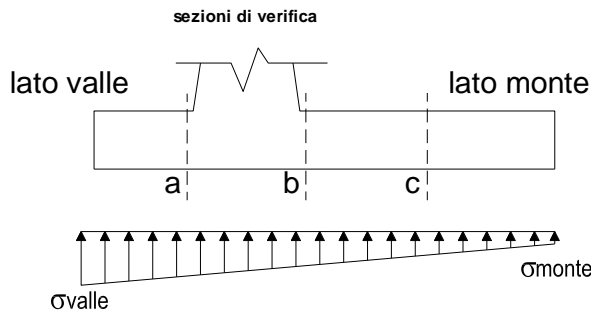
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

| caso  | N      | M       | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|-------|--------|---------|----------------------|----------------------|
|       | [kN]   | [kNm]   | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| Freq. | 287.20 | -71.34  | 43.16                | 87.38                |
|       | 294.70 | -85.96  | 40.34                | 93.62                |
| Q.P.  | 278.12 | -117.12 | 26.91                | 99.51                |
|       | 278.12 | -117.12 | 26.91                | 99.51                |

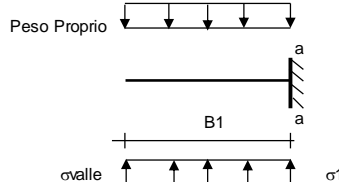


###### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso  | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | $M_a$  |
|-------|----------------------|----------------------|--------|
|       | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  |
| Freq. | 43.16                | 77.33                | 170.81 |
|       | 40.34                | 81.51                | 167.96 |
| Q.P.  | 26.91                | 83.01                | 119.13 |
|       | 26.91                | 83.01                | 119.13 |



###### Mensola Lato Monte

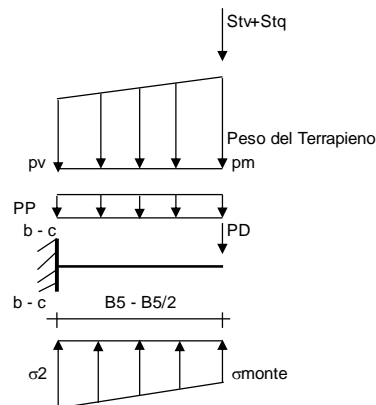
PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

|     | Nmin   | N max Freq | N max QP |                      |
|-----|--------|------------|----------|----------------------|
| pm  | 105.00 | 120.00     | 105.00   | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 105.00 | 120.00     | 105.00   | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 105.00 | 120.00     | 105.00   | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (B_5 - Bd / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

| caso  | $\sigma_{monte}$     | $\sigma_{2c}$        | $M_b$  | $\sigma_{2c}$        | $M_c$ |
|-------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|-------|
|       | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| Freq. | 87.38                | 85.37                | -10.24 | 86.38                | -4.90 |
|       | 93.62                | 91.20                | -10.42 | 92.41                | -4.95 |
| Q.P.  | 99.51                | 96.21                | -8.19  | 97.86                | -3.94 |
|       | 99.51                | 96.21                | -8.19  | 97.86                | -3.94 |



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 147 di 153 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

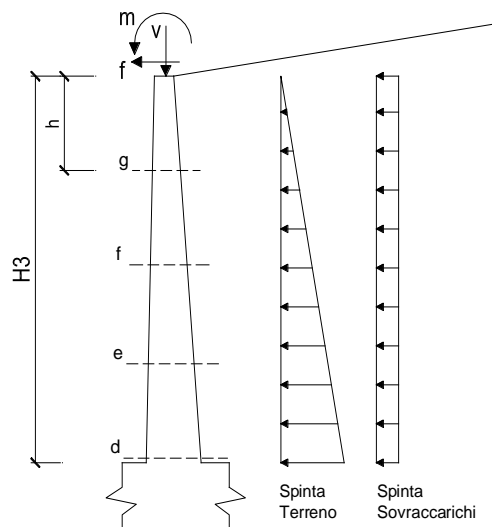
**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

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

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

$$N_{ext} = v$$



**condizione Frequente**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25  | 46.39   | 0.00             | 154.64           | 8.25             | 85.31           | 93.56            |
| e-e     | 3.94 | 45.67   | 26.10   | 0.00             | 71.76            | 8.25             | 60.29           | 68.54            |
| f-f     | 2.63 | 13.53   | 11.60   | 0.00             | 25.13            | 8.25             | 37.73           | 45.98            |
| g-g     | 1.31 | 1.69    | 2.90    | 0.00             | 4.59             | 8.25             | 17.64           | 25.89            |

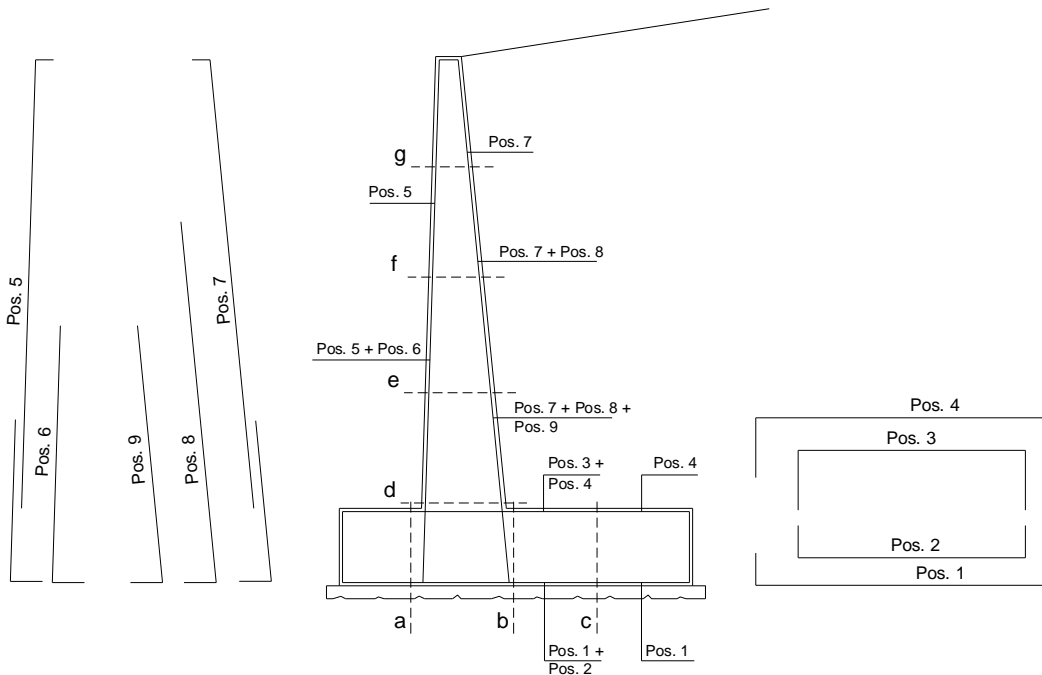
**condizione Quasi Permanente**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25  | 0.00    | 0.00             | 108.25           | 8.25             | 85.31           | 93.56            |
| e-e     | 3.94 | 45.67   | 0.00    | 0.00             | 45.67            | 8.25             | 60.29           | 68.54            |
| f-f     | 2.63 | 13.53   | 0.00    | 0.00             | 13.53            | 8.25             | 37.73           | 45.98            |
| g-g     | 1.31 | 1.69    | 0.00    | 0.00             | 1.69             | 8.25             | 17.64           | 25.89            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 148 di 153 |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

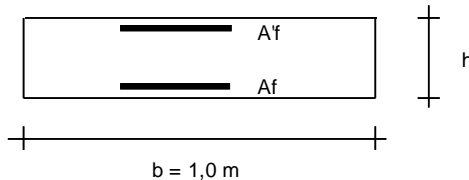


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> | 5   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> |
| 2   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> |
| 4   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> | 8   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



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

**condizione Frequente**

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | $\sigma_c$           | $\sigma_f$           | wk    | $w_{amm}$ |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|-----------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | (mm)      |
| a - a | 170.81 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 1.98                 | 126.61               | 0.243 | 0.300     |
| b - b | -10.42 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.12                 | 7.72                 | 0.015 | 0.300     |
| c - c | -4.95  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.06                 | 3.67                 | 0.007 | 0.300     |
| d - d | 154.64 | 93.56 | 0.80 | 15.71              | 15.71              | 2.69                 | 119.34               | 0.229 | 0.300     |
| e - e | 71.76  | 68.54 | 0.73 | 15.71              | 15.71              | 1.49                 | 56.15                | 0.101 | 0.300     |
| f - f | 25.13  | 45.98 | 0.65 | 15.71              | 15.71              | 0.63                 | 16.99                | 0.027 | 0.300     |
| g - g | 4.59   | 25.89 | 0.58 | 15.71              | 15.71              | 0.13                 | 0.57                 | 0.001 | 0.300     |

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

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 149 di 153 |

**condizione Quasi Permanente**

| Sez.  | M      | N     | h    | A <sub>f</sub>     | A' <sub>f</sub>    | σ <sub>c</sub>       | σ <sub>f</sub>       | w <sub>k</sub> | w <sub>amm</sub> |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)           | (mm)             |
| a - a | 119.13 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 1.38                 | 88.30                | 0.169          | 0.200            |
| b - b | -8.19  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.10                 | 6.07                 | 0.012          | 0.200            |
| c - c | -3.94  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.05                 | 2.92                 | 0.006          | 0.200            |
| d - d | 108.25 | 93.56 | 0.80 | 15.71              | 15.71              | 1.89                 | 75.23                | 0.144          | 0.200            |
| e - e | 45.67  | 68.54 | 0.73 | 15.71              | 15.71              | 0.94                 | 28.61                | 0.050          | 0.200            |
| f - f | 13.53  | 45.98 | 0.65 | 15.71              | 15.71              | 0.31                 | 4.19                 | 0.006          | 0.200            |
| g - g | 1.69   | 25.89 | 0.58 | 15.71              | 15.71              | 0.00                 | -                    | -              | 0.200            |

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

## 15.7.2. Verifiche tensionali

### VERIFICHE TENSIONE

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

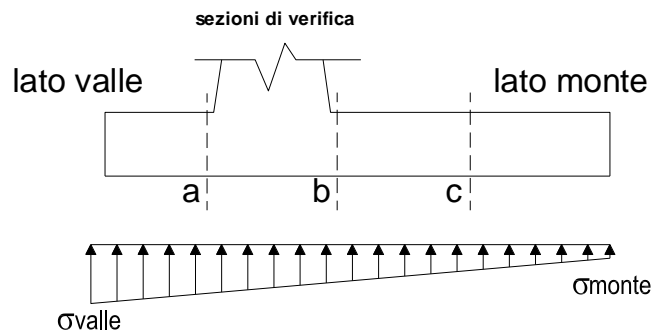
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

| caso    | N      | M      | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_{monte}$     |
|---------|--------|--------|----------------------|----------------------|
|         | [kN]   | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| statico | 290.22 | -56.08 | 48.58                | 83.34                |
|         | 300.22 | -75.58 | 44.81                | 91.65                |
| sisma+  | 299.92 | -51.75 | 52.12                | 84.20                |
|         | 299.92 | -51.75 | 52.12                | 84.20                |
| sisma-  | 274.37 | -41.13 | 49.61                | 75.10                |
|         | 274.37 | -41.13 | 49.61                | 75.10                |

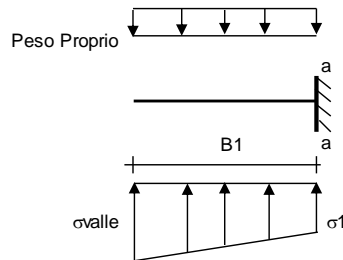


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

| caso    | $\sigma_{valle}$     | $\sigma_1$           | Ma     |
|---------|----------------------|----------------------|--------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  |
| statico | 48.58                | 75.44                | 188.04 |
|         | 44.81                | 81.01                | 184.24 |
| sisma+  | 52.12                | 76.91                | 197.67 |
|         | 52.12                | 76.91                | 197.67 |
| sisma-  | 49.61                | 69.31                | 187.06 |
|         | 49.61                | 69.31                | 187.06 |



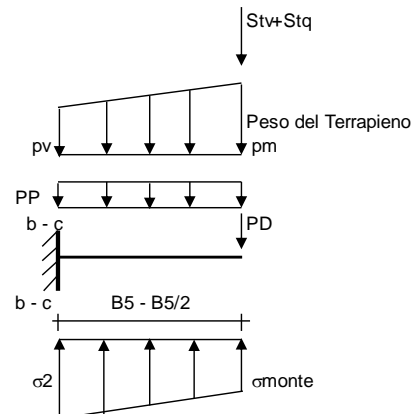
##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

|     | Nmin   | N max stat | N max sism |                      |
|-----|--------|------------|------------|----------------------|
| pm  | 105.00 | 125.00     | 105.00     | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvb | 105.00 | 125.00     | 105.00     | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| pvc | 105.00 | 125.00     | 105.00     | (kN/m <sup>2</sup> ) |

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 151 di 153 |

| caso    | $\sigma_{monte}$     | $\sigma_{2b}$        | $M_b$  | $\sigma_{2c}$        | $M_c$ |
|---------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|-------|
|         | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm]  | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kNm] |
| statico | 83.34                | 81.76                | -10.93 | 82.55                | -5.23 |
|         | 91.65                | 89.52                | -11.16 | 90.59                | -5.28 |
| sisma+  | 84.20                | 82.74                | -10.76 | 83.47                | -5.12 |
|         | 84.20                | 82.74                | -10.76 | 83.47                | -5.12 |
| sisma-  | 75.10                | 73.94                | -10.00 | 74.52                | -4.75 |
|         | 75.10                | 73.94                | -10.00 | 74.52                | -4.75 |

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

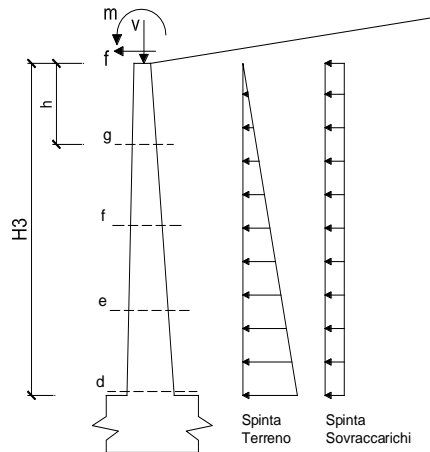
$$M_q = \frac{1}{2} K a_{orizz} \cdot q \cdot h^2$$

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

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

$$N_{ext} = v$$

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



**condizione statica**

| sezione | h    | Mt      | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]          | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25  | 61.86   | 0.00             | 170.11           | 8.25             | 85.31           | 93.56            |
| e-e     | 3.94 | 45.67   | 34.79   | 0.00             | 80.46            | 8.25             | 60.29           | 68.54            |
| f-f     | 2.63 | 13.53   | 15.46   | 0.00             | 29.00            | 8.25             | 37.73           | 45.98            |
| g-g     | 1.31 | 1.69    | 3.87    | 0.00             | 5.56             | 8.25             | 17.64           | 25.89            |

**condizione sismica +**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25  | 33.58   | 0.00    | 0.00             | 19.65                | 161.48           | 8.25             | 89.37                   | 97.62            |
| e-e     | 3.94 | 45.67   | 14.17   | 0.00    | 0.00             | 10.59                | 70.42            | 8.25             | 63.16                   | 71.41            |
| f-f     | 2.63 | 13.53   | 4.20    | 0.00    | 0.00             | 4.50                 | 22.23            | 8.25             | 39.53                   | 47.78            |
| g-g     | 1.31 | 1.69    | 0.52    | 0.00    | 0.00             | 1.07                 | 3.29             | 8.25             | 18.47                   | 26.72            |

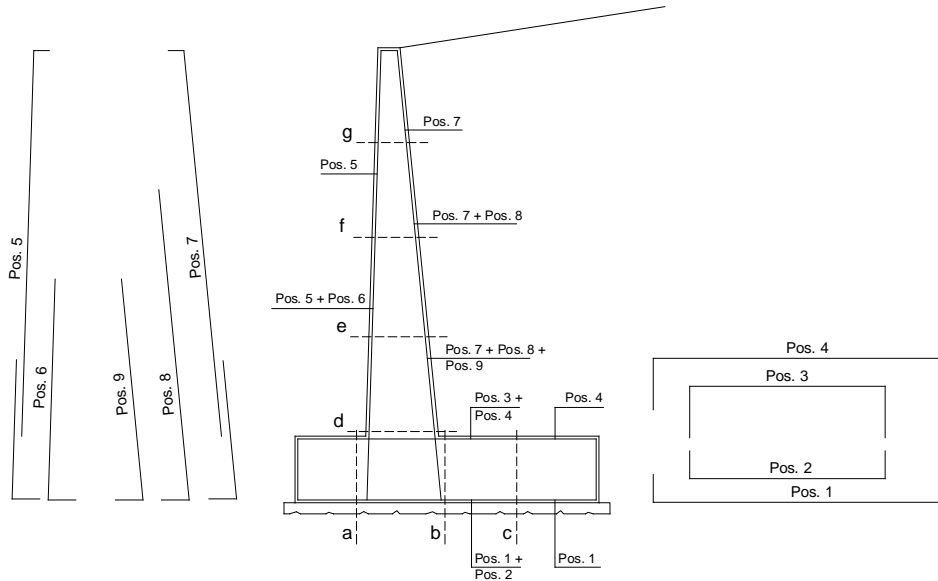
**condizione sismica -**

| sezione | h    | Mt stat | Mt sism | Mq      | M <sub>ext</sub> | M <sub>inerzia</sub> | M <sub>tot</sub> | N <sub>ext</sub> | N <sub>pp+inerzia</sub> | N <sub>tot</sub> |
|---------|------|---------|---------|---------|------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|         | [m]  | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kNm/m]          | [kNm/m]              | [kNm/m]          | [kN/m]           | [kN/m]                  | [kN/m]           |
| d-d     | 5.25 | 108.25  | 22.68   | 0.00    | 0.00             | 19.65                | 150.57           | 8.25             | 81.26                   | 89.51            |
| e-e     | 3.94 | 45.67   | 9.57    | 0.00    | 0.00             | 10.59                | 65.83            | 8.25             | 57.43                   | 65.68            |
| f-f     | 2.63 | 13.53   | 2.83    | 0.00    | 0.00             | 4.50                 | 20.87            | 8.25             | 35.94                   | 44.19            |
| g-g     | 1.31 | 1.69    | 0.35    | 0.00    | 0.00             | 1.07                 | 3.12             | 8.25             | 16.80                   | 25.05            |

**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

|         |       |          |           |      |            |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 152 di 153 |

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

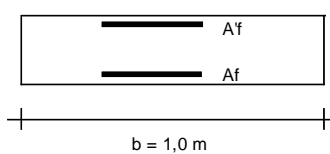


**ARMATURE**

| pos | n°/ml | φ  | II strato                | pos | n°/ml | φ  | II strato                |
|-----|-------|----|--------------------------|-----|-------|----|--------------------------|
| 1   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> | 5   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> |
| 2   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 6   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
| 3   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> | 7   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> |
| 4   | 5.0   | 20 | <input type="checkbox"/> | 8   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |
|     |       |    |                          | 9   | 0.0   | 0  | <input type="checkbox"/> |

Calcola

**VERIFICHE**



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

**Condizione Statica**

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 188.04 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 2.18                 | 139.38               |
| b - b | -11.16 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.13                 | 8.27                 |
| c - c | -5.28  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.06                 | 3.92                 |
| d - d | 170.11 | 93.56 | 0.80 | 15.71              | 15.71              | 2.96                 | 134.08               |
| e - e | 80.46  | 68.54 | 0.73 | 15.71              | 15.71              | 1.67                 | 65.41                |
| f - f | 29.00  | 45.98 | 0.65 | 15.71              | 15.71              | 0.73                 | 21.57                |
| g - g | 5.56   | 25.89 | 0.58 | 15.71              | 15.71              | 0.16                 | 1.30                 |

**Condizione Sismica**

| Sez.  | M      | N     | h    | Af                 | A'f                | σc                   | σf                   |
|-------|--------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| (-)   | (kNm)  | (kN)  | (m)  | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| a - a | 197.67 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 2.29                 | 146.51               |
| b - b | -10.76 | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.12                 | 7.98                 |
| c - c | -5.12  | 0.00  | 1.00 | 15.71              | 15.71              | 0.06                 | 3.79                 |
| d - d | 161.48 | 89.51 | 0.80 | 15.71              | 15.71              | 2.81                 | 127.06               |
| e - e | 70.42  | 65.68 | 0.73 | 15.71              | 15.71              | 1.46                 | 55.57                |
| f - f | 22.23  | 44.19 | 0.65 | 15.71              | 15.71              | 0.55                 | 14.09                |
| g - g | 3.29   | 25.05 | 0.58 | 15.71              | 15.71              | 0.10                 | 0.02                 |

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



**SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

| COMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO     |
|---------|-------|----------|-----------|------|------------|
| IZ09    | 00    | D26CL    | SL0200002 | A    | 153 di 153 |

## 16. RIEPILOGO ARMATURE – MURO DI SOSTEGNO

### 16.1. Tipo 1

| Elemento strutturale | Sezione    | Armatura Principale                    | Armatura secondaria                    | Incidenze            |
|----------------------|------------|--|--|----------------------|
| Muro di sostegno     | pedritto   | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 20/20$ inf. | $\phi 12/20$ sup.<br>$\phi 12/20$ inf. | 95 kg/m <sup>3</sup> |
|                      | fondazione | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 20/20$ inf. | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 12/20$ inf. | 70 kg/m <sup>3</sup> |

### 16.2. Tipo 2

| Elemento strutturale | Sezione    | Armatura Principale                    | Armatura secondaria                    | Incidenze            |
|----------------------|------------|--|--|----------------------|
| Muro di sostegno     | pedritto   | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 20/20$ inf. | $\phi 12/20$ sup.<br>$\phi 12/20$ inf. | 60 kg/m <sup>3</sup> |
|                      | fondazione | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 20/20$ inf. | $\phi 20/20$ sup.<br>$\phi 12/20$ inf. | 35 kg/m <sup>3</sup> |