

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

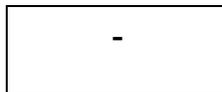
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO

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

SL01 Nuovo sottopasso al km 7+187

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 1 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 Sett. 2019

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

File: IZ0900D26CLSL0100002A

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

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	5 di 153

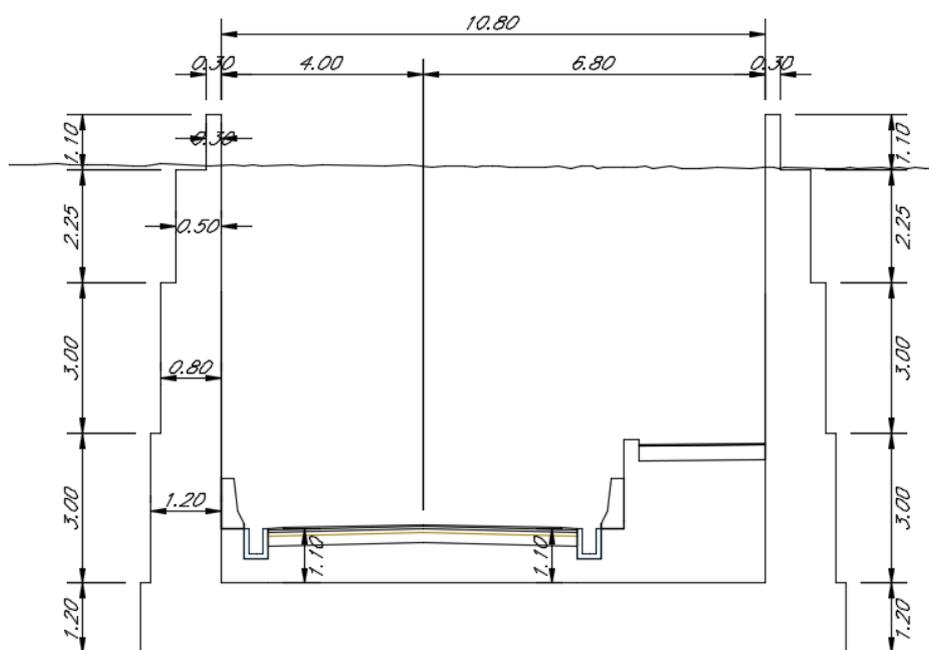
15.5.2.	Verifiche geotecniche allo scorrimento e del carico limite della fondazione in condizione sismica.....	128
15.5.3.	Verifiche geotecniche al ribaltamento in condizione sismica .....	136
15.6.	Verifiche SLU per combinazione statica e sismica.....	142
15.7.	Verifiche strutturali SLE.....	146
15.7.1.	Verifiche a fessurazione .....	146
15.7.2.	Verifiche tensionali .....	150
16.	Riepilogo armature – muro di sostegno .....	153
16.1.	Tipo 1 .....	153
16.1.	Tipo 2.....	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 e i muri di sostegno in prosecuzione del sottopasso SL01 .

### 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 30m nel lato ovest e 83m nel lato est ed è suddiviso in conci da 15m e 12m. Il muro ha un'altezza variabile da 6.35m a 9.35m e una larghezza variabile da 10.80m a 10.99m . Per la verifica del muro si considera il caso più cautelativo dato dalla sezione con dimensioni interne  $B \times H = 10.8 \times 9.35\text{m}$  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 3m dall'estradosso della soletta inferiore, 0.8m per i 3m di altezza successiva ed uno spessore di 0.50cm per i successivi 2.25m di altezza . Il parapetto di altezza pari a 1.1m ha una spessore di 30cm .



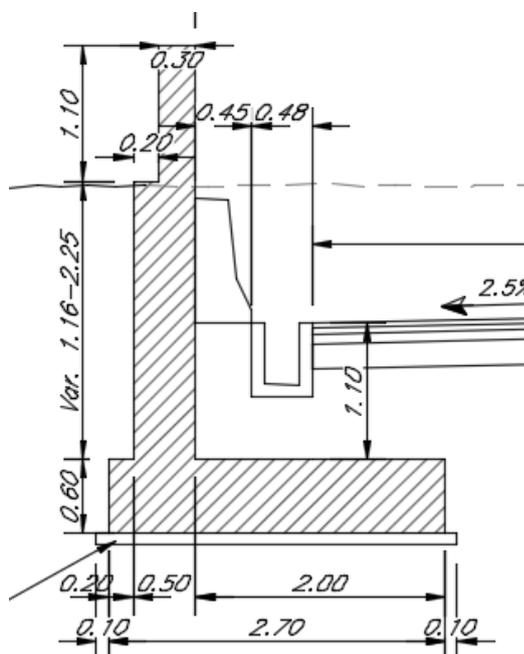
**Figura 1: Sezione trasversale ( muro ad U)**

## 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 SL01. I muri di sostegno hanno uno sviluppo longitudinale pari a 59.40m nel lato ovest e 93.02m nel lato est e sono suddivisi in conci pari a 21m, 20m, 13m e 17.40m. L'altezza dei muri è variabile da 2.26m 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 2.25m 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.



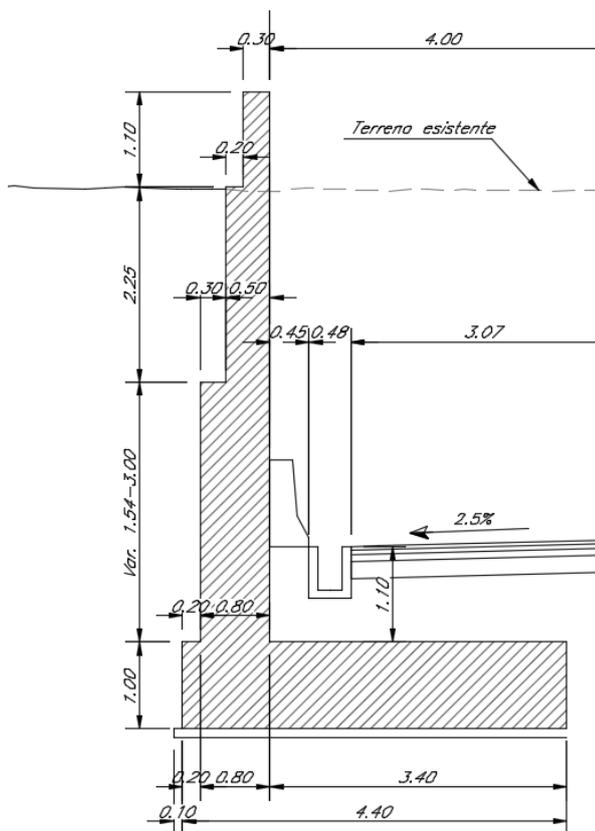
**Figura 2: Sezione trasversale ( muro di sostegno Tipo 1)**

- **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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	8 di 153

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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	11 di 153

## 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b>  <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>  <b>APPALTO 3: Multidisciplinare</b>  <b>Fase 0b, Fase 1, Fase 2.1, Fase 2.2, Fase 2.3 e Fase 3.1</b></p>												
<p><b>SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187</b>  <b>Relazione di calcolo muri delle rampe</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>UO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ</td> <td>0900</td> <td>D26CL</td> <td>SL0100002</td> <td>A</td> <td>13 di 153</td> </tr> </tbody> </table>	UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	13 di 153
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	13 di 153								

## 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

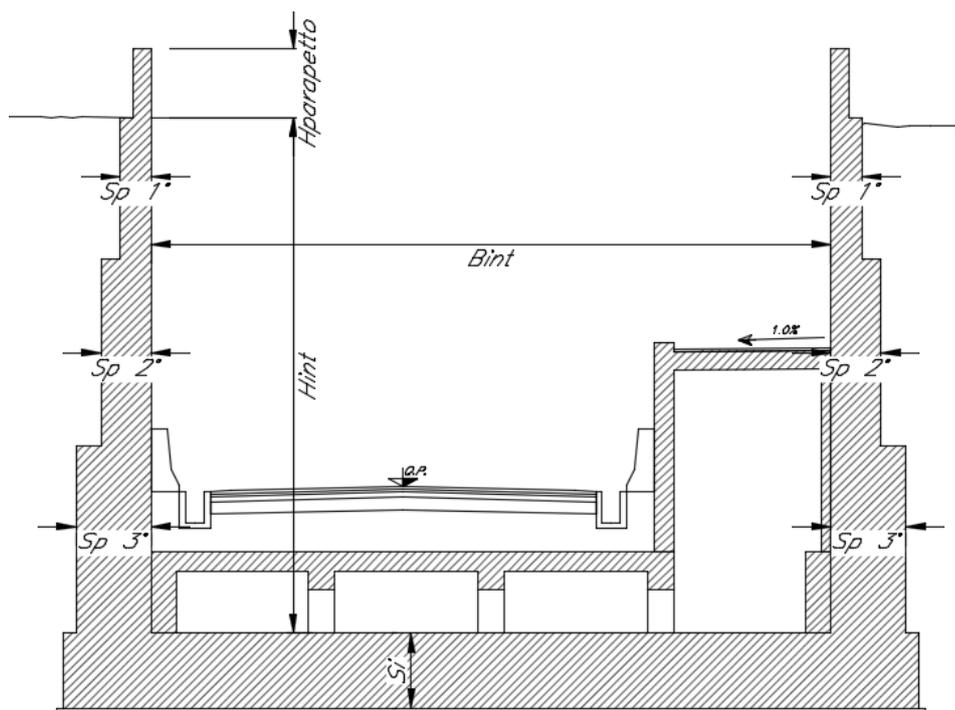


Figura 4: Geometria dell'opera

#### **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	3,00	m	netto
Spessore	t	1,20	m	

#### **Fondazione**

Spessore	t	1,20	m	
larghezza	b	10,80	m	netto
lunghezza	L	1,00	m	

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

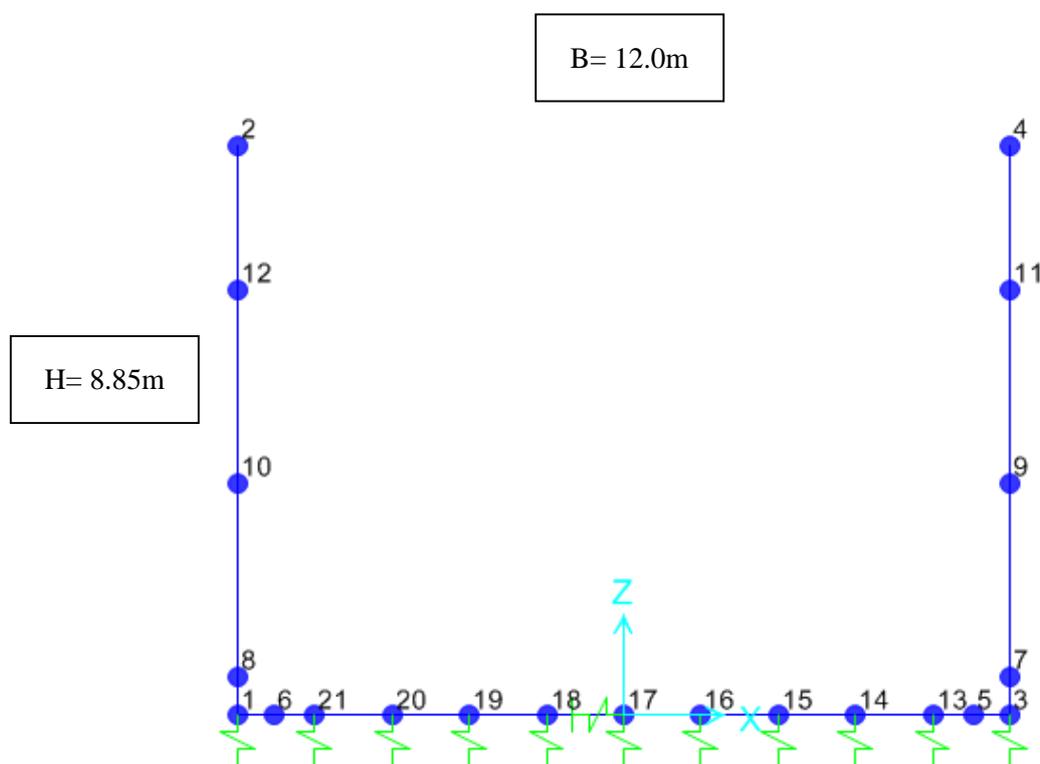
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	15 di 153

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**

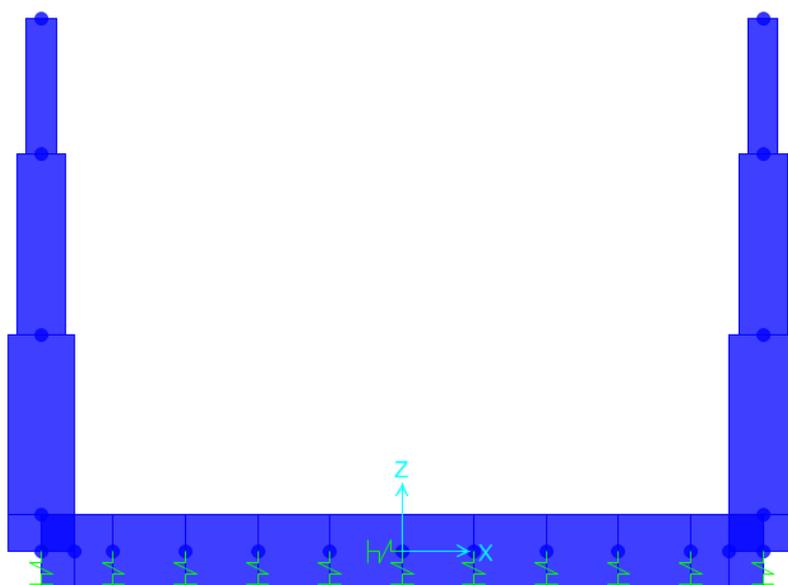


Figura 6: Vista estrusa del modello strutturale

## 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	15636	kN/m <sup>3</sup> (Vogt)
distanza intradosso fondazione da p.c.		8,85	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:

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

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

- bt = 9.20 m dimensione trasversale dell'opera

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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  $K_v = 15636 \text{ kN/m}^3$

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

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

$$K_7, K_8, K_9, K_{10}, K_{11} = 18607.29 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_3 = 2 * K_s * [(L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10/2 + (L_p/2)] = 35807.30 \text{ kN/m}$$

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

$$K_5 = K_6 = K_{12} = K_{13} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 27910 \text{ kN/m}$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	18 di 153

## 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.

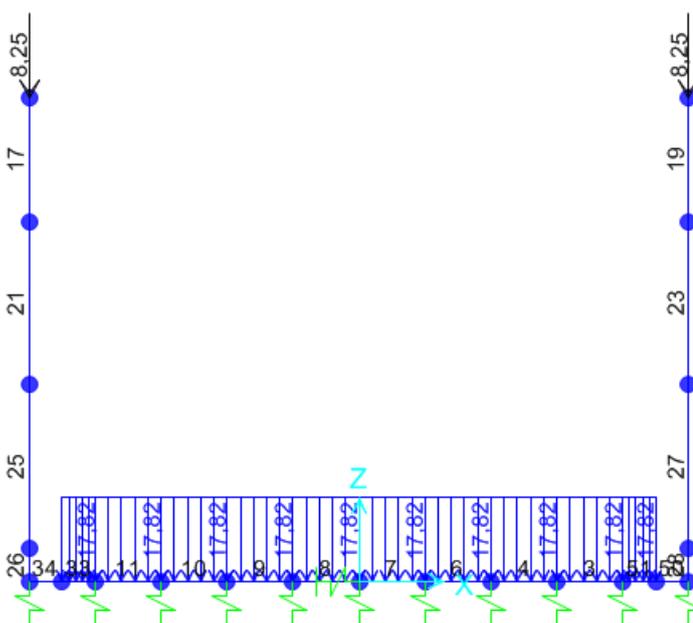
### 7.1. Peso proprio della struttura (DEAD)

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 della fondazione si considera un carico permanente pari a  $17.82 \text{ kN/m}$  (spessore medio  $0.81 \text{ m}$  e  $\gamma_{\text{med}} = 22,00 \text{ kN/m}^3$ ) 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  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

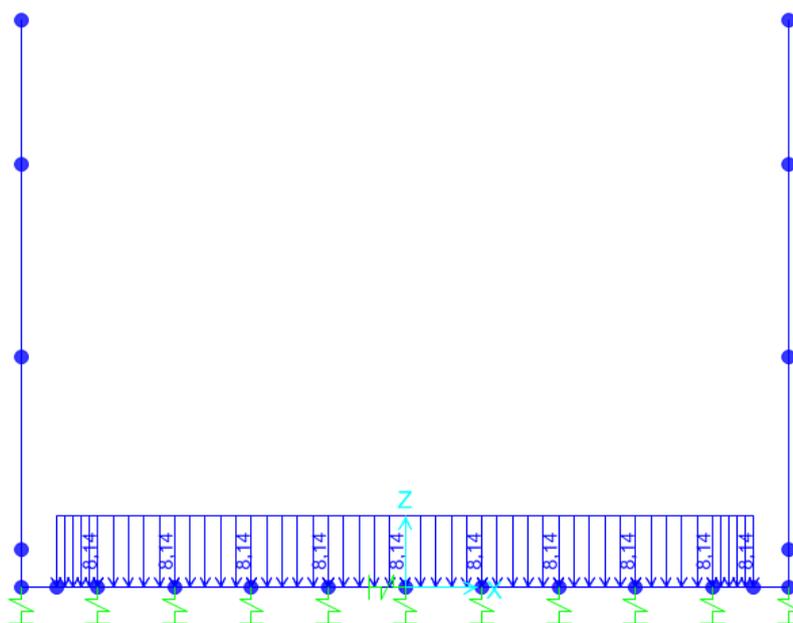


**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	$\text{kN/m}^3$
angolo d'attrito	$\phi$	35,00	$^\circ$
$K_0$ ---->		0,426	

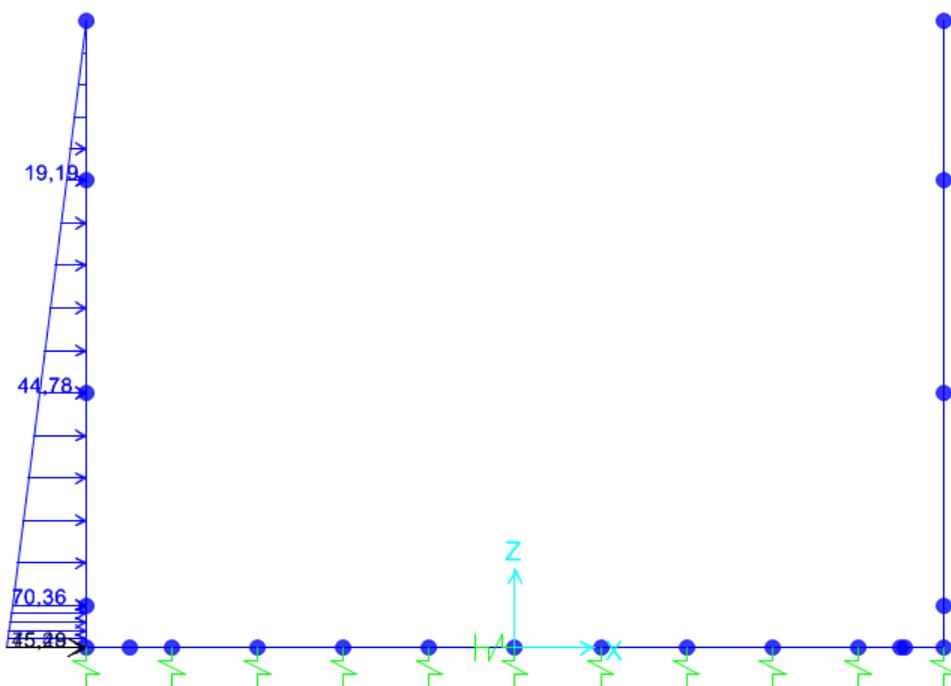
Spinta terreno ai lati	STDX/STSX	0,00	kN/m	Spinta orizzontale del terreno -Applicare in testa
	STDX/STSX	75,48	kN/m	Spinta orizzontale del terreno-Applicare su piede

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	45,29	kN
------------------------	-----------	-------	----

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	20 di 153

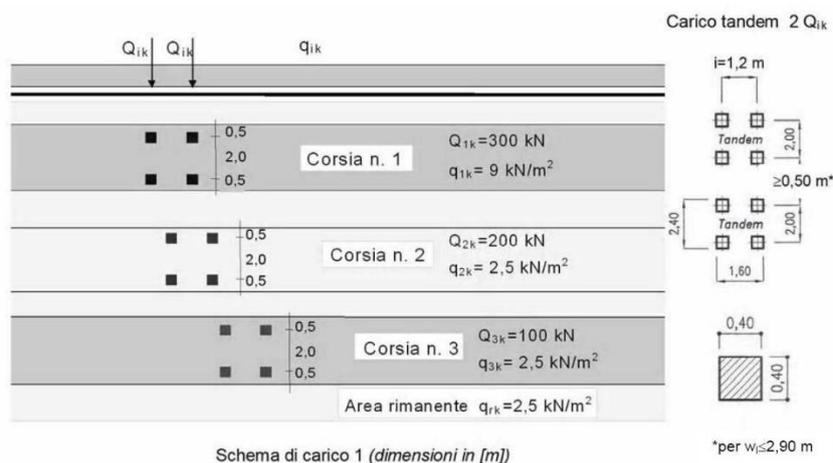


### 7.5. Carichi variabili dal traffico (ACC1)

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  $qrk = 2.5kN/m^2$ .

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).

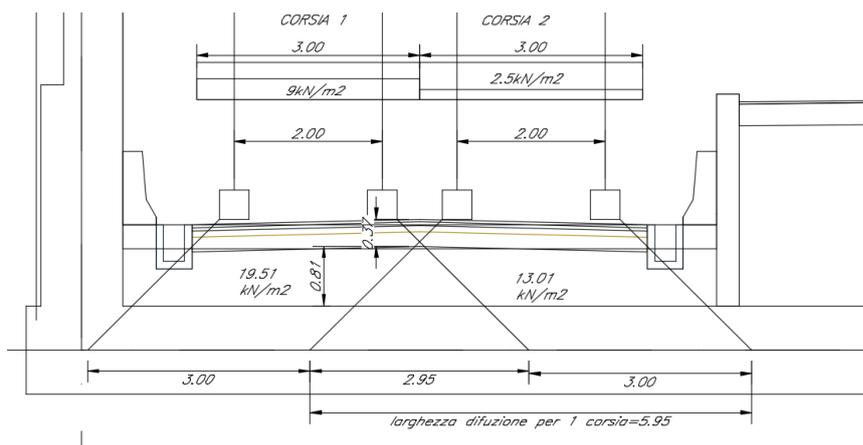
La prima, denominata ACC1, massimizza il momento flettente sul appoggio di solaio inferiore della struttura; si ottiene disponendo i carichi tandem di entrambe le corsie convenzionali disposte

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

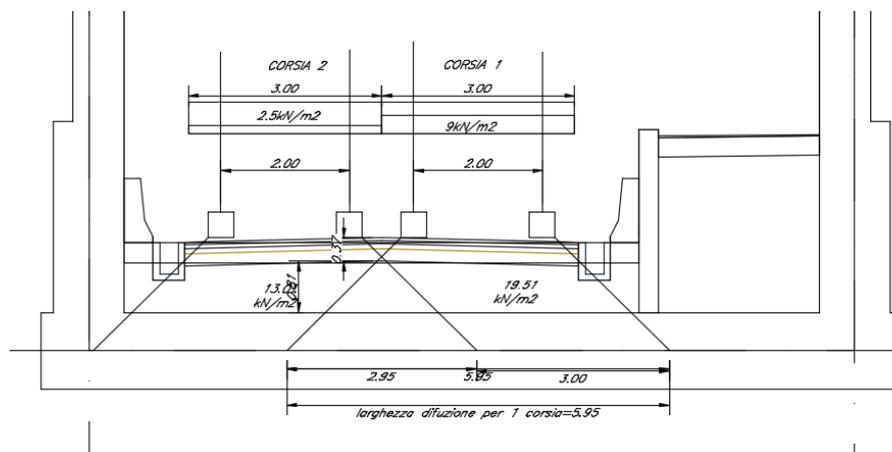
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	22 di 153

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**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	23 di 153

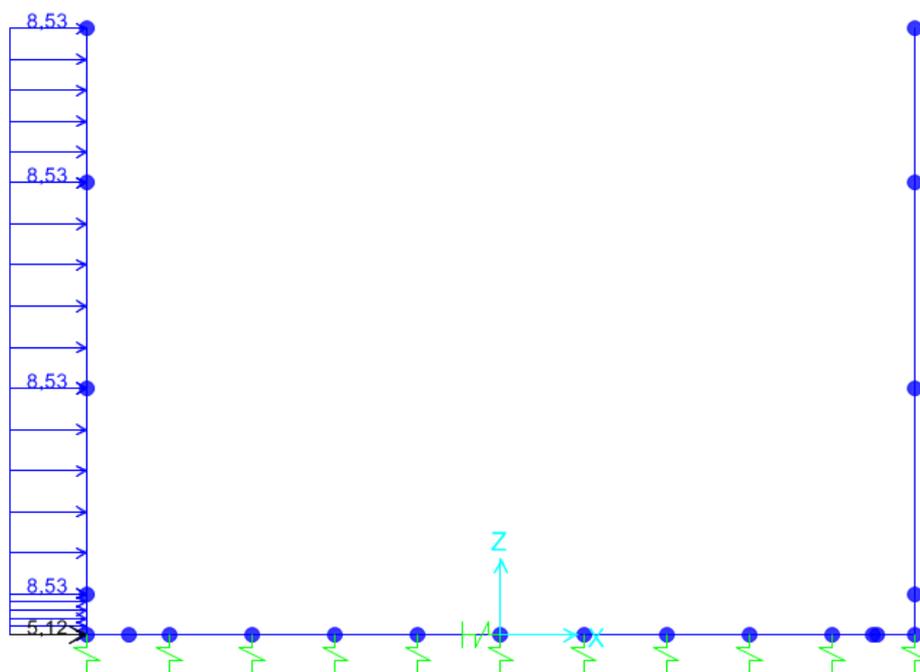
## 7.6. Spinta sui piedritti dovuto al carico accidentale (SASX e SADX)

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, derivate 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  $C_u = 1.0$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	24 di 153

- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.99765° e Long. = 13.25172°).

SLATO LIMITE	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>C</sub> <sup>*</sup> [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:

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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.

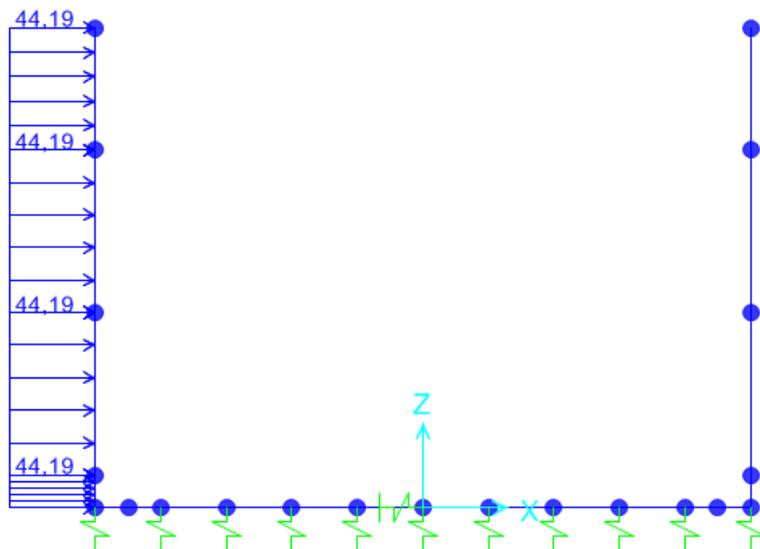
SISX	44,19	kN/m
------	-------	------

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
------	-------	----

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	26 di 153



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

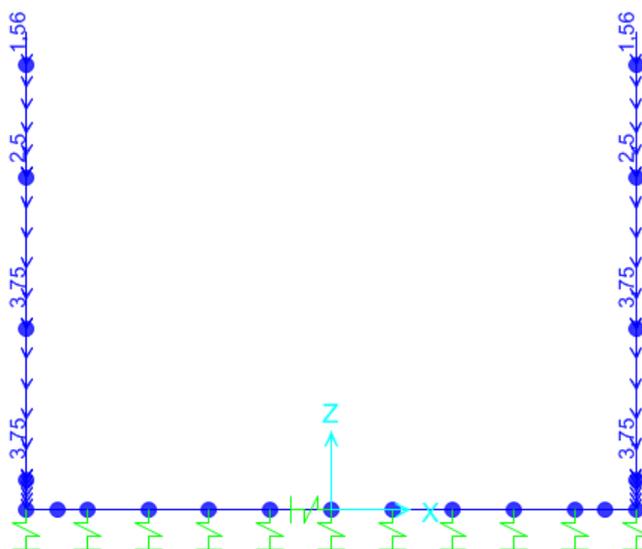
L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

#### **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>

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	27 di 153



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

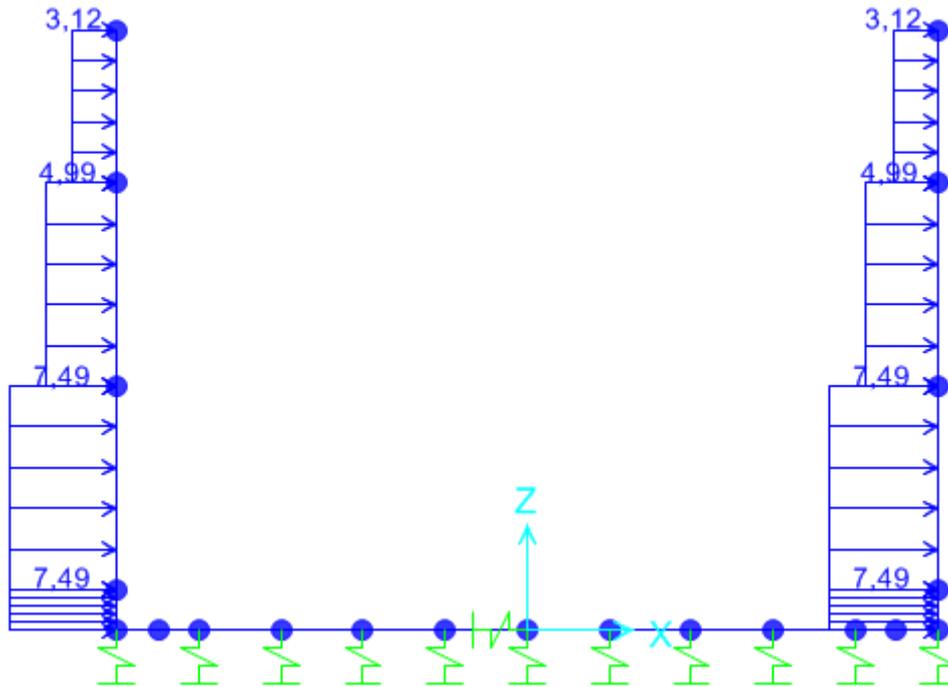
L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

#### **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>

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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-STD	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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

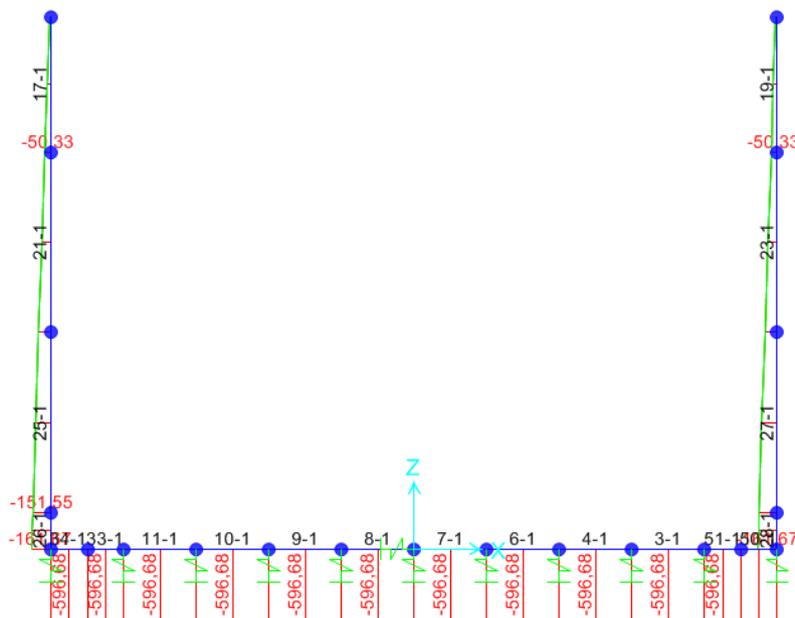
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	31 di 153

## 9. RISULTATI, ANALISE E VERIFICHE

### 9.1. Sollecitazioni

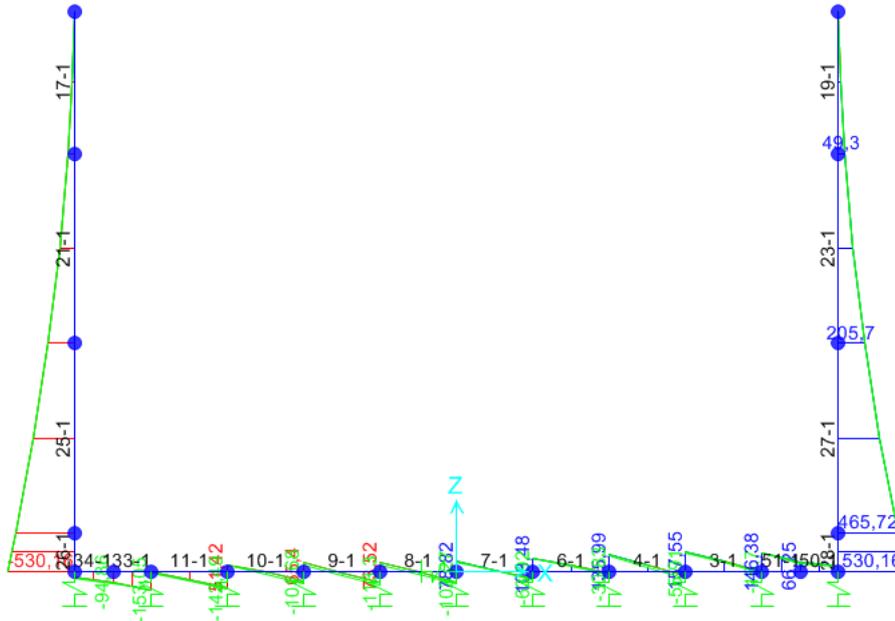
Si riportano, di seguito, i diagrammi di involuppo delle caratteristiche delle sollecitazioni di Flessione, Taglio e Sforzo Normale per le combinazioni SLU, SLE rara e Sismiche SLV



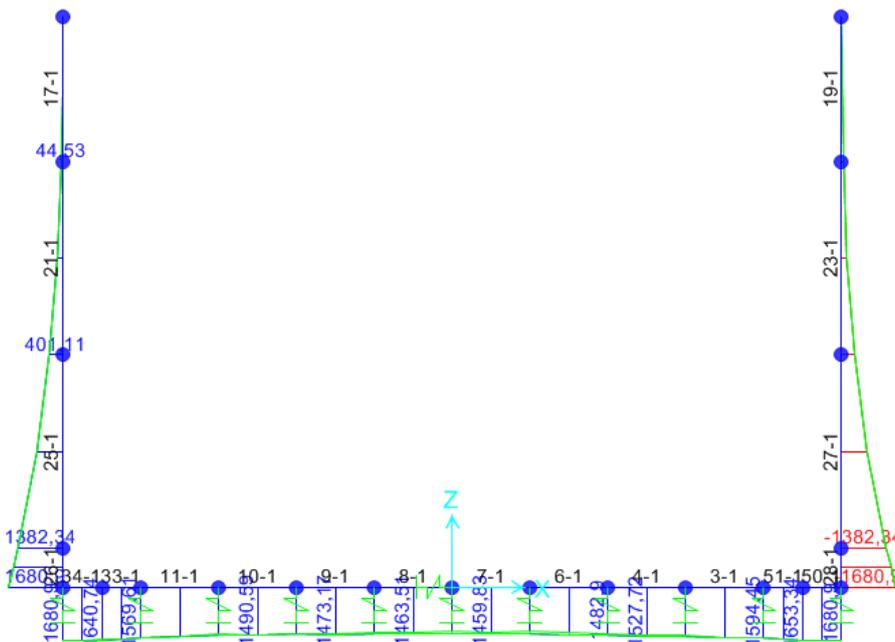
**Figura 10: N - SLU**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	32 di 153



**Figura 11: T - SLU**



**Figura 12: M - SLU**

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187  
 Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	33 di 153

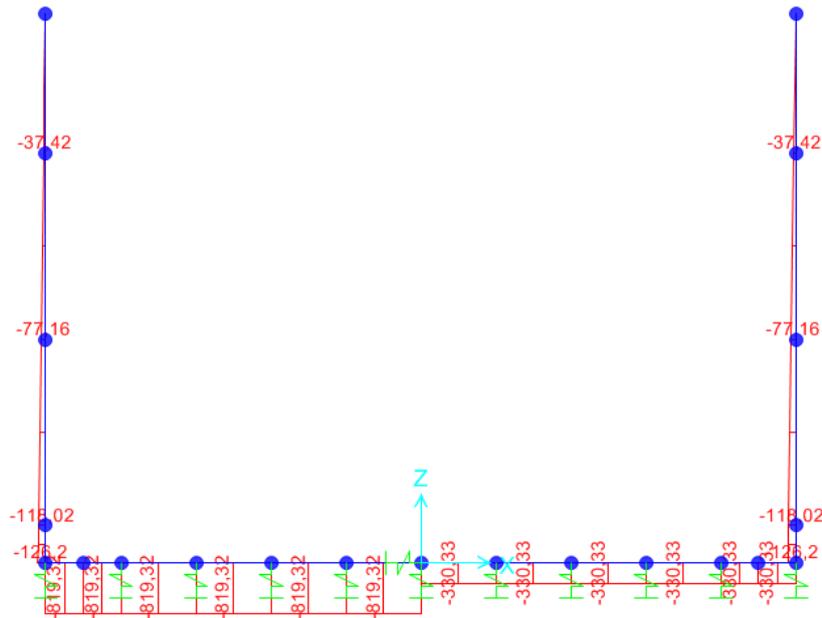


Figura 13: N - SISMA

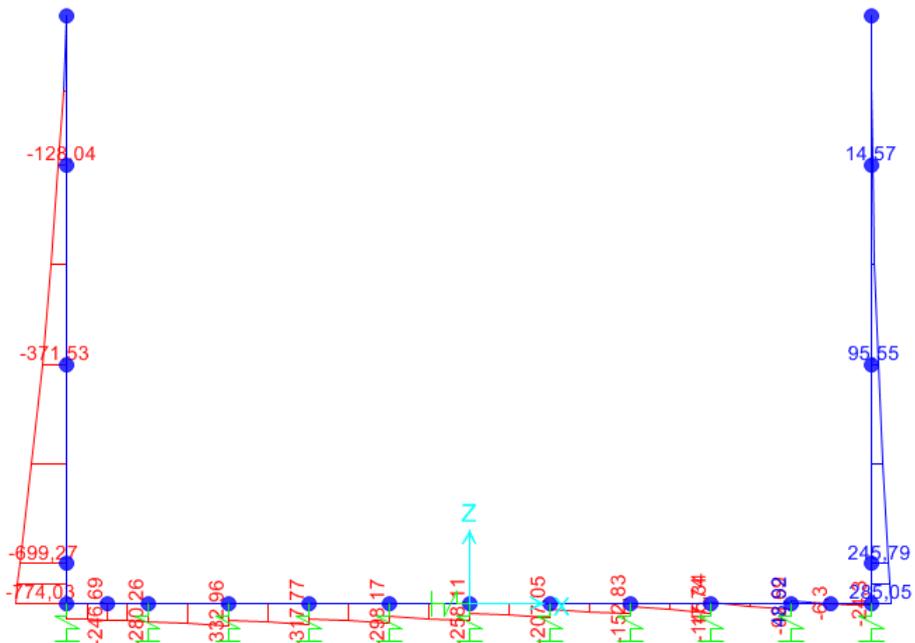
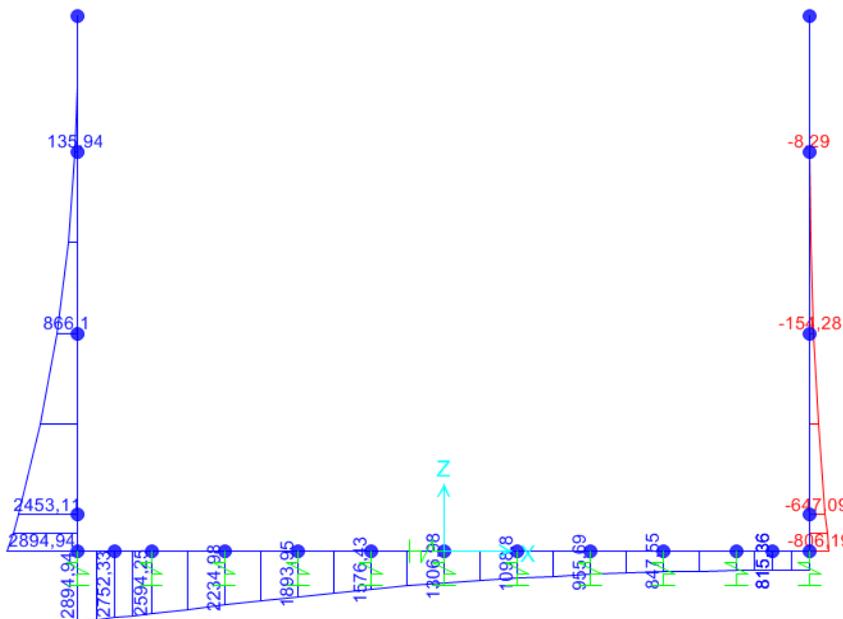


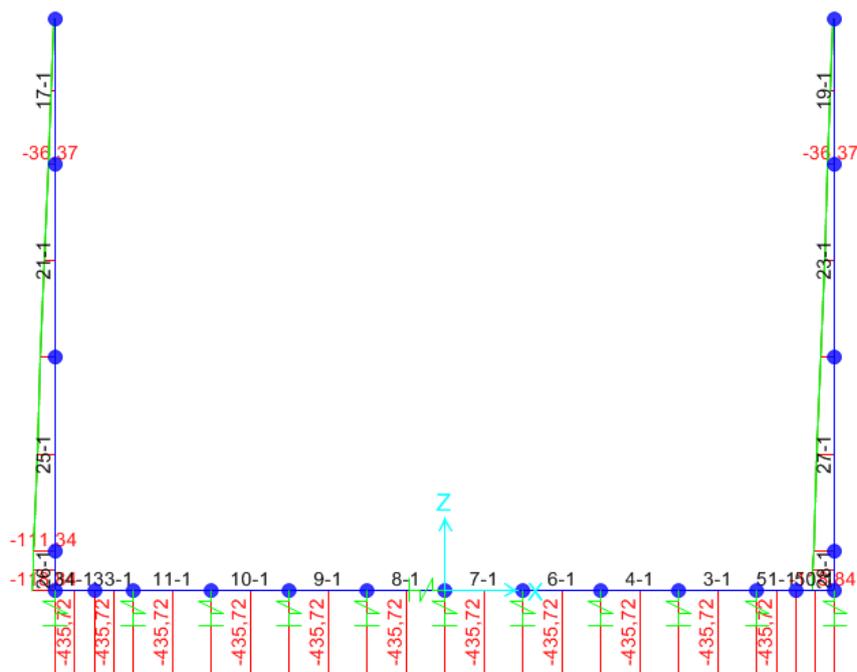
Figura 14: T - SISMA

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	34 di 153



**Figura 15: M - SISNA**



**Figura 16: N - SLE RARA**

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ

0900

D26CL

SL0100002

A

35 di 153

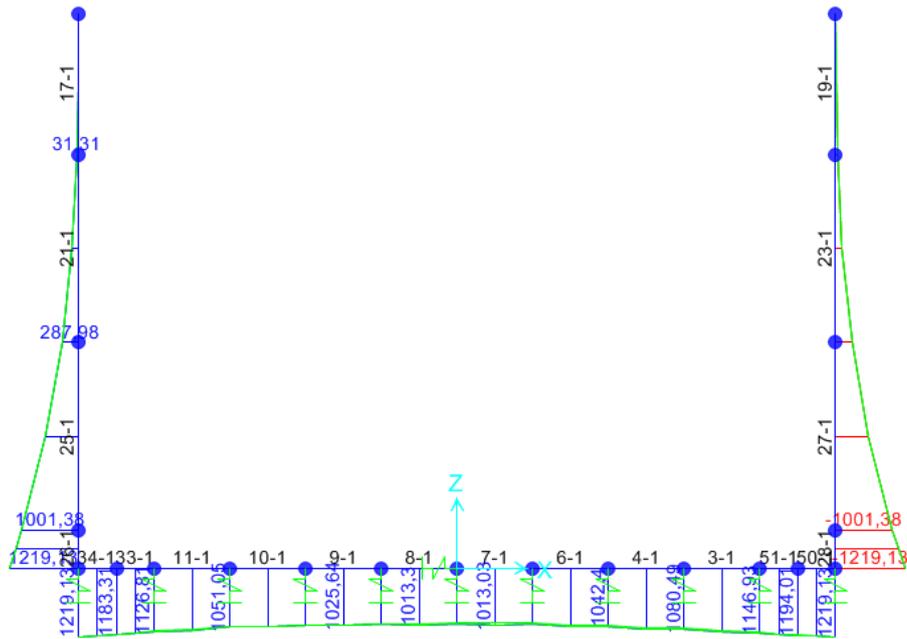
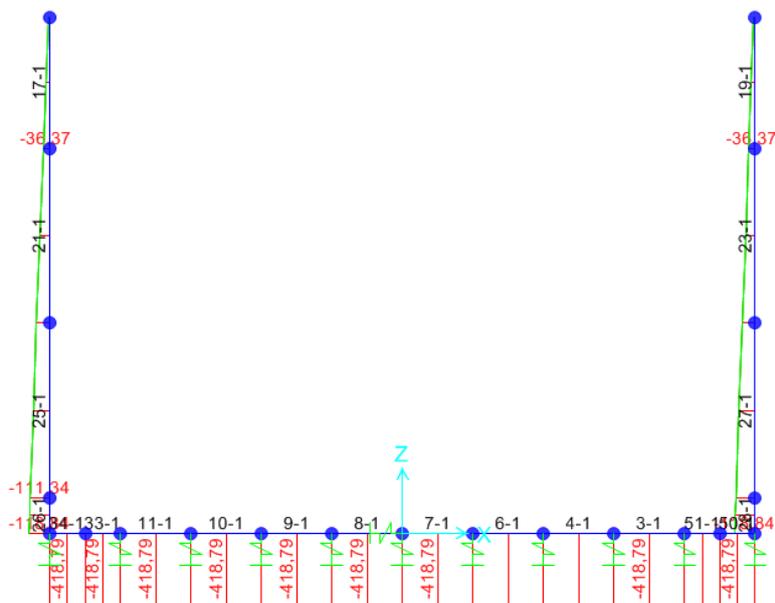


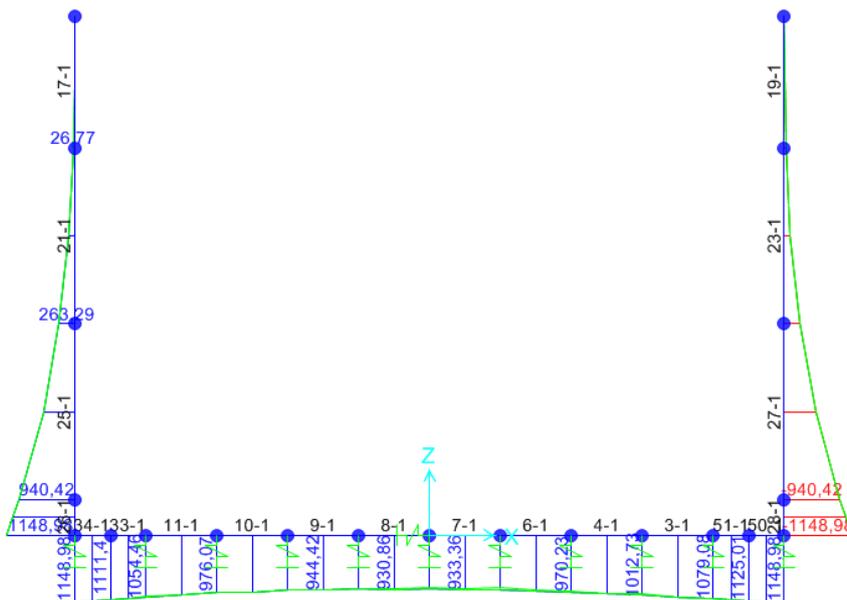
Figura 17: M – SLE RARA



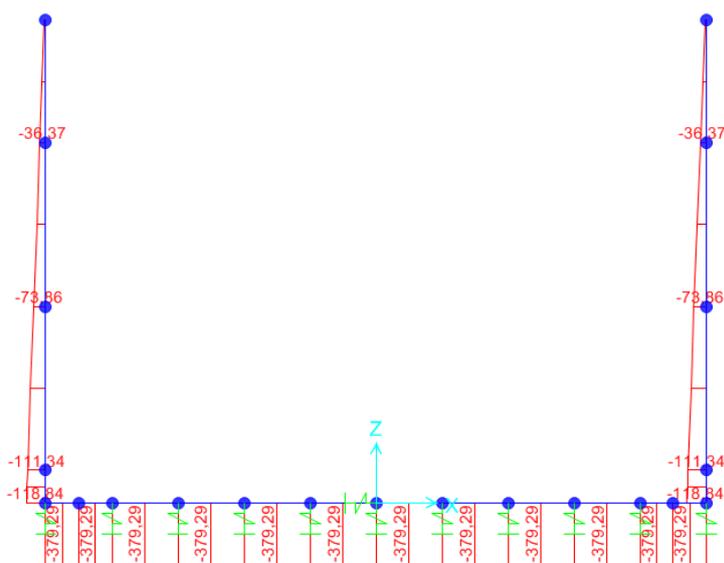
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	36 di 153

**Figura 18: N – SLE FREQ**



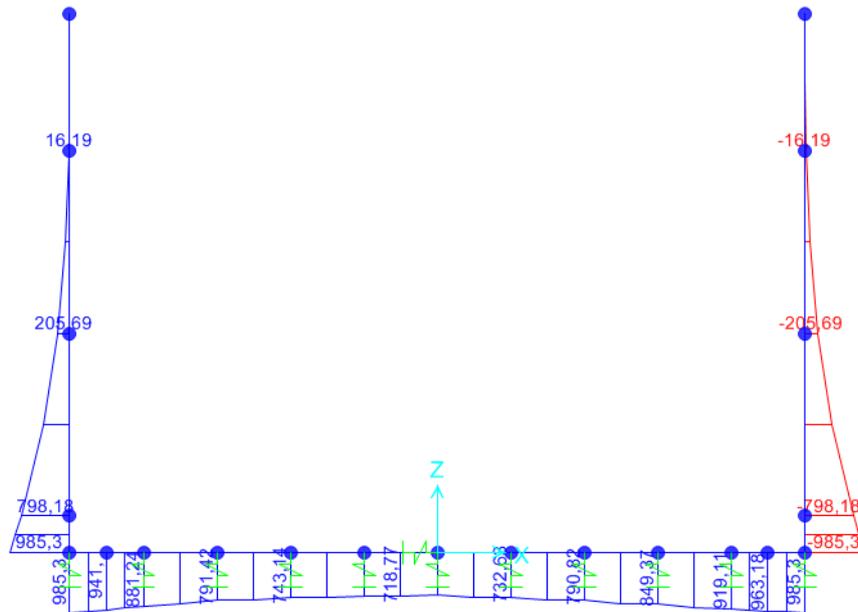
**Figura 19: M – SLE FREQ**



**Figura 20: N – SLE QP**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	37 di 153



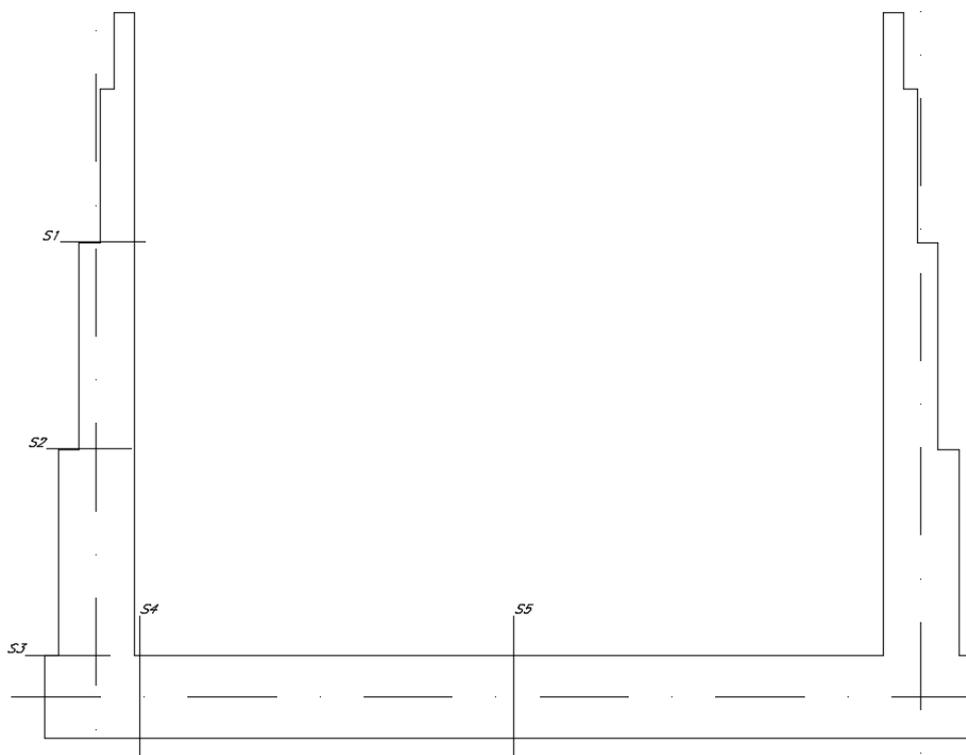
**Figura 21: M – SLE QP**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	38 di 153

## 9.2. Verifiche

Le sezioni verificate sono le seguenti:



**Figura 22: Sezioni di verifica**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

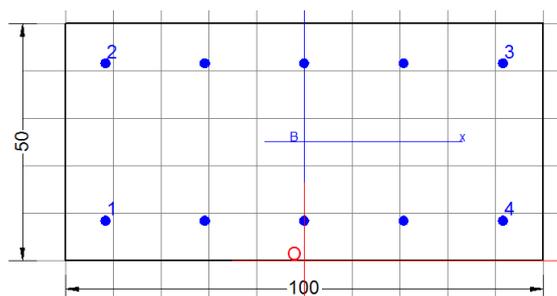
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	39 di 153

### 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	-128,0	135,9
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  $f_{cd}$ : 18.810 MPa  
 Resis. compr. ridotta  $f_{cd}'$ : 0.000 MPa  
 Def.unit. max resistenza  $ec2$ : 0.0020  
 Def.unit. ultima  $ecu$ : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale  $E_c$ : 33643.0 MPa  
 Resis. media a trazione  $f_{ctm}$ : 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	40 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 $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	41 di 153

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
				Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x
1	0.00	44.50	0.00	0.00	0.00
2	0.00	44.50	0.00	0.00	0.00
3	0.00	135.00	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	31.30	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	26.80 (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	16.20 (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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	42 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)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
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	44.50	0.00	0.00	259.73	0.00	5.837	31.4(5.4)
2	S	0.00	44.50	0.00	0.00	259.73	0.00	5.837	31.4(5.4)
3	S	0.00	135.00	0.00	0.00	259.73	0.00	1.924	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
3	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
3	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	43 di 153

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	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**

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	-45.7	-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 nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
S2                      Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
k2                      = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3                      = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  per trazione eccentrica  
Ø                      Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac 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	0.125	20	74.0	-5.871	0.00009 (0.00009)	313	0.049 (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	0.69	-50.0	50.0	-27.6	-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	0.125	20	74.0	-17.803	0.00006 (0.00006)	313	0.029 (0.20)	99.35	0.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 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> 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

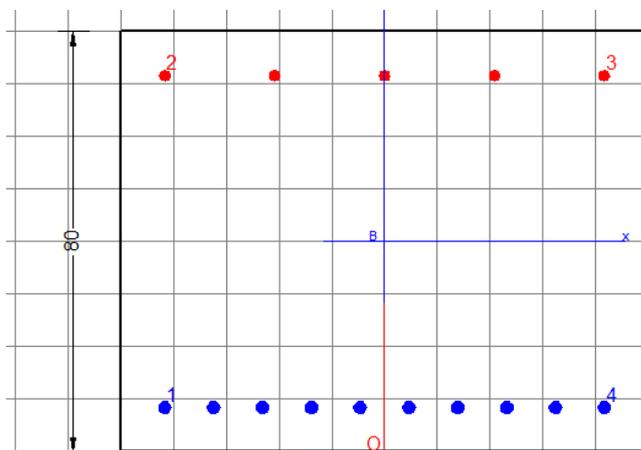
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	100,9	-205,7	401,1
SLU-2	100,9	-205,7	401,1
Sisma	77,2	-371,5	866,1
Rara-1	73,9	-148,9	288,0
Rara-2	73,9	-148,9	288,0
Freq. -1	73,9	-139,5	263,3
Freq. -2	73,9	-139,5	263,3
Q. Perm.	73,9	-117,5	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	46 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	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
---------	---	----	----	----	----

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	47 di 153

1	0.00	401.10	0.00	0.00	0.00
2	0.00	866.10	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	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	263.30 (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	205.70 (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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	48 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	401.10	0.00	0.00	1183.34	0.00	2.950	45.2(9.3)
2	S	0.00	866.10	0.00	0.00	1183.34	0.00	1.366	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 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	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**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	49 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	3.07	50.0	80.0	-91.6	-41.6	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  $A_{c\ eff}$

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	-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	-41.6	8.4	2484	45.2	9.2	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	-1.5	-0.5	0.169	24	72.0	0.043	0.00014 (0.00014)	252	0.061 (0.20)	284.52	0.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	50 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 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>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

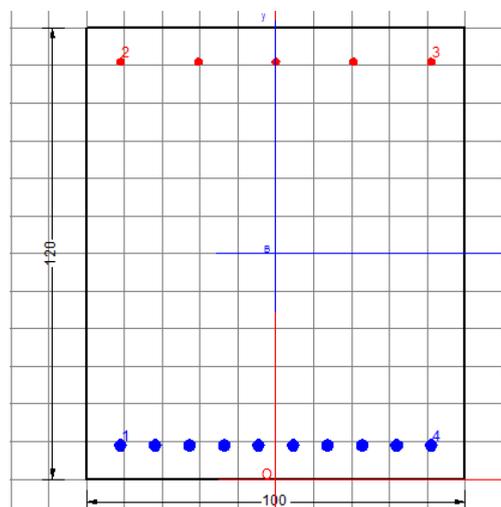
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	51 di 153

### 9.3.3. Sezione 3

Armatura tesa  $\Phi$  30/10  
Armatura compressa  $\Phi$  20/20  
Armatura a taglio  $\Phi$  12 40x20

Comb.	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
SLU-1	151,6	-465,7	1382,3
SLU-2	151,6	-465,7	1382,3
Sisma	118,0	-699,3	2453,1
Rara-1	111,3	-339,5	1001,4
Rara-2	111,3	-339,5	1001,4
Freq. -1	111,3	-324,7	940,4
Freq. -2	111,3	-324,7	940,4
Q. Perm.	111,3	-290,2	798,2



#### 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:	33863.0 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	52 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 $\beta_1 * \beta_2$ :	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: 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	-41.0	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
---------	---	----	----	----	----

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	53 di 153

1	0.00	1382.30	0.00	0.00	0.00
2	0.00	2453.10	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	1001.40	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	940.40 (657.88)	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	798.20 (657.88)	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	54 di 153

My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inertza  
 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	1382.30	0.00	0.00	2883.10	0.00	2.086	70.7(14.4)
2	S	0.00	2453.10	0.00	0.00	2883.10	0.00	1.175	70.7(14.4)

**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	-0.00833	-50.0	120.0	0.00143	-41.0	111.0	-0.02203	-41.0	9.0
2	0.00350	-0.00833	-50.0	120.0	0.00143	-41.0	111.0	-0.02203	-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	0.000230000	-0.024099971	0.137	0.700
2	0.000000000	0.000230000	-0.024099971	0.137	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	4.91	50.0	120.0	-143.5	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	1.00

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	4.62	50.0	120.0	-134.7	-31.9	9.0	2976	70.7	9.1	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  $A_{c\ eff}$

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

e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite =  $0.4 * S_s/Es$  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	-3.0	-1.4	0.185	30	75.0	0.755	0.00051 (0.00027)	261	0.226 (0.30)	657.88	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	3.92	50.0	120.0	-114.4	-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	-2.6	-1.2	0.185	30	75.0	0.660	0.00038 (0.00023)	261	0.168 (0.20)	657.88	0.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 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>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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

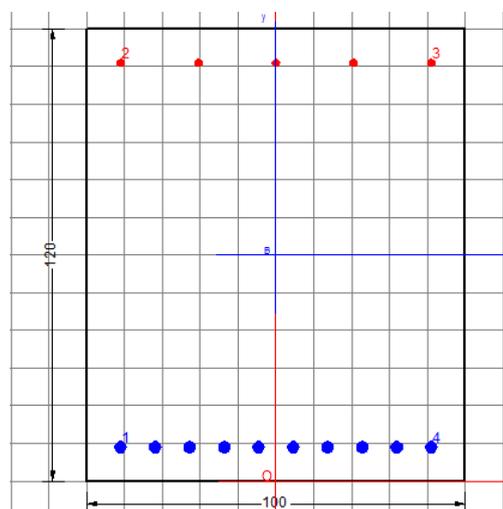
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	57 di 153

## 9.4. Verifica della soletta inferiore

### 9.4.1. Sezione 4

Armatura tesa  $\Phi$  30/10  
Armatura compressa  $\Phi$  20/20  
Armatura a taglio  $\Phi$  8 40x40

Comb.	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
SLU-1	596,7	-86,8	1640,7
SLU-2	596,7	-94,9	1634,4
Sisma	819,3	-246,7	2752,3
Rara-1	435,7	-73,0	1183,3
Rara-2	435,7	-77,5	1179,8
Freq. -1	418,8	-74,8	1111,4
Freq. -2	418,8	-78,2	1108,8
Q. Perm.	379,3	-82,8	941,0



#### 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**

**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	59 di 153

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
				Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x
1	0.00	1640.70	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1634.40	0.00	0.00	0.00
3	0.00	2752.30	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	1183.30	0.00
2	0.00	1179.80	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	1111.40 (794.42)	0.00 (0.00)
2	0.00	1108.80 (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	941.00 (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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	60 di 153

### 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 >=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	1640.70	0.00	0.00	2844.74	0.00	1.734	70.7(16.4)
2	S	0.00	1634.40	0.00	0.00	2844.74	0.00	1.741	70.7(16.4)
3	S	0.00	2752.30	0.00	0.00	2844.74	0.00	1.034	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
3	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
3	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]

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	61 di 153

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	5.81	-50.0	120.0	-169.5	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	1.00
2	S	5.79	-50.0	120.0	-169.0	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	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	5.45	-50.0	120.0	-159.2	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	0.50
2	S	5.44	-50.0	120.0	-158.8	-31.9	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 fctm  
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 Ac eff  
k2                    = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3                    = (S1 + S2)/(2\*S1) con riferimento all'area tesa Ac eff  
Ø                    Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf                    Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi                    = 1-Beta12\*(Ssr/Ss)<sup>2</sup> = 1-Beta12\*(fctm/S2)<sup>2</sup> = 1-Beta12\*(Mfess/M)<sup>2</sup> [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	-3.6	-1.7	0.185	30	75.0	0.745	0.00059 (0.00032)	261	0.263 (0.30)	794.42	0.00
2	S	-3.6	-1.7	0.185	30	75.0	0.743	0.00059 (0.00032)	261	0.262 (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	4.62	-50.0	120.0	-134.8	13.7	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	0.644	0.00043 (0.00027)	261	0.193 (0.20)	794.42	0.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	62 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 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 N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>l</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

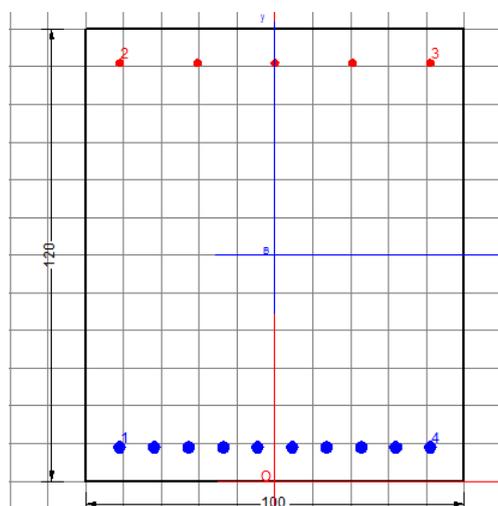
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	63 di 153

### 9.4.2. Sezione 5

Armatura tesa             $\Phi$  30/10  
Armatura compressa     $\Phi$  20/20  
Armatura a taglio       $\Phi$  8 40x40

Comb.	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
SLU-1	596,7	-103,3	1380,7
SLU-2	596,7	-89,1	1434,5
Sisma	819,3	-258,1	1307,0
Rara-1	435,7	-66,9	963,7
Rara-2	435,7	-59,0	993,6
Freq. -1	418,8	-59,4	890,7
Freq. -2	418,8	-53,5	913,0
Q. Perm.	379,3	-37,9	706,1



#### 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 $\beta_1 * \beta_2$ :	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

### 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
---------	---	----	----	----	----

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	65 di 153

1	0.00	1434.50	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1307.00	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	963.70	0.00
2	0.00	993.60	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	890.70 (794.42)	0.00 (0.00)
2	0.00	913.00 (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	706.10 (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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	66 di 153

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 >=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	1434.50	0.00	0.00	2844.74	0.00	1.983	70.7(16.4)
2	S	0.00	1307.00	0.00	0.00	2844.74	0.00	2.177	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 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	4.73	-50.0	120.0	-138.1	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	1.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	67 di 153

2	S	4.88	-50.0	120.0	-142.3	-41.0	9.0	2976	70.7	9.1	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	4.37	-50.0	120.0	-127.6	31.9	9.0	2976	70.7	9.1	0.50
2	S	4.48	-50.0	120.0	-130.8	31.9	9.0	2976	70.7	9.1	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  $A_{c\ eff}$   
 $k_2 = 0.4$  per barre ad aderenza migliorata  
 $k_3 = (S1 + S2)/(2*S1)$  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  $= 1.7 * e\ sm * srm$ . 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	$k_3$	$\emptyset$	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-2.9	-1.4	0.185	30	75.0	0.602	0.00038 (0.00026)	261	0.171 (0.30)	794.42	0.00
2	S	-2.9	-1.4	0.185	30	75.0	0.621	0.00041 (0.00026)	261	0.181 (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	3.47	-50.0	120.0	-101.2	-22.8	9.0	2976	70.7	9.1	0.50

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

Comb.	Ver	S1	S2	$k_3$	$\emptyset$	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-2.3	-1.1	0.185	30	75.0	0.367	0.00020 (0.00020)	261	0.090 (0.20)	794.42	0.00

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 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 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	69 di 153

## 10. RIEPILOGO ARMATURE – MURO AD U

Elemento strutturale	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
Piedritto	1°scalettatura	φ20/20 est. φ20/20 int.	φ20/20 est. φ12/20 int.	85 kg/m3
	2°scalettatura	φ24/10 est. φ20/20 int.	φ20/20 est. φ12/20 int.	
	3°scalettatura	φ30/10 est. φ20/20 int.	φ24/20 est. φ12/20 int.	
soletta inferiore	mezzeria	φ20/20 sup. φ30/10 inf.	φ24/20 sup. φ12/20 inf.	80 kg/m3
	nodo	φ20/20 sup. φ30/10 inf.	φ24/20 sup. φ12/20 inf.	

## 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  $k_p$ .

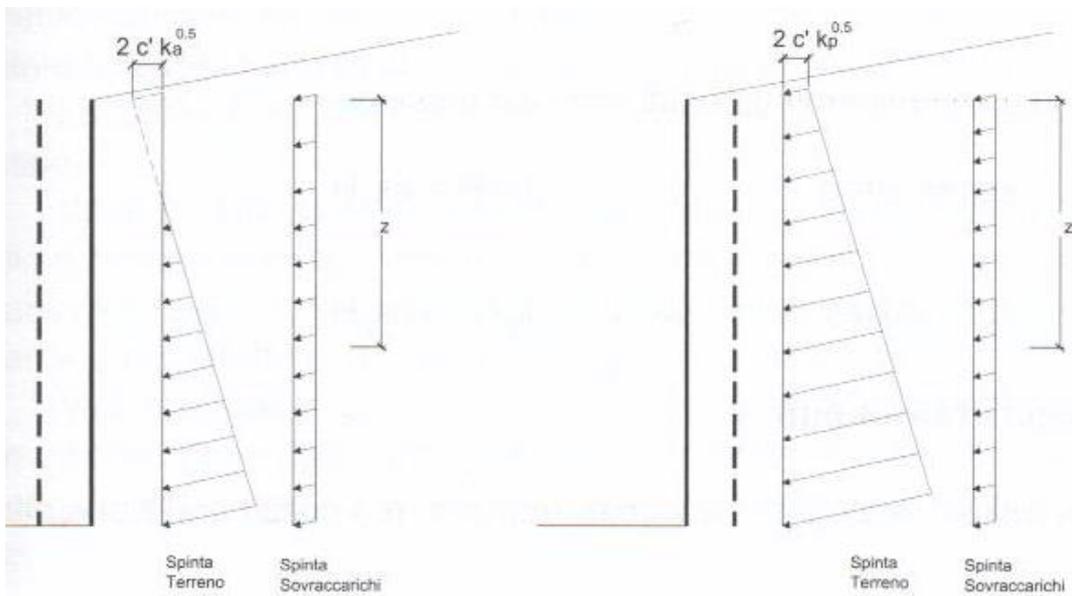
Con riferimento allo schema di Figura 24, in condizioni statiche il coefficiente di spinta attiva e quello di spinta passiva sono valutati attraverso le espressioni di Muller-Breslau (1924):

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

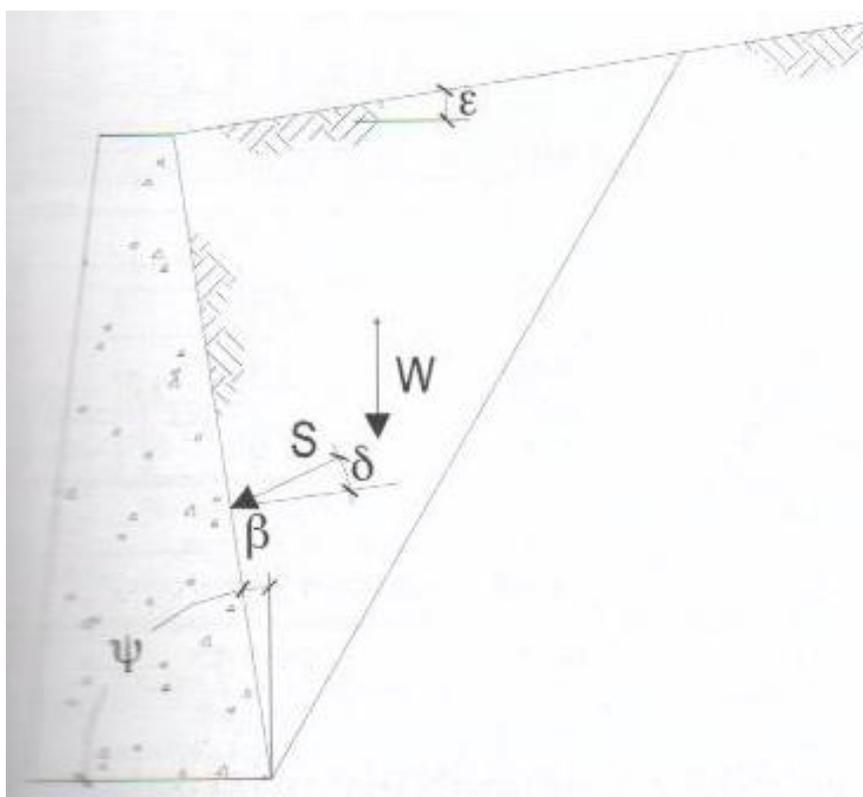
**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	71 di 153

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



**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:

per  $\varepsilon \leq \phi' - \theta$

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

per  $\varepsilon \geq \phi' - \theta$

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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:

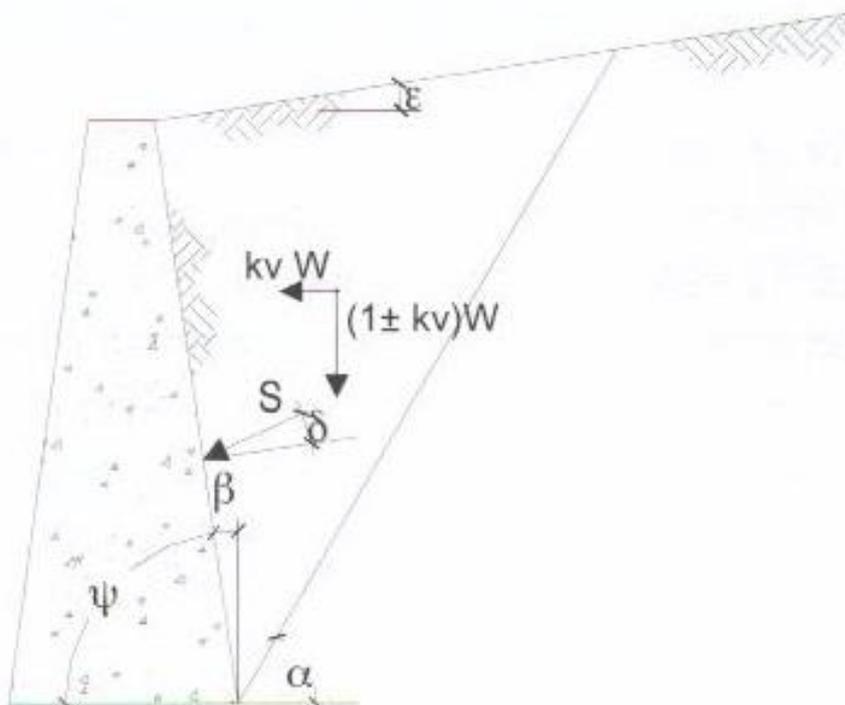
$$\alpha = \phi - \theta + \arctan \left[ \sqrt{\frac{P \cdot (P + Q) \cdot (1 + Q \cdot R) - P}{1 + R \cdot (P + Q)}} \right]$$

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:

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	76 di 153

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

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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	77 di 153

## 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:

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	78 di 153

## Individuazione della pericolosità sismica del sito

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 13,25172      LATTITUDINE: 45,99765

Ricerca per comune

REGIONE: Lombardia      PROVINCIA: Milano      COMUNE: Aicurzio

Elaborazioni grafiche  
Grafici spettri di risposta  
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
Tabella parametri

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) -  $V_N$ : 75 info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$ : 1 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ : 75 info

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

Stati limite di esercizio - SLE

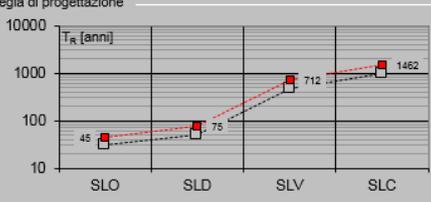
- SLO -  $P_{VR} = 81\%$ : 45
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$ : 75

Stati limite ultimi - SLU

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$ : 712
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$ : 1462

Elaborazioni  
Grafici parametri azione  
Grafici spettri di risposta  
Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO      FASE 1      **FASE 2**      FASE 3

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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**

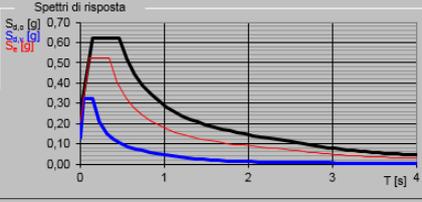
Spettro di progetto      Fattore  $q_v$ : **1**       $\eta = 1/q = 1,000$  info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta info

Parametri e punti spettri di risposta info

**Spettri di risposta**



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

**INTRO**      **FASE 1**      **FASE 2**      **FASE 3**

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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
$T_B \leftarrow$	0,155	0,623
$T_C \leftarrow$	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
$T_C \leftarrow$	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.

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	0.31	0.076	0.039

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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.

				valori caratteristici		valori di progetto	
				SLE - sisma		STR/GEO	EQU
<b>Carichi Agenti</b>							
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 $\Psi 2$		0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche		(kN/m <sup>2</sup> )	qs	0.00		
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	fs	0.00		
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kN/m)	vs	0.00		
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche		(kNm/m)	ms	0.00		

## 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>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b>  <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>  <b>APPALTO 3: Multidisciplinare</b>  <b>Fase 0b, Fase 1, Fase 2.1, Fase 2.2, Fase 2.3 e Fase 3.1</b></p>												
<p><b>SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187</b>  <b>Relazione di calcolo muri delle rampe</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>UO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ</td> <td>0900</td> <td>D26CL</td> <td>SL0100002</td> <td>A</td> <td>85 di 153</td> </tr> </tbody> </table>	UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	85 di 153
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	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:

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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:

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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.

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187  
 Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	88 di 153

## 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		

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	14.17	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	2.56	(MPa)

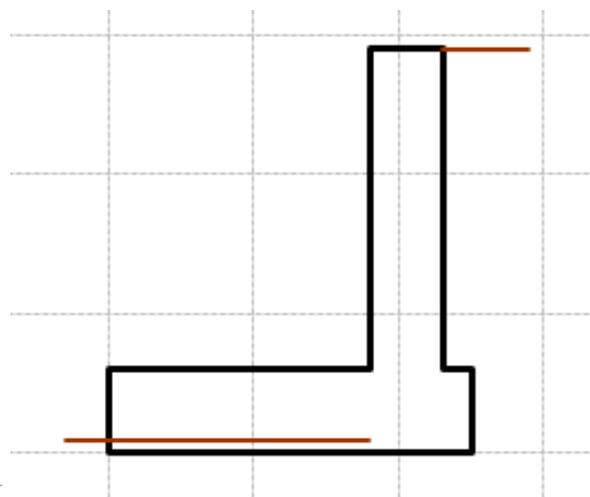
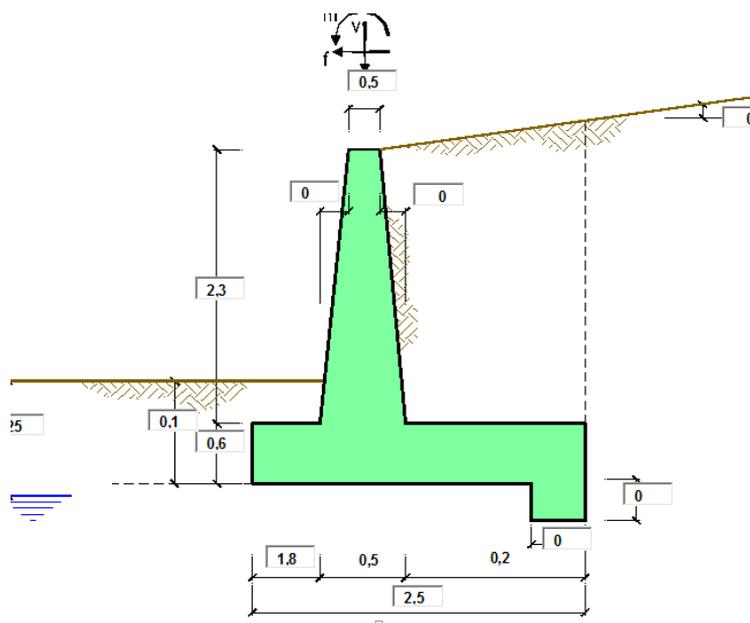
##### Acciaio

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



**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

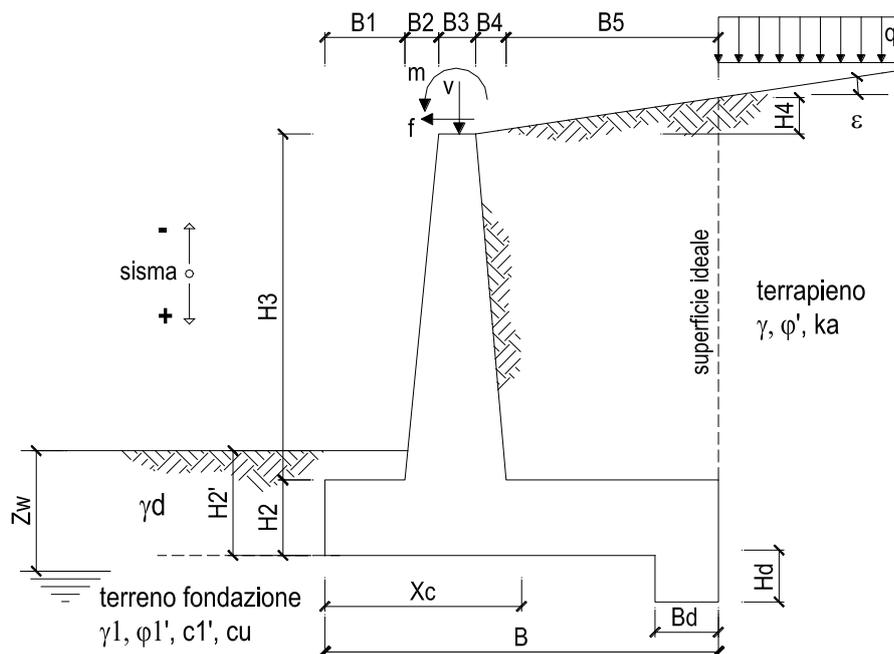
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	89 di 153

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> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	91 di 153

### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO
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

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

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 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(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

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

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

- Muro (Mm)

			SLE	STR/GEO
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	(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

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

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	(kNm/m)	22.08	22.08
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mt =	$Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr$	(kNm/m)	22.08	22.08

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$(B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(kNm/m)	9.6	14.4
Sovr acc. Sism	$(B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(kNm/m)	0	

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 =	$\frac{1}{2} \cdot g1 \cdot Hd^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c1 \cdot kp^{0.5} + \gamma1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd$	(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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	93 di 153

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

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

Risultante forze orizzontali (T)

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

Coefficiente di attrito alla base (f)

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

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

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

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

Momento ribaltante (Mr)

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

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

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

Risultante forze verticali (N)

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

Risultante forze orizzontali (T)

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

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)

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	94 di 153

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'$	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  $m = 2$ )

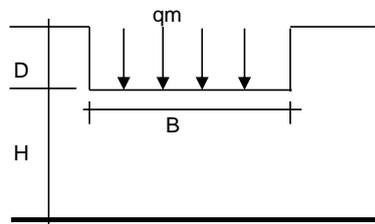
$q_{lim}$	(carico limite unitario)	361.34	364.05	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**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  $\mu_0 = f(D/B)$

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

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

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

Cedimento della fondazione

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

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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
- 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) 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

- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)			
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 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(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

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro			
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
- Muro (Mm)			
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

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

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro			
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	

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	96 di 153

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$P_m \cdot kh$	(kN/m)	6.30
Ps v =	$P_m \cdot kv$	(kN/m)	3.15

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

Ptsh =	$P_t \cdot kh$	(kN/m)	0.87
Ptsv =	$P_t \cdot kv$	(kN/m)	0.44

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

MPs1 h=	$kh \cdot P_m1 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00
MPs2 h=	$kh \cdot P_m2 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	4.78
MPs3 h=	$kh \cdot P_m3 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00
MPs4 h=	$kh \cdot P_m4 \cdot (H_2/2)$	(kNm/m)	1.07
MPs5 h=	$-kh \cdot P_m5 \cdot (H_d/2)$	(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=	$kv \cdot P_m1 \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$	(kNm/m)	0.00
MPs2 v=	$kv \cdot P_m2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2.80
MPs3 v=	$kv \cdot P_m3 \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kNm/m)	0.00
MPs4 v=	$kv \cdot P_m4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	2.23
MPs5 v=	$kv \cdot P_m5 \cdot (B - B_d/2)$	(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=	$kh \cdot P_t1 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	1.53
MPts2 h=	$kh \cdot P_t2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$	(kNm/m)	0.00
MPts3 h=	$kh \cdot P_t3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$	(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=	$kv \cdot P_t1 \cdot ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	1.05
MPts2 v=	$kv \cdot P_t2 \cdot ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00
MPts3 v=	$kv \cdot P_t3 \cdot ((H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	1.05

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 * cos $\delta$	(kN/m)	18.87	18.87
Sst1h sism = Sst1 sism * cos $\delta$	(kN/m)	5.38	5.38
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 * sen $\delta$	(kN/m)	8.14	8.14
Sst1v sism = Sst1 sism * sen $\delta$	(kN/m)	2.32	2.32
Ssq1v perm = Ssq1 perm * sen $\delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Ssq1v acc = Ssq1 acc * sen $\delta$	(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 * ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)	( kNm/m )	18.25	18.25
MSst1 sism = Sst1h sism * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)	( kNm/m )	5.20	5.20
MSst2 stat = Sst1v stat * B	( kNm/m )	20.35	20.35
MSst2 sism = Sst1v sism * B	( kNm/m )	5.80	5.80
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 )		16.91

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	98 di 153

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} = 97.74 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} = 31.42 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

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

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T = 2.43 > 1$$

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (S_{ovr} \text{ acc})$$

	Nmin	Nmax <sup>▲</sup>	
	97.74	97.74	(kN/m)

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p = 31.42 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M = 146.21 \quad 146.21 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM = -24.03 \quad -24.03 \quad (\text{kNm/m})$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	0.46	0.46		(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.45	0.45		(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^{m+1}$		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>	>	

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	100 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
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$	(kN/m)	3.95	3.95
$Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas$	(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)	3.63	3.63
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$	(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)	1.57	1.57
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$	(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)	18.25	18.25
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	(kNm/m)	3.51	3.51
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	(kNm/m)	20.35	20.35
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	(kNm/m)	3.91	3.91
$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	(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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

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

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{2.36} \quad > \quad \mathbf{1}$$

## VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{\min} \\ 89.82 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{\max} \\ 89.82 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

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)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -21.58 \quad -21.58 \quad (\text{kNm/m})$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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>	<b>Nmin</b>	<b>11.62</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>
		<b>Nmax</b>	<b>11.62</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.2</b>

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	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 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	(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 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	(kNm/m)	22.08	22.08
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(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	$q \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(kNm/m)	9.6	14.4
Sovr acc. Sism	$qs \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 (B4 + B5))$	(kNm/m)	0	

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1\ stat$	(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 +

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos\delta$	(kN/m)	18.87	18.87
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos\delta$	(kN/m)	8.42	8.42
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos\delta$	(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)	3.63	3.63
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin\delta$	(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 )	18.25	18.25
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	8.13	8.13
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	20.35	20.35
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 37.45 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{4.65} \quad > \quad \mathbf{1}$$

## 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

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot H_d^2 \cdot k_{ps}^- + (2 \cdot c_1' \cdot k_{ps}^{-0.5} + \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot k_{ps}^- \cdot H_2) \cdot H_d \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00$$

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

$$Mr = MSst+MSsq+Mfext1+Mfext2+MSp+MPs+Mpts \quad 44.14 \text{ ( kNm/m )}$$

$$Fr = Ms / Mr \quad 3.89 \quad > \quad 1$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	108 di 153

## 15.3. Verifiche SLU condizione statica e sismica

### Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

Reazione del terreno

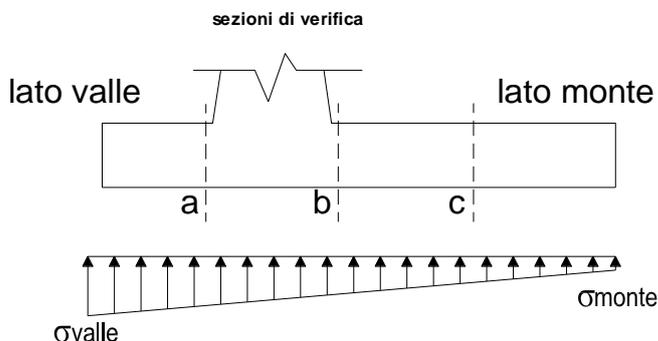
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

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



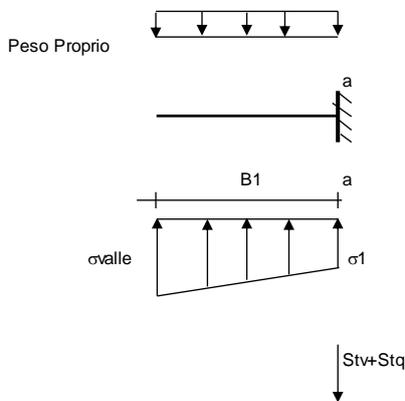
#### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_a = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

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 (kN/m<sup>2</sup>)      peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m)      peso proprio dente

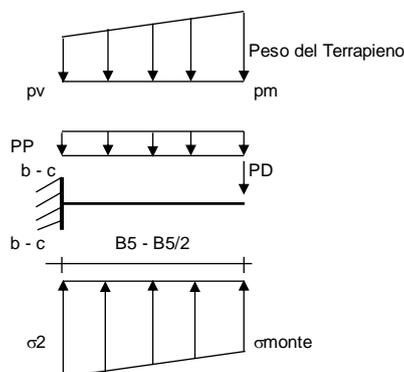
	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	46.00	76.00	46.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	46.00	76.00	46.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	46.00	76.00	46.00	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B/2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B/2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B/2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2) / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$



SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	109 di 153

caso	$\sigma_{0mte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$V_b$ [kN]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$V_c$ [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

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

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

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

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

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{ext} = v$$

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

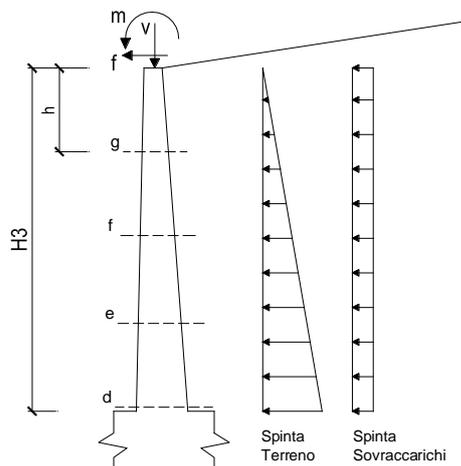
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{ext} = f$$

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



#### condizione statica

sezione	h	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	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	Vt	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[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

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 -**

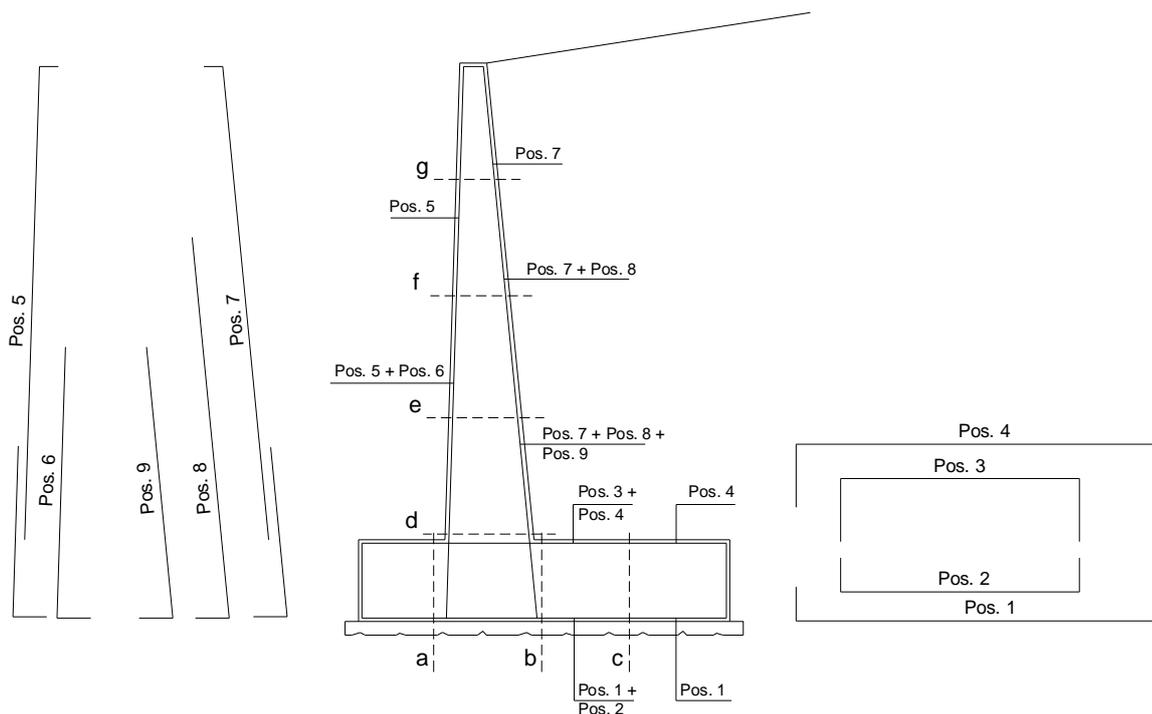
sezione	h	Mt <sub>stat</sub>	Mt <sub>sism</sub>	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	2.30	9.10	1.91	0.00	0.00	3.14	14.15	8.25	27.38	35.63
e-e	1.73	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	111 di 153

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

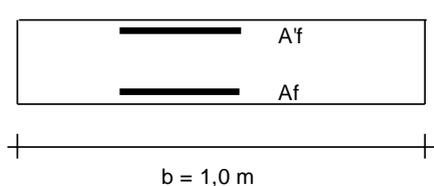


**ARMATURE**

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	113 di 153

## 15.4. Verifiche strutturali SLE

### 15.4.1. Verifiche a fessurazione

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

Reazione del terreno

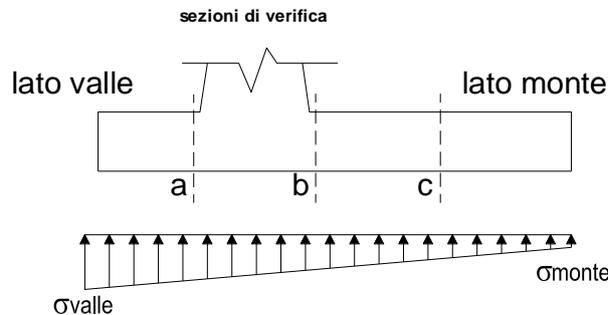
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

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

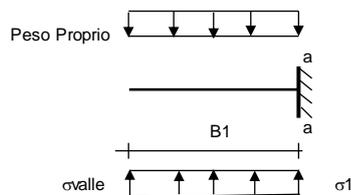


##### Mensola Lato Valle

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 <sub>a</sub>
	[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

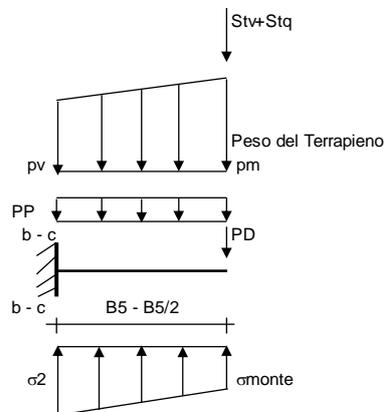
PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

	Nmin	N max	Freq	N max	QP
pm	46.00	61.00	46.00	46.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	46.00	61.00	46.00	46.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	46.00	61.00	46.00	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 <sub>b</sub>	$\sigma_{2c}$	M <sub>c</sub>
	[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



SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	114 di 153

## CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

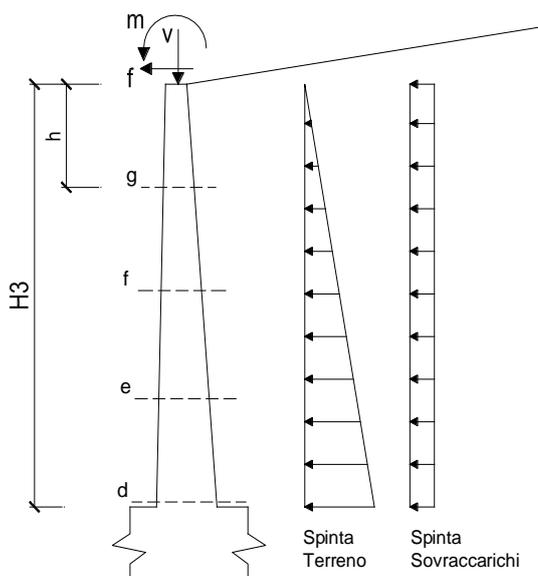
### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

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

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

$$N_{ext} = v$$



#### 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

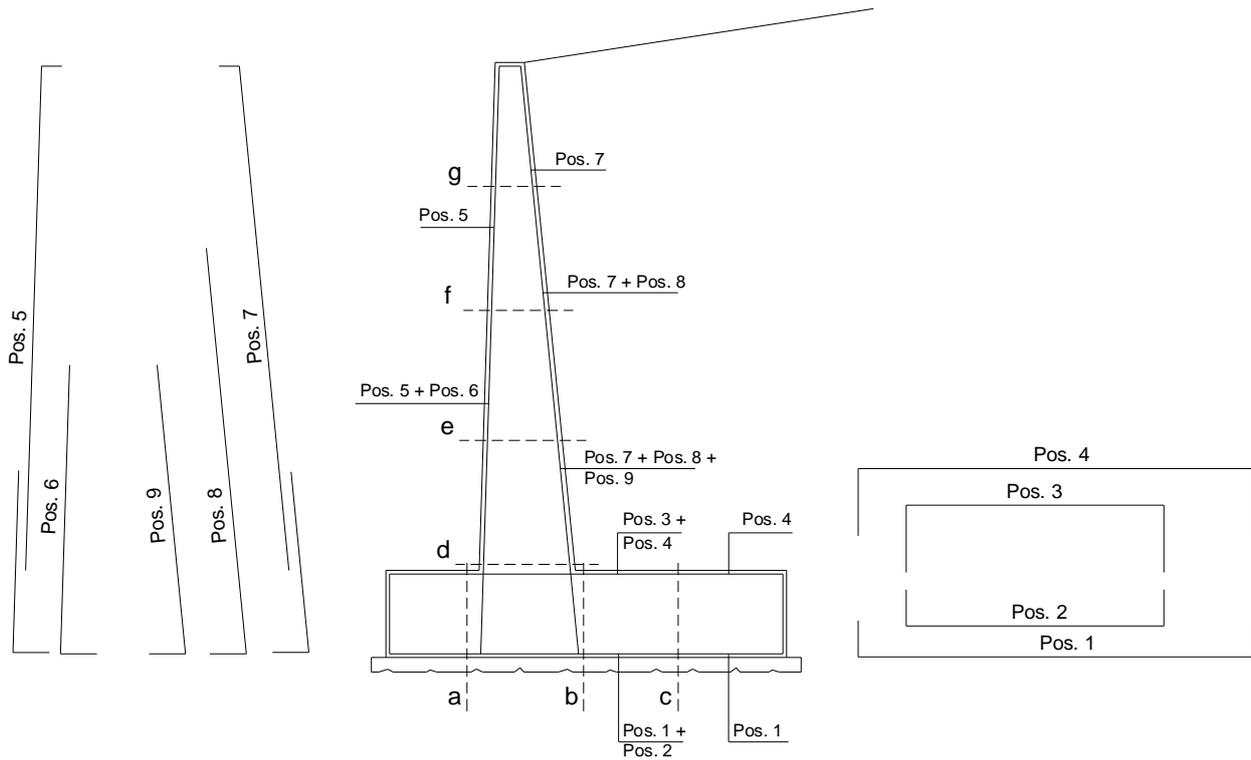
#### condizione Quasi Permanente

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	115 di 153

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

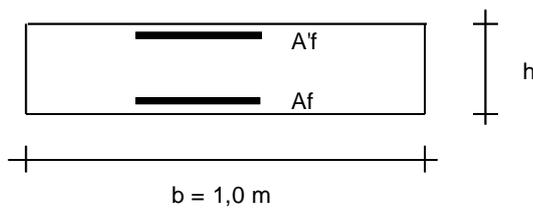


**ARMATURE**

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	117 di 153

## 15.4.2. Verifiche tensionali

### VERIFICHE TENSIONE

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

Reazione del terreno

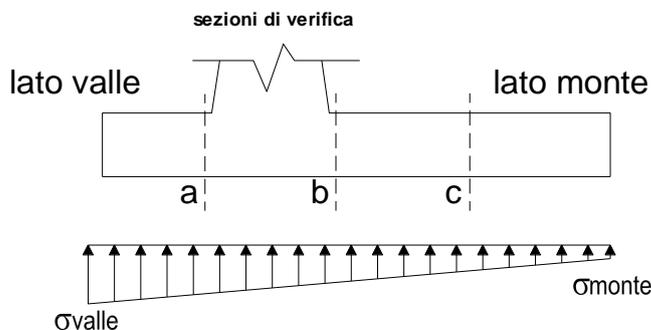
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 2.50 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.04 \quad (m^3)$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [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

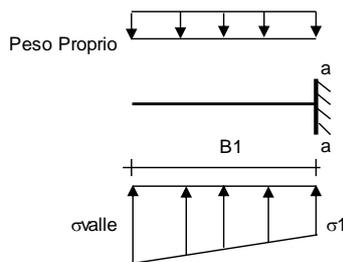


#### Mensola Lato Valle

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	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [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



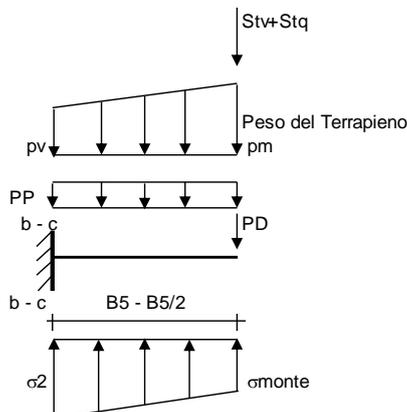
#### Mensola Lato Monte

PP = 15.00 (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	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> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (St_v + Sq_v) \cdot B \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2)^2 / 3 - (St_v + Sq_v) \cdot (B/2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2/2$$



**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

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

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

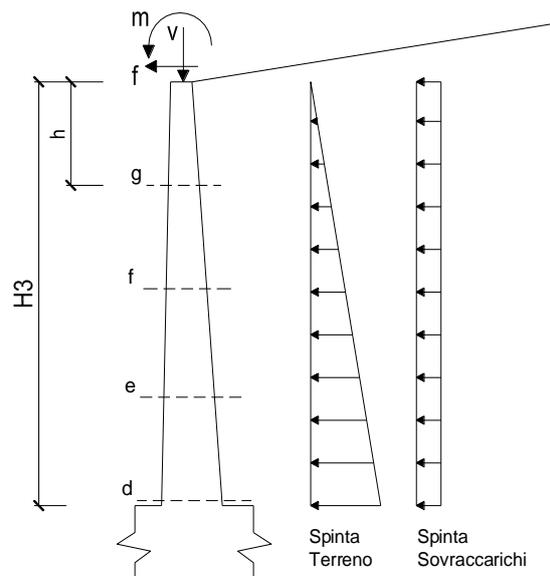
$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

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

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

$$N_{\text{ext}} = v$$

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



#### **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

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	119 di 153

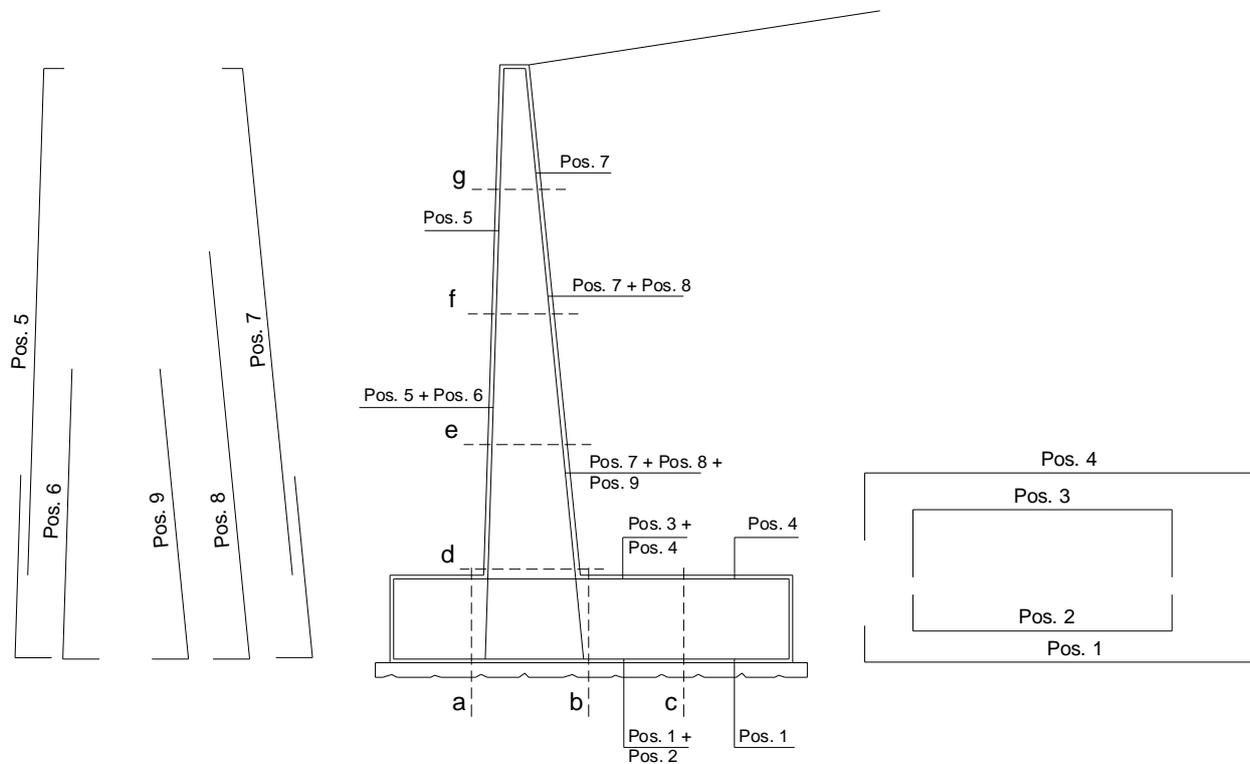
condizione sismica +

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**



SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

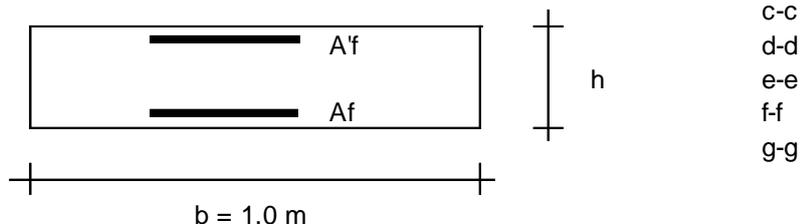
Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	-

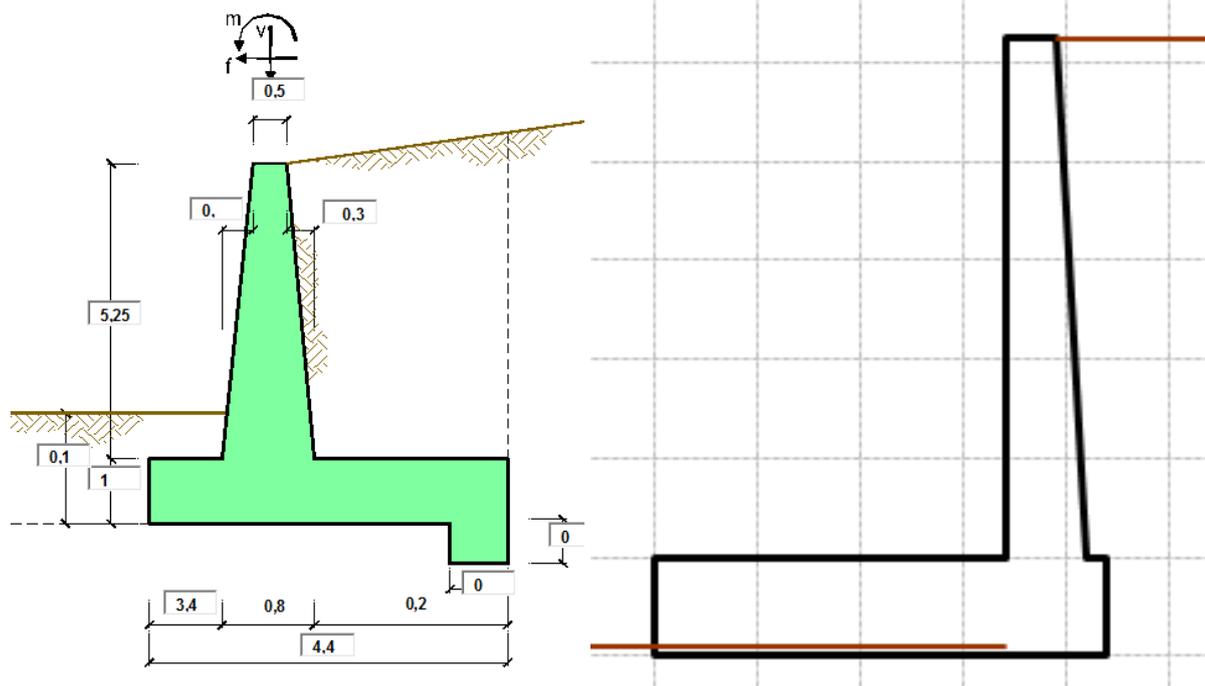
(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	121 di 153

## 15.5. Muro di sostegno (TIPO 2)

### 15.5.1. Verifiche geotecniche

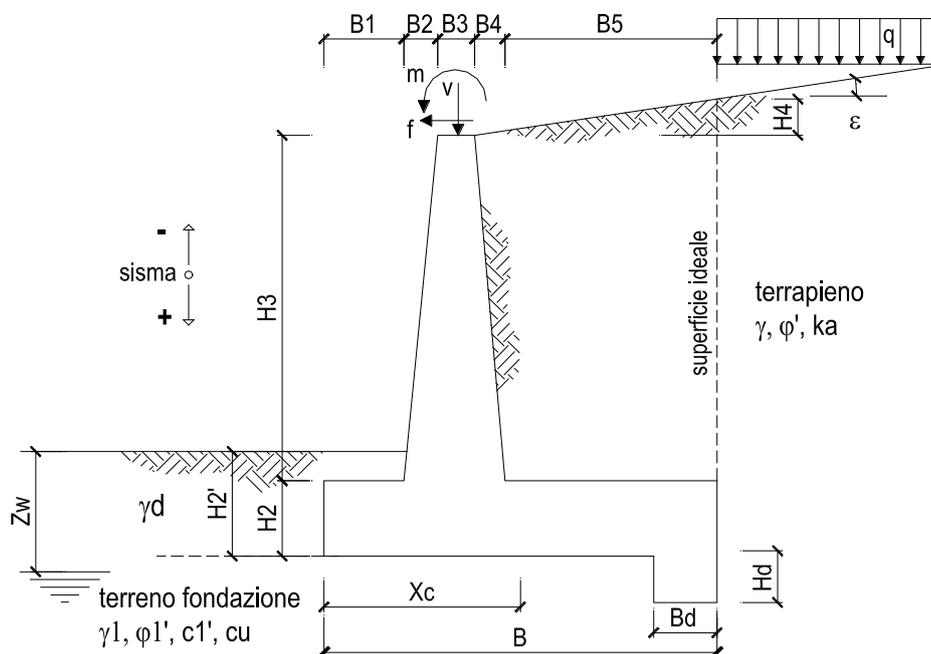


Vista la particolare conformazione della sezione in esame, le spinte agenti sul paramento non vengono considerate, si fa quindi riferimento alla sola verifica a carico limite della fondazione nell'ambito delle verifiche geotecniche, di cui si assume la seguente combinazione:

#### 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"/>	

### 15.5.1. 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> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	123 di 153

### 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 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	(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
- 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	

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	=	$\frac{1}{2} \cdot g_1 \cdot H_d^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_d^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot H_d \right]$	(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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

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

$$\mathbf{Fs \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.54} \quad > \quad \mathbf{1.1}}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 1041.39 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 368.93 \quad (\text{kNm/m})$$

$$\mathbf{Fs \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{2.82} \quad > \quad \mathbf{1.15}}$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	126 di 153

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

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ Sovr acc)$		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)				
$M = X_c * N - MM$		4.29	-24.96	( kNm/m )

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

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c'ic + q_0N_q'iq + 0,5\gamma_1B^*N_\gamma'i_\gamma$$

$c'1'$	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> )
$q_0 = \gamma'd^*H2'$	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)

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

$i_q = (1 - T/(N + B^*c'\cotg\phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.24	0.27	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.23	0.23	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B^*c'\cotg\phi'))^{m+1}$		0.12	0.12	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

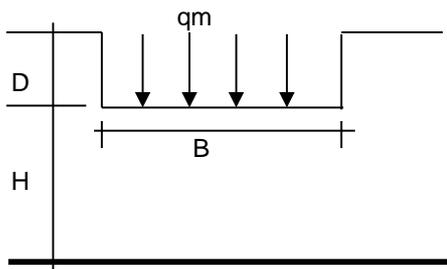
$q_{lim}$	(carico limite unitario)	431.82	434.15	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} * B^* / N</math></b>	Nmin	<b>6.14</b>	>	<b>1.4</b>
		Nmax	<b>5.71</b>	>	

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	127 di 153

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



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

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)

$$q_m = N / (B - 2 * e) = N / B^* = 78.81 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * q_m * B^* / E = 3.26 \quad (\text{mm})$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	128 di 153

### 15.5.2. Verifiche geotecniche allo scorrimento e del carico limite della fondazione in condizione sismica

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

		SLE	STR/GEO
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

- Muro (Mm)

		SLE	STR/GEO
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

- 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	

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	130 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)	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 +

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos \delta$	(kN/m)	87.67	87.67
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos \delta$	(kN/m)	24.97	24.97
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$	(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)	10.77	10.77
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$	(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 )	52.02	52.02
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	166.36	166.36
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( 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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

$$N = Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv \quad 299.92 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh \quad 134.69 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = tg\phi' \quad 0.78 \quad (-)$$

$$F_s = (N*f + Sp) / T \quad \mathbf{1.74} \quad > \quad \mathbf{1}$$

### **VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm+ Pt + vp + vs + Sst1v + Ssq1v + Ps v + Ptsv + (\text{Sovr acc}) \quad N_{min} \quad N_{max} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fp + fs +Ps h + Ptsh - Sp \quad 134.69 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 711.57 \quad 711.57 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc*N - MM \quad -51.75 \quad -51.75 \quad (\text{kNm/m})$$

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

Fondazione Nastriforme

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

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> )

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	132 di 153

$q_0 = \gamma d \cdot H^2$       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)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\varphi))}$       (1 in cond. nd)      48.93      (-)

$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\varphi)$       (2+ $\pi$  in cond. nd)      61.35      (-)

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\varphi)$       (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)

$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg(\varphi)))^m$       (1 in cond. nd)      0.30      0.30      (-)

$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$       0.29      0.29      (-)

$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cdot \cotg(\varphi)))^{m+1}$       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**       **$F = q_{lim} \cdot B^* / N$**        $N_{min}$       **7.55**      >      **1.2**  
 $N_{max}$       **7.55**      >

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

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

$c'$	coesione terreno di fondaz.	0.00	(kN/mq)
$\varphi_1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	38.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d' H_2'$	sovraccarico stabilizzante	2.00	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	-0.15	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	4.10	(m)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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  $i_\gamma$  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	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' * \cotg(\varphi)))^{m+1}$		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> ▲

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	136 di 153

### 15.5.3. Verifiche geotecniche al ribaltamento 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 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	(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
- 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	

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	139 di 153

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + Mfext3 \quad 985.81 \quad (\text{ kNm/m })$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSst + MSsq + Mfext1 + Mfext2 + MSp + MPs + Mpts \quad 334.50 \quad (\text{ kNm/m })$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{2.95} \quad > \quad \mathbf{1}$$

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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 * $\cos \delta$	(kN/m)	87.67	87.67
Sst1h sism = Sst1 sism * $\cos \delta$	(kN/m)	27.43	27.43
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)	11.83	11.83
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)	57.15	57.15
MSst2 stat = Sst1v stat * B	(kNm/m)	166.36	166.36
MSst2 sism = Sst1v sism * B	(kNm/m)	52.06	52.06
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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	141 di 153

## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + Mfext3 \quad 963.69 \quad (\text{ kNm/m })$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSst + MSsq + Mfext1 + Mfext2 + MSp + MPs + Mpts \quad 361.48 \quad (\text{ kNm/m })$$

$$Fr = Ms / Mr \quad \mathbf{2.67} \quad > \quad \mathbf{1}$$

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	142 di 153

## 15.6. Verifiche SLU per combinazione statica e sismica

### Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

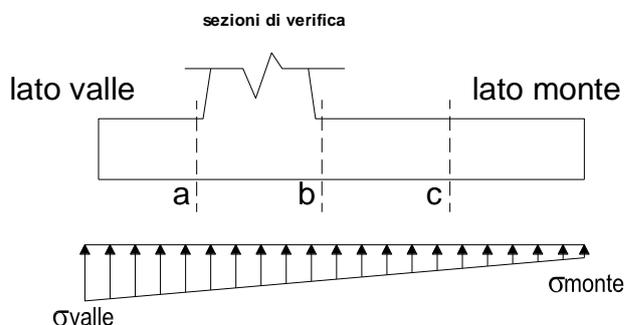
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

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



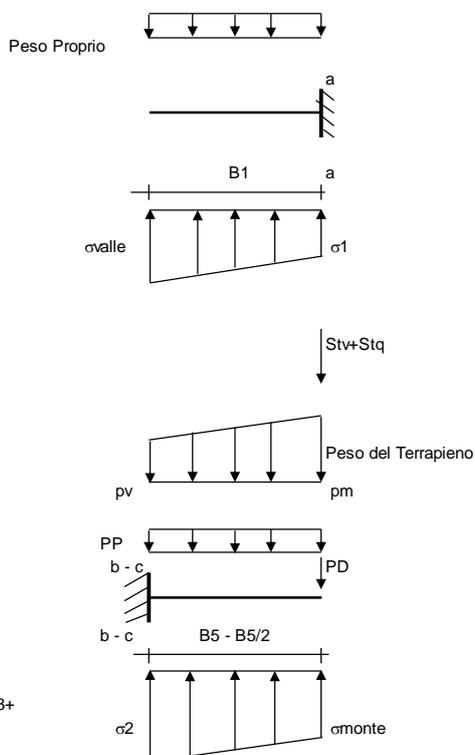
##### Mensola Lato Valle

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 = 105.00    N max stat = 135.00    N max sism = 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>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B/2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + M_{sp} + Sp \cdot H2/2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B/2 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B/2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B/2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B/2) / 2 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B/2) / 2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	143 di 153

caso	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Mb [kNm]	Vb [kN]	Mc [kNm]	Vc [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

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

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

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

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

$$M_{\text{inerzia}} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{\text{ext}} = v$$

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

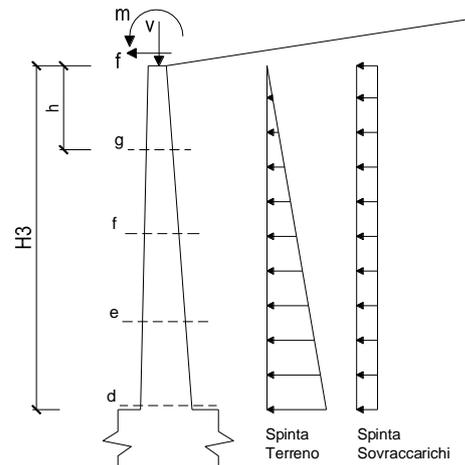
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

$$V_{\text{ext}} = f$$

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



#### condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [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 [m]	Vt [kN/m]	Vq [kN/m]	V <sub>ext</sub> [kN/m]	V <sub>tot</sub> [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]	M <sub>t stat</sub> [kNm/m]	M <sub>t sism</sub> [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [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

SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	144 di 153

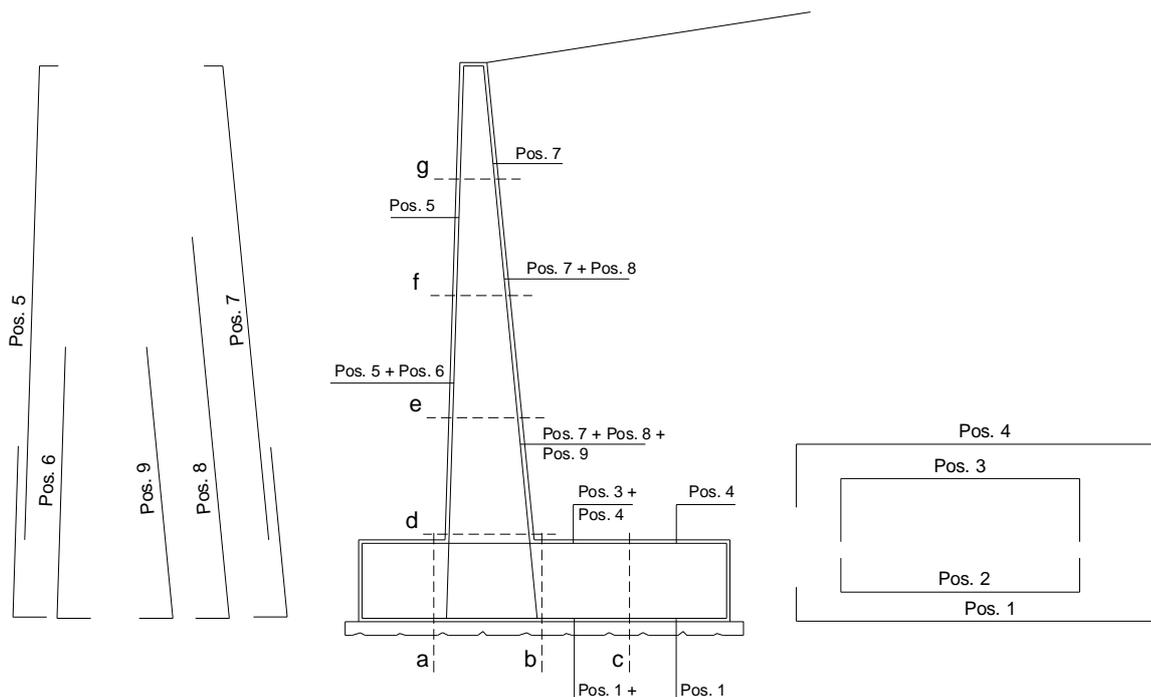
sezione	h	Vt <sub>stat</sub>	Vt <sub>sism</sub>	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.25	61.86	19.19	0.00	0.00	8.11	89.15
e-e	3.94	34.79	10.79	0.00	0.00	5.73	51.32
f-f	2.63	15.46	4.80	0.00	0.00	3.59	23.85
g-g	1.31	3.87	1.20	0.00	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



SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187

Relazione di calcolo muri delle rampe

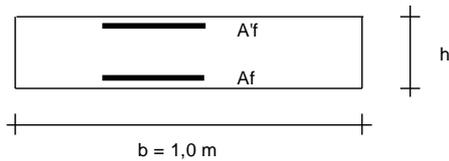
UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	145 di 153

**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	Af'	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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	146 di 153

## 15.7. Verifiche strutturali SLE

### 15.7.1. Verifiche a fessurazione

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

##### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

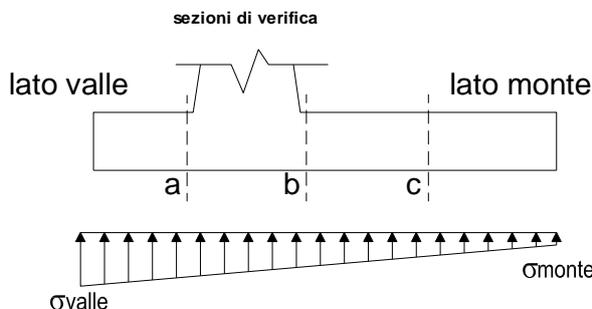
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

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

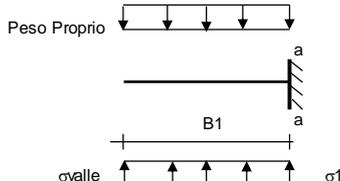


##### Mensola Lato Valle

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

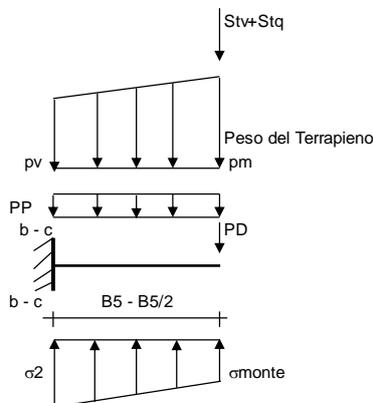
PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

	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> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (B_5 - Bd / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_2$	$M_b$	$\sigma_2$	$M_c$
	[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



**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	147 di 153

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

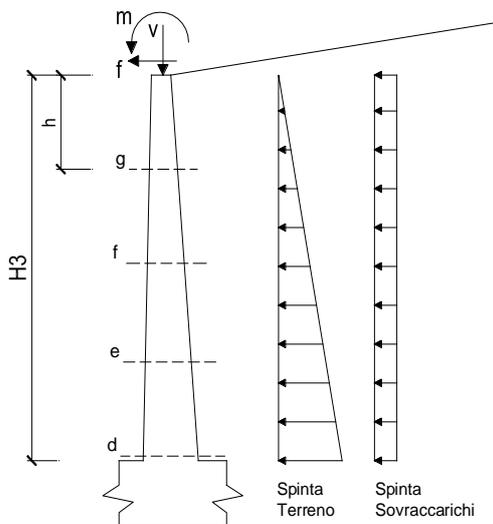
#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

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

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

$$N_{ext} = v$$



#### 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

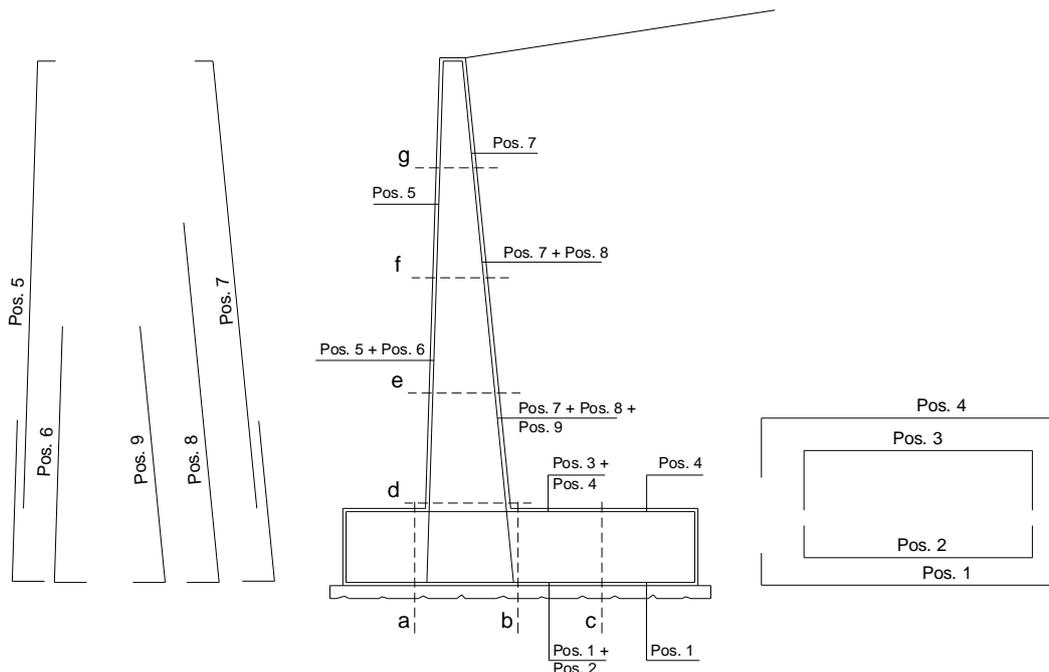
#### condizione Quasi Permanente

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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	148 di 153

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

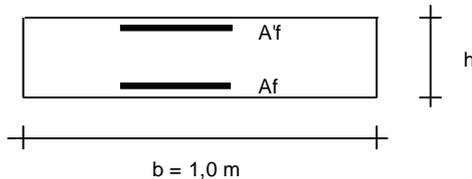


**ARMATURE**

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

**condizione Frequente**

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf	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	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)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	150 di 153

## 15.7.2. Verifiche tensionali

### VERIFICHE TENSIONE

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

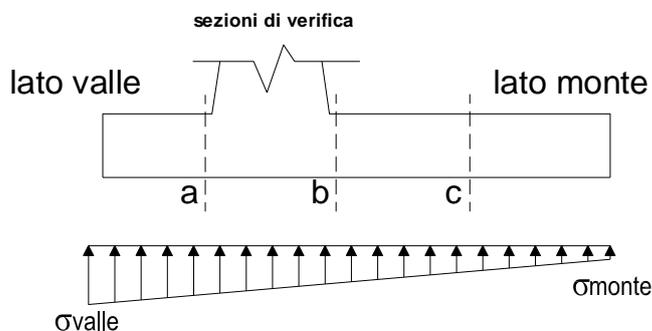
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 4.40 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 3.23 \quad (m^3)$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [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

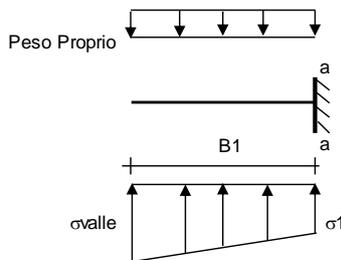


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Ma [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



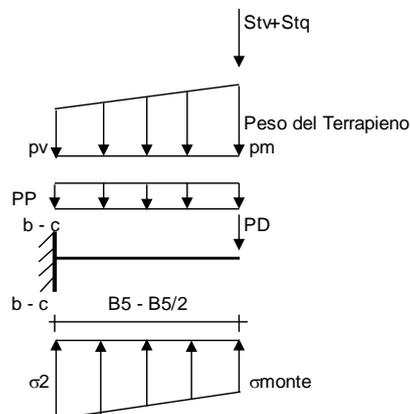
##### Mensola Lato Monte

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> )

$$Mb = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$



**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	151 di 153

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Mb [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Mc [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

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

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

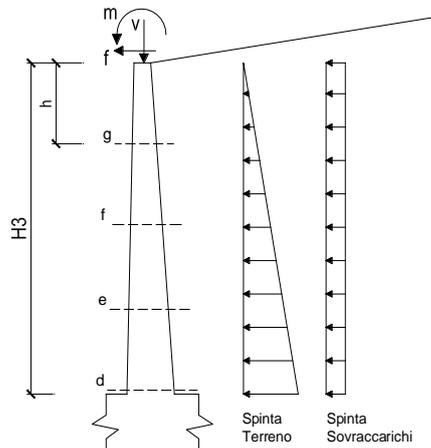
$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

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

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

$$N_{ext} = v$$

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



#### condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [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 [m]	Mt stat [kNm/m]	Mt sism [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [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

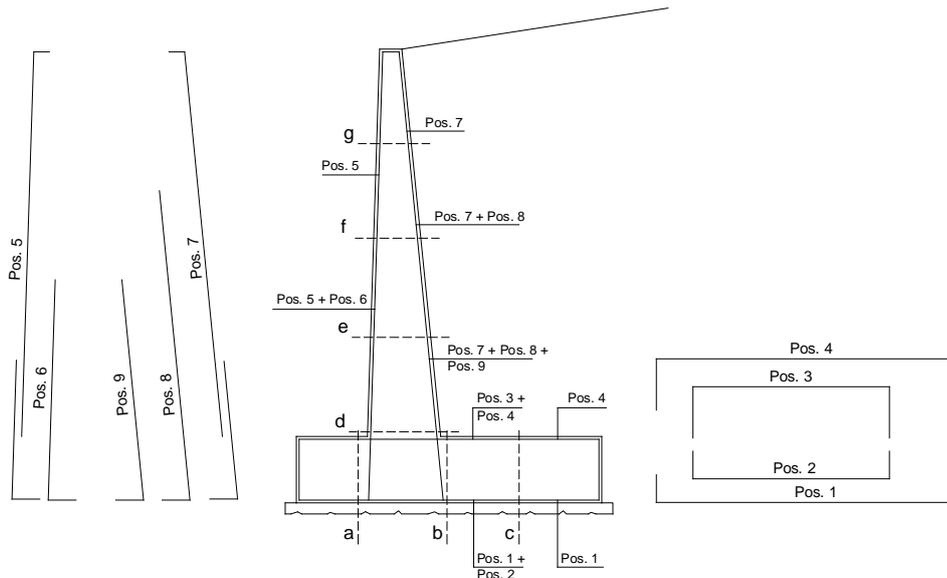
#### condizione sismica -

sezione	h [m]	Mt stat [kNm/m]	Mt sism [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [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

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	A	152 di 153

**SCHEMA DELLE ARMATURE**

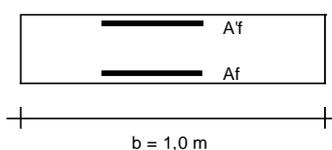


**ARMATURE**

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	Af'	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	Af'	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)

**SL01 - Nuovo sottopasso al km 7+187**  
**Relazione di calcolo muri delle rampe**

UO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ	0900	D26CL	SL0100002	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	φ20/20 sup. φ20/20 inf.	φ12/20 sup. φ12/20 inf.	95 kg/m <sup>3</sup>
	fondazione	φ20/20 sup. φ20/20 inf.	φ20/20 sup. φ12/20 inf.	70 kg/m <sup>3</sup>

### 16.1. Tipo 2

Elemento strutturale	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
Muro di sostegno	pedritto	φ20/20 sup. φ20/20 inf.	φ12/20 sup. φ12/20 inf.	60 kg/m <sup>3</sup>
	fondazione	φ20/20 sup. φ20/20 inf.	φ20/20 sup. φ12/20 inf.	35 kg/m <sup>3</sup>