


**ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROV. DI TRENTO**  
**dott.ing. ROBERTO BOSETTI**  
INSCRIZIONE ALBO N° 1027

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
*dott. ing. Roberto Bosetti*

# autostrada del brennero

ALLARGAMENTO DELLA CARREGGIATA SUD AUTOSTRADALE  
IN CORRISPONDENZA DELLA SALITA DI AFFI TRA  
LA PROG. KM 201+285 E LA PROG. KM 203+930 E  
RIFACIMENTO DEI SOVRAPPASSI AUTOSTRADALI  
N°68 "RIVOLI-ZUANE" E N°69 "S.C. RIVOLI-CAPRINO"

1.3.7	<p><b>RELAZIONI</b> Relazioni di calcolo Muri di sostegno con barriere antirumore</p>
-------	---

0	MAG-2022	EMISSIONE	A. BELTEMPO	F. OSS PAPOT	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA:  MAGGIO 2008			<b>DIREZIONE TECNICA GENERALE</b>		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:  
NUMERO PROGETTO:  29/08					

# Relazione di calcolo muri di sostegno con barriera antirumore

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
1.1 Descrizione dell'intervento .....	1
1.2 Caratteristiche dei materiali e geometria .....	2
1.3 Considerazioni geotecniche .....	4
1.4 Metodo di calcolo, normativa e affidabilità del codice di calcolo utilizzato .....	5
1.5 Impostazioni di analisi geotecnica e strutturale .....	7
1.6 Impostazioni di modellazione .....	10
1.6.1 Fondazione .....	10
1.6.2 Muri di sostegno .....	10
1.7 Analisi dei carichi .....	11
1.7.1 Carichi permanenti sulla fondazione .....	11
1.7.2 Carichi permanenti sui muri di sostegno .....	12
1.7.3 Carichi variabili da traffico .....	13
1.7.4 Carichi variabili: Vento .....	13
1.7.5 Azioni eccezionali: urto .....	16
1.7.6 Azione sismica .....	18
1.7.7 Combinazioni di carico .....	19
1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro .....	27
1.8.1 Verifiche allo stato limite ultimo .....	28
1.8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio .....	31
<b>2. FONDAZIONE H=0,50 m</b>	<b>33</b>
2.1 Caratteristiche geometriche .....	33
2.2 Stratigrafia del terreno .....	34
2.3 Condizioni di carico .....	34
2.4 Combinazioni di carico .....	36
2.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati .....	36
2.6 Opzioni di calcolo .....	37
2.1 Verifiche geotecniche .....	38
2.1.1 Verifica a scorrimento .....	38
2.1.2 Verifica a carico limite .....	39
2.1.3 Verifica a ribaltamento .....	40
2.1.4 Verifica a ribaltamento .....	40
2.1.5 Verifica di stabilità globale .....	41
Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce. ....	43
2.2 Verifiche strutturali .....	43
2.2.1 Sezione 1-1 .....	43
2.2.2 Sezione 2-2 .....	45

<b>3. FONDAZIONE H=1,00 m</b>	<b>48</b>
3.1 Caratteristiche geometriche .....	48
3.2 Stratigrafia del terreno .....	49
3.3 Condizioni di carico .....	49
3.4 Combinazioni di carico.....	51
3.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	51
3.6 Opzioni di calcolo.....	52
3.7 Verifiche geotecniche .....	53
3.7.1 Verifica a scorrimento.....	53
3.7.2 Verifica a carico limite.....	54
3.7.3 Verifica a ribaltamento.....	55
3.7.4 Verifica a ribaltamento.....	55
3.7.5 Verifica di stabilità globale .....	56
Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce. ....	58
3.8 Verifiche strutturali .....	58
3.8.1 Sezione 1-1 .....	59
3.8.2 Sezione 2-2.....	60
<b>4. MURO DI SOSTEGNO <math>1,01 &lt; H \leq 1,50m</math></b>	<b>63</b>
4.1 Caratteristiche geometriche .....	63
4.2 Stratigrafia del terreno .....	64
4.3 Condizioni di carico .....	64
4.4 Combinazioni di carico.....	66
4.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	66
4.6 Opzioni di calcolo.....	67
4.7 Verifiche geotecniche .....	68
4.7.1 Verifica a scorrimento.....	68
4.7.2 Verifica a carico limite.....	69
4.7.3 Verifica a ribaltamento.....	70
4.7.4 Verifica di stabilità globale .....	71
4.8 Verifiche strutturali .....	73
4.8.1 Sollecitazioni SLU .....	73
4.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	74
4.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	74
4.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	74
<b>5. MURO DI SOSTEGNO <math>1,51 &lt; H \leq 2,00m</math></b>	<b>76</b>
5.1 Caratteristiche geometriche .....	76
5.2 Stratigrafia del terreno .....	77
5.3 Condizioni di carico .....	77

5.4 Combinazioni di carico.....	79
5.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	79
5.6 Opzioni di calcolo.....	80
5.7 Verifiche geotecniche .....	81
5.7.1 Verifica a scorrimento.....	81
5.7.2 Verifica a carico limite.....	82
5.7.3 Verifica a ribaltamento.....	83
5.7.4 Verifica di stabilità globale .....	84
5.8 Verifiche strutturali .....	86
5.8.1 Sollecitazioni SLU .....	86
5.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	87
5.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	87
5.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	87
<b>6. MURO DI SOSTEGNO <math>2,01 &lt; H \leq 2,50m</math></b>	<b>89</b>
6.1 Caratteristiche geometriche .....	89
6.2 Stratigrafia del terreno .....	90
6.3 Condizioni di carico .....	90
6.4 Combinazioni di carico.....	92
6.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	92
6.6 Opzioni di calcolo.....	93
6.7 Verifiche geotecniche .....	94
6.7.1 Verifica a scorrimento.....	94
6.7.2 Verifica a carico limite.....	95
6.7.3 Verifica a ribaltamento.....	96
6.7.4 Verifica di stabilità globale .....	97
6.8 Verifiche strutturali .....	99
6.8.1 Sollecitazioni SLU .....	99
6.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	100
6.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	100
6.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	100
<b>7. MURO DI SOSTEGNO <math>2,51 &lt; H \leq 3,00m</math></b>	<b>102</b>
7.1 Caratteristiche geometriche .....	102
7.2 Stratigrafia del terreno .....	103
7.3 Condizioni di carico .....	103
7.4 Combinazioni di carico.....	105
7.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	105
7.6 Opzioni di calcolo.....	106
7.7 Verifiche geotecniche .....	107
7.7.1 Verifica a scorrimento.....	107

7.7.2 Verifica a carico limite.....108

7.7.3 Verifica a ribaltamento.....109

7.7.4 Verifica di stabilità globale .....110

7.8 Verifiche strutturali ..... 112

7.8.1 Sollecitazioni SLU .....112

7.8.2 Verifiche a flessione SLU.....112

7.8.3 Verifiche a taglio SLU .....113

7.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....113

**8. MURO DI SOSTEGNO 3,01<H≤3,50m 115**

8.1 Caratteristiche geometriche ..... 115

8.2 Stratigrafia del terreno ..... 116

8.3 Condizioni di carico ..... 117

8.4 Combinazioni di carico..... 118

8.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati..... 118

8.6 Opzioni di calcolo..... 119

8.7 Verifiche geotecniche ..... 120

8.7.1 Verifica a scorrimento.....120

8.7.2 Verifica a carico limite.....121

8.7.3 Verifica a ribaltamento.....122

8.7.4 Verifica di stabilità globale .....123

8.8 Verifiche strutturali ..... 125

8.8.1 Sollecitazioni SLU .....125

8.8.2 Verifiche a flessione SLU.....126

8.8.3 Verifiche a taglio SLU .....126

8.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....126

**9. MURO DI SOSTEGNO 3,51<H≤4,00m 128**

9.1 Caratteristiche geometriche ..... 128

9.2 Stratigrafia del terreno ..... 129

9.3 Condizioni di carico ..... 130

9.4 Combinazioni di carico..... 131

9.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati..... 131

9.6 Opzioni di calcolo..... 132

9.7 Verifiche geotecniche ..... 133

9.7.1 Verifica a scorrimento.....133

9.7.2 Verifica a carico limite.....134

9.7.3 Verifica a ribaltamento.....135

9.7.4 Verifica di stabilità globale .....136

9.8 Verifiche strutturali ..... 138

9.8.1 Sollecitazioni SLU .....138

9.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	139
9.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	139
9.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	140

**10. MURO DI SOSTEGNO  $4,01 < H \leq 4,70$ m 141**

10.1 Caratteristiche geometriche .....	141
10.2 Stratigrafia del terreno .....	142
10.3 Condizioni di carico .....	143
10.4 Combinazioni di carico .....	144
10.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	144
10.6 Opzioni di calcolo .....	145
10.7 Verifiche geotecniche .....	146
10.7.1 Verifica a scorrimento .....	146
10.7.2 Verifica a carico limite.....	147
10.7.3 Verifica a ribaltamento.....	148
10.7.4 Verifica di stabilità globale.....	149
10.8 Verifiche strutturali.....	151
10.8.1 Sollecitazioni SLU .....	151
10.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	151
10.8.3 Verifiche a taglio SLU.....	152
10.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	152

## 1. PREMESSA

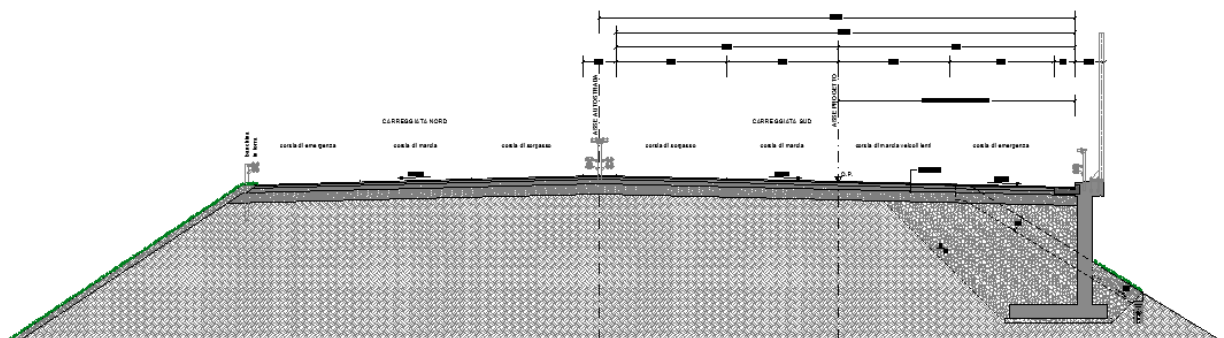
### 1.1 Descrizione dell'intervento

Gli interventi in progetto sono funzionali all'adeguamento geometrico della piattaforma autostradale nel tratto ricompreso tra le progressive km 201+285 e la prog. km 203+930 in corrispondenza della "Salita di Affi".

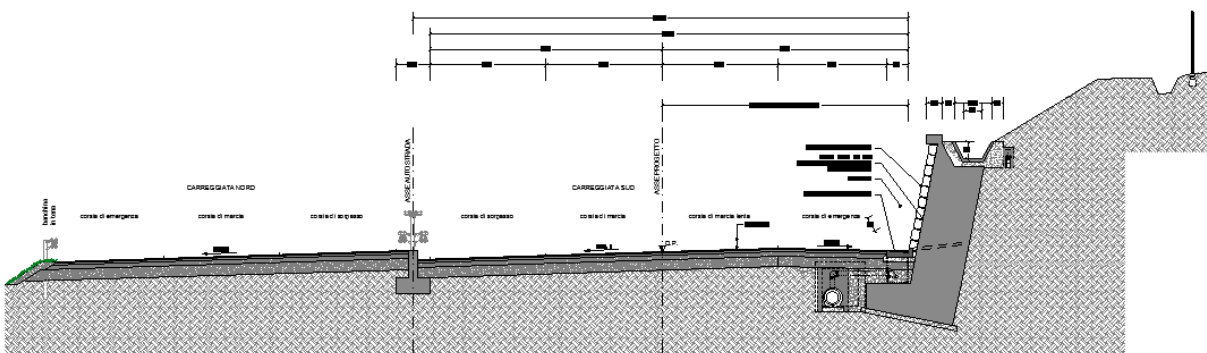
Il progetto prevede in particolare l'allargamento di 4.50 m della carreggiata sud, l'ampliamento delle opere d'arte ricomprese nel tratto citato in oggetto (il ponte sul canale S.I.M.A. e il viadotto delle Zuane) e la demolizione dei sovrappassi esistenti n° 68 e 69 seguita, in un secondo tempo, dalla realizzazione delle nuove strutture di scavalco nelle medesime posizioni. Per ottemperare alle previsioni del piano di contenimento e abbattimento del rumore PRCAR2013, è prevista anche la realizzazione di una barriera antirumore nel tratto più a nord della zona oggetto di intervento.

Al fine di evitare eccessivi espropri, i lavori di allargamento riguarderanno, per quanto possibile, la sola zona della scarpata autostradale. Ove praticabile si è cercato di progettare l'allargamento in rilevato (scarpata con pendenza 33°), mentre dove, per contro, lo spazio a disposizione non lo ha reso possibile, si è prevista la realizzazione di muri di sostegno (tratti in rilevato) o di controripa (tratti in trincea) in calcestruzzo armato, della stessa tipologia di quelli già presenti lungo l'autostrada.

SEZIONE TIPO CON MURO DI SOSTEGNO PER PREDISPOSIZIONE BARRIERA RUMORE  
SCALA 1 : 50



SEZIONE TIPO CON MURO DI CONTRORIPA IN CURVA  
SCALA 1 : 50



Si elencano di seguito i tratti autostradali nei pressi della "Salita di Affi" in cui si è prevista la realizzazione di opere di sostegno.



Muri di sostegno con installazione di barriera antirumore:

- tra le sezioni 1 e 34;
- tra la sezione 43 e 48;
- tra le sezioni 63 e 65;
- tra le sezioni 53 e 55;
- sezioni 42 e 52 (fondazione).

Muri di controripa con installazione di barriera antirumore:

- tra le sezioni 35 e 41.

Muri di sostegno senza barriera antirumore:

- tra le sezioni 80 e 95.

Muri di controripa senza barriera antirumore:

- tra le sezioni 66 e 79;
- tra le sezioni 96 e 118;
- tra le sezioni 123 e 173.

Il seguente elaborato tratta le verifiche geotecniche e strutturali relative alla fondazione e ai muri di sostegno su cui è prevista l'installazione di una barriera antirumore (sez. 1-34, sez. 43-48, sez. 63-65, sez. 53-55, sez.42, sez. 52), demandando ad altre relazioni la verifica dei muri di controripa con barriera antirumore e dei muri di sostegno e di controripa senza barriera antirumore.

Si riportano i calcoli relativamente alle seguenti altezze di muro:

- 0.5m < H ≤ 1.0m (sez.42 e sez.52);
- 1.01m < H ≤ 1.50m (sez.29-34, sez.42-43, sez. 53-54);
- 1.51m < H ≤ 2.00m (sez.28-29, sez. 46-47, sez. 64-65, sez. 54-55);
- 2.01m < H ≤ 2.50m (sez.28, sez.47-48);
- 2.51m < H ≤ 3.00m (sez.27, sez.43, sez.45-46, sez.63-64);
- 3.01m < H ≤ 3.50m (sez. 26-27);
- 3.51m < H ≤ 4.00m (sez.1-26, sez.43-43bis);
- 4.01m < H ≤ 4.70m (sez.43bis-45).

## 1.2 Caratteristiche dei materiali e geometria

Di seguito, sono riportate le caratteristiche di resistenza dei materiali coinvolti nel progetto:

<u>Calcestruzzo:</u>	Classe di resistenza:	C 28/35
	Modulo elastico:	$22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 32588 \text{ N/mm}^2$
	Classe di esposizione (fondazioni muri):	XF3
	Classe di esposizione (elevazione muri):	XF4
	Classe di esposizione (fondazioni standard):	XF4
	Rapporto massimo acqua/cemento:	0,45
	Massimo diametro degli inerti:	28 mm
	Classe di consistenza (slump test):	S3/S4
	Resistenza a compressione caratteristica:	$f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 29,05 \text{ N/mm}^2$
	Resistenza a trazione semplice:	$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 2,83 \text{ N/mm}^2$
	Resistenza a trazione caratteristica:	$f_{ctk} = 0,70 \cdot f_{ctm} = 1,98 \text{ N/mm}^2$

**Armatura ordinaria:** acciaio in barre e in reti ad aderenza migliorata per cemento armato, controllato in stabilimento, saldabile, B 450 C.

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$   
 Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

**Carpenterie:** acciaio tipo S 355 J2

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$  per  $t \leq 40 \text{ mm}$   
 $f_{tk} \geq 470 \text{ N/mm}^2$  per  $t > 40 \text{ mm}$   
 Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$  per  $t \leq 40 \text{ mm}$   
 $f_{yk} \geq 335 \text{ N/mm}^2$  per  $t > 40 \text{ mm}$

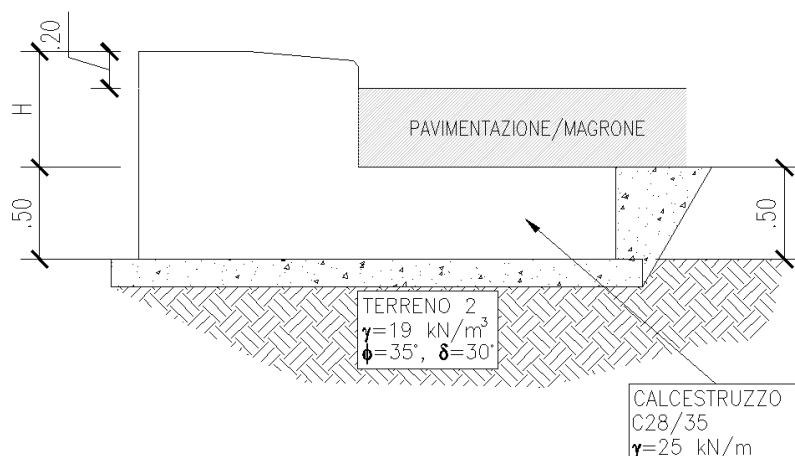
**Tirafondi:** acciaio inox AISI 316L  $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

**Acciaio per sicurtà:** S 355 J0 W P  
 Corten A  
 $f_{yk} \geq 345 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{tk} \geq 480 \text{ N/mm}^2$

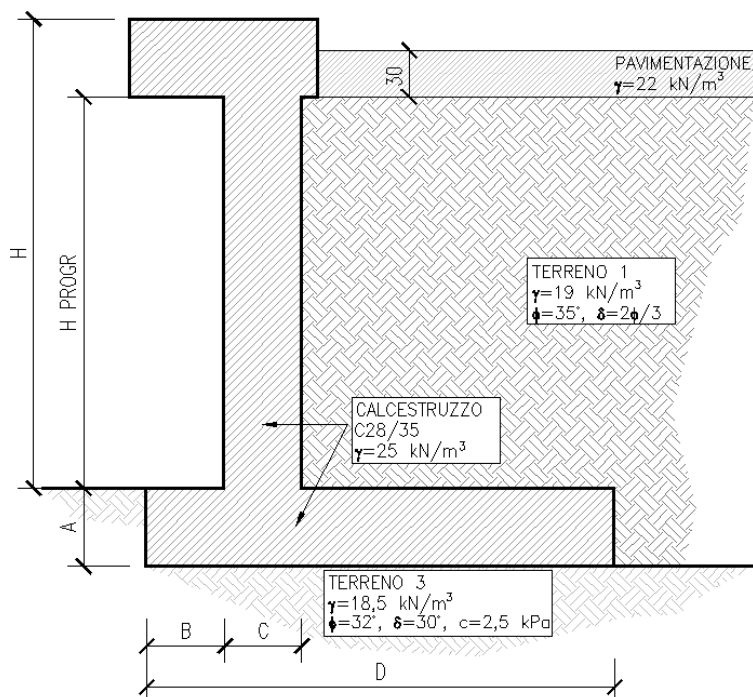
Segue una schematizzazione della geometria di entrambe le soluzioni progettuali: fondazione e muro di sostegno.

Si precisa che i calcoli sono stati condotti considerando tratti di muro o fondazione con sviluppo longitudinale di 30 m, in accordo all'indicazione progettuale di realizzare giunti strutturali ogni 30 m.

**FONDAZIONE**



**MURO DI SOSTEGNO**



### 1.3 Considerazioni geotecniche

Le opere in oggetto hanno lateralmente rilevato autostradale. Tale rilevato è costituito da materiali appartenenti ai gruppi A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> della classifica C.N.R.-U.N.I. 10006/1963, messi in opera a strati di uniforme spessore, non eccedente cm 50.

I rilevati per tutta la loro altezza presentano i requisiti di densità riferita alla densità massima secca AASHTO modificata non inferiore al 90% negli strati inferiori e al 95% in quello superiore (ultimi 30 cm). Inoltre, per tale ultimo strato, che costituisce il piano di posa della fondazione stradale, si ha un modulo di compressibilità  $M_E$ , definito dalle Norme Svizzere (SNV 670317), il cui valore, misurato in condizioni di umidità prossima a quella di costipamento, al primo ciclo di carico e nell'intervallo di carico compreso fra 0,15 e 0,25 N/mm<sup>2</sup>, non è inferiore a 50 N/mm<sup>2</sup>.

Tali caratteristiche portano ad assegnare al materiale di rilevato i seguenti parametri:

Peso di volume	$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 35 \div 37^\circ$
Coesione a lungo termine	$C = 0$
Coesione apparente a breve termine	$C' = 8 \div 10 \text{ kPa}$

Tali valori risultano confermati sia dal comportamento delle varie opere realizzate nel corso degli anni sia dalle caratteristiche del materiale nei primi metri dei sondaggi geognostici realizzati per l'esecuzione di opere particolari.

Quindi, in fase di verifica si è considerato prudenzialmente per il terreno spingente di **rilevato** (terreno 1):

Peso di volume	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 35^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro	$\delta = 2\phi/3$

per il terreno di **rilevato** sotto il piano di fondazione (terreno 2):

Peso di volume	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 35^\circ$
Angolo di attrito terreno-muro	$\delta = 30^\circ$

Per quanto riguarda il **terreno naturale** presente in sito, si è invece fatto riferimento alla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930".

Le stratigrafie interessate sono risultate:

**DEPOSITI GLACIALI PREVALENTEMENTE GHIAIOSI (dalla sez.25 alla sez. 48, dalla sez. 107 alla sez.173)** (terreno 3) costituiti da ghiaie medio-grossolane in matrice sabbioso-limosa con ciottoli ben arrotondati, poligenici, di diametri variabili da 2 cm fino a 20 cm. In fase di verifica si sono considerate le seguenti caratteristiche, valori medi rispetto ai valori riportati in relazione:

Peso di volume	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 32^\circ$
Angolo di attrito terreno-fondazione	$\delta = 30^\circ$
Coesion	$c = 2,5 \text{ kPa}$

**DEPOSITI GLACIALI PREVALENTEMENTE SABBIOSI (dalla sez. 52 alla sez.107)** (terreno 4) costituiti da sabbie medio-grossolane, solitamente di colore nocciola chiaro, limose, con ciottoli e intercalazioni di lenti ghiaiose. In fase di verifica si sono considerate le seguenti caratteristiche, valori medi rispetto ai valori riportati in relazione:

Peso di volume	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 27^\circ$
Angolo di attrito terreno-fondazione	$\delta = 27^\circ$
Coesione	$c = 7,5 \text{ kPa}$

**DEPOSITI ALLUVIONALI (dalla sez.1 alla sez.25)** (terreno 5) costituiti da ghiaie medio-grossolane in scarsa matrice sabbioso-limosa, con frequenti ciottoli ben arrotondati, grossolani, poligenici, con un grado di addensamento inferiore rispetto ai depositi glaciali. In fase di verifica si sono considerate le seguenti caratteristiche, valori medi rispetto ai valori riportati in relazione:

Peso di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi = 33,5^\circ$
Angolo di attrito terreno-fondazione	$\delta = 30^\circ$
Coesione	$c = 0 \text{ kPa}$

Si nota, inoltre, che nel corso della campagna geognostica non sono state rilevate venute idriche o presenza di falda.

#### 1.4 Metodo di calcolo, normativa e affidabilità del codice di calcolo utilizzato

Le verifiche geotecniche e strutturali della fondazione e dei muri di sostegno, sono state eseguite nel rispetto della legislazione tecnica D.M. 14/01/2008 - "Norme tecniche per le costruzioni" - citato nel testo come "NTC 2008". Inoltre, come supporto al calcolo è stato adottato il software MAX versione 15.03f prodotto dalla Aztec Informatica srl (Casole Bruzio - CS), la cui copia è concessa in licenza d'uso ad Autostrada del Brennero S.p.a. (AIR0147TR)

Per quanto non espressamente specificato nella normativa italiana D.M. 14 gennaio 2008, si è invece fatto riferimento a:

#### 1 PREMESSA

##### 1.4 Metodo di calcolo, normativa e affidabilità del codice di calcolo utilizzato

- C.M. 02 febbraio 2009 n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- CNR 19 febbraio 2009 n. 207/2008: Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- UNI EN 1992-1-1: "Eurocodice 2. Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici".

Di seguito, si riportano le principali fasi seguite per il calcolo e la verifica dei muri:

- calcolo della spinta del terreno;
- verifica a ribaltamento;
- verifica a scorrimento del muro sul piano di posa;
- verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite) secondo il metodo di Vesic;
- verifica della stabilità globale con il metodo di Bishop;
- calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale, sotto effetto dell'azione sismica, è stata eseguita con il metodo dell'analisi statica equivalente, secondo le disposizioni del Capitolo 7 del D.M. 14/01/2008.

Inoltre, le combinazioni di carico adottate per l'applicazione del metodo agli stati limite, sia nelle condizioni di azioni statiche che sismiche, sono esaustive in riferimento agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software utilizzato per il calcolo ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego.

La società produttrice Aztec Informatica s.r.l. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo in modo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. Illustra, inoltre, in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare, dopo una corposa introduzione che descrive l'analisi dei carichi e il metodo generale di modellazione.

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli, effettuando un confronto con le verifiche svolte con altri software e con semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni, permettendo di considerare il software idoneo all'utilizzo.

## 1.5 Impostazioni di analisi geotecnica e strutturale

L'analisi strutturale e geotecnica dei muri è stata eseguita con l'ausilio del programma di calcolo MAX15 e seguendo le prescrizioni normative al § 6.5.3.1.1 del D.M. 14/01/2008. Le verifiche agli stati limite ultimi coinvolte in tale analisi sono:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)*: scorrimento sul piano di posa; collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno; ribaltamento; stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.
- *SLU di tipo strutturale (STR)*: raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

I coefficienti parziali per le azioni e i parametri geotecnici adottati nelle verifiche di cui sopra sono quelli illustrati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II del D.M. 14/01/2008 e riportati nel seguito:

COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI DEL TERRENO			
PARAMETRO	$\gamma$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

COEFFICIENTI PARZIALI RELATIVI ALLE AZIONI (S.L.U)				
AZIONE	$\gamma$	EQU	A1	A2
Permanente favorevole	$\gamma_G$	0.9	1.0	1.0
Permanente sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanente non strutt. favorevole	$\gamma_{G, ns}$	0.0	0.0	0.0
Permanente non strutt. sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabile favorevole	$\gamma_Q$	0.0	0.0	0.0
Variabile sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Per quanto riguarda i coefficienti  $\gamma_R$ , si è invece fatto riferimento ai valori riportati nella Tabella 6.5.I del D.M. 14/01/2008:

COEFFICIENTI PARZIALI PER LE VERIFICHE AGLI SLU				
VERIFICA		R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.40
Scorrimento	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.10
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.40

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-fondazione è stata effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2), impostando  $\gamma_R=1.10$ . Per la verifica a ribaltamento sono stati adottati i coefficienti parziali EQU+M2+R1. Per le rimanenti verifiche, si è invece adottato l'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo presente che per le verifiche strutturali il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Inoltre, nelle verifiche sui singoli muri, si sono considerati i seguenti casi di combinazione delle azioni:

- soli carichi permanenti in presenza di sisma;
- carichi permanenti con urto, se presente;
- carichi permanenti con vento in direzione concorde all'urto, con e senza carico mobile;
- carichi permanenti con vento in direzione contraria all'urto, con e senza carico mobile.

Per quanto riguarda l'analisi sismica, sono state eseguite sia le verifiche geotecniche (ribaltamento, scorrimento, portanza e stabilità globale) sia le verifiche degli elementi strutturali

(base del muro e fondazione), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati in tabella.

VERIFICA SLV	$\gamma_R$
Capacità portante della fondazione	1.20
Scorrimento	1.00
Ribaltamento	1.00
Resistenza del terreno a valle	1.20

Nel *paragrafo 1.7.7* sono riportate tutte le combinazioni di carico analizzate e i relativi coefficienti di combinazione.

Si precisa che per il **calcolo della spinta** si è adottato il metodo di Mononobe-Okabe che assume le stesse ipotesi della teoria di Coulomb, un cuneo di spinta a monte del muro che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea, con l'aggiunta dell'aliquota di spinta orizzontale dovuta al sisma.

Per la verifica di **stabilità globale** si è adottato invece il metodo di Bishop, che prevede un coefficiente di sicurezza espresso dalla seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da:

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i$ -esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i$ -esima,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi, tale espressione è stata risolta per successive approssimazioni e iterazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare fin quando il valore calcolato coincida con il valore assunto.

Infine, la verifica a **carico limite** è stata condotta utilizzando la teoria di Vesic.

Per quanto riguarda l'**analisi strutturale delle sezioni**, si applicano le seguenti impostazioni:

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali:

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.60
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

### Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali: Aggressive  
Armatura ad aderenza migliorata

### Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature: Poco sensibile  
Valori limite delle aperture delle fessure:  $w_1 = 0.20$   
 $w_2 = 0.30$   
 $w_3 = 0.40$

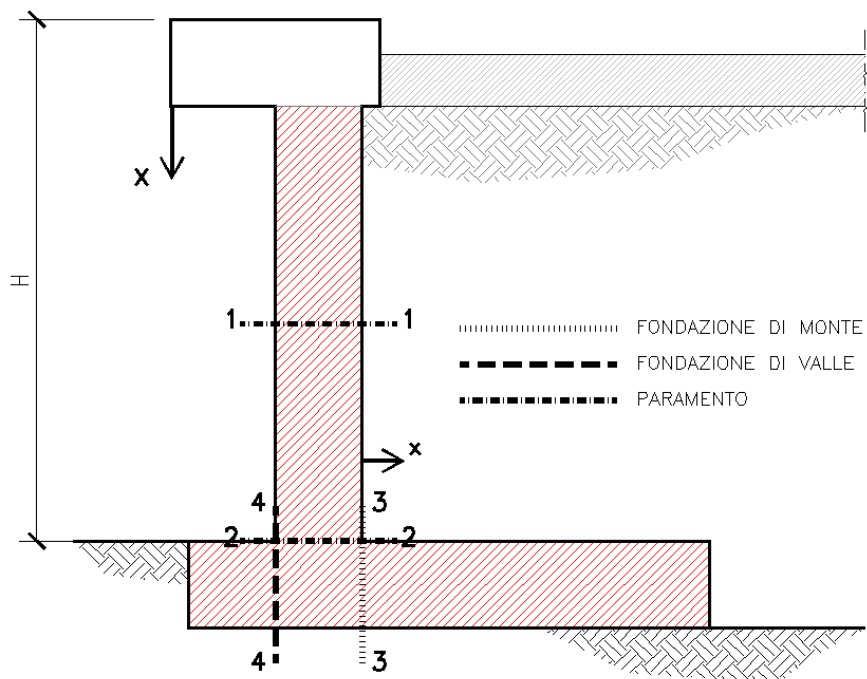
Il metodo di calcolo adottato per la verifica a fessurazione è quello proposto nell'UNI EN 1992-1-1. Per non appesantire troppo l'elaborato, non sono riportati i risultati della verifica a fessurazione, comunque, soddisfatta per tutte le combinazioni di carico agli SLE.

### Verifica delle tensioni

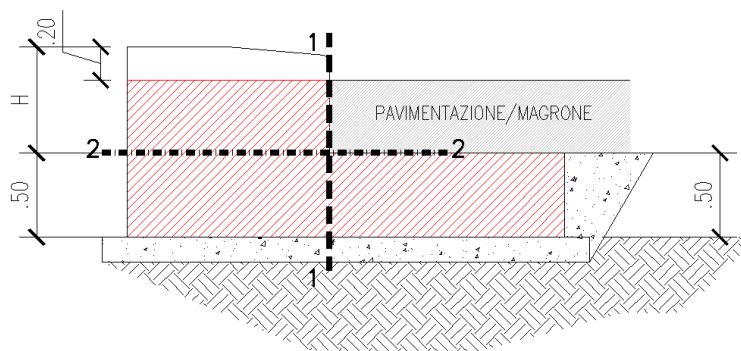
Combinazione di carico: Rara  $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$  -  $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$   
Quasi permanente  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

In relazione, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione.

Di seguito, si riporta una schematizzazione di entrambe le soluzioni progettuali con evidenziate le sezioni più critiche: per la fondazione, base del cordolo e sezione d'incastro della mensola di fondazione; per il muro di sostegno, la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento e le sezioni d'incastro delle mensole di fondazione di monte e di valle.





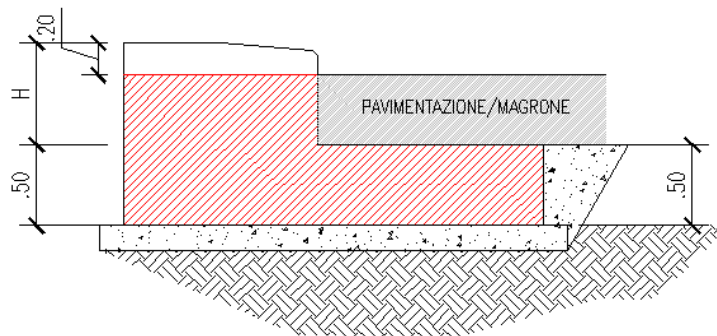


Infine, poiché nel programma di calcolo non è possibile inserire un numero non intero di armature a metro lineare, a favore di sicurezza, sono stati considerati tre ferri a metro, anziché 3,33 previsti per un passo di 30 cm.

## 1.6 Impostazioni di modellazione

### 1.6.1 Fondazione

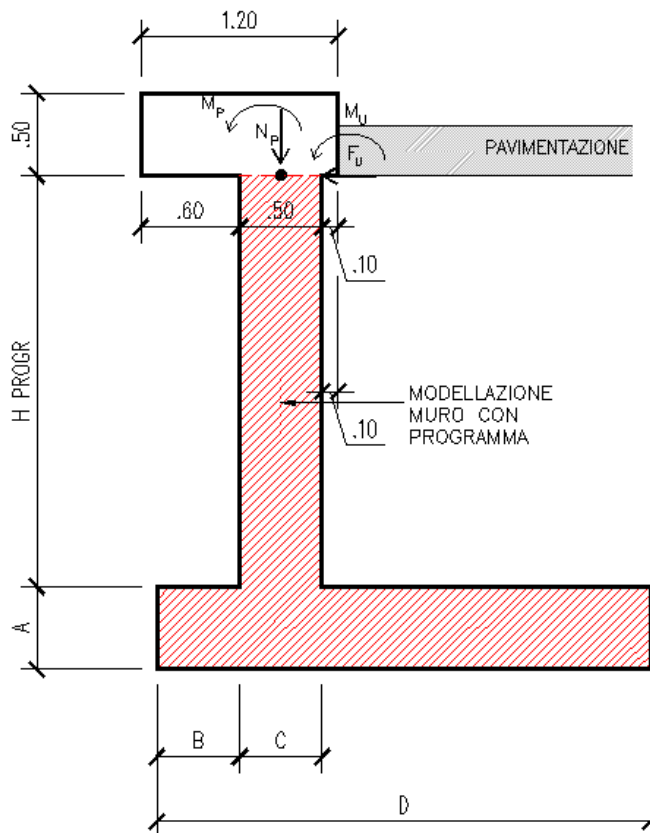
Il criterio di modellazione adottato prevede la schematizzazione della fondazione come indicato in figura con tratteggio obliquo.



La modellazione della parte di cordolo che sporge dalla pavimentazione non è stata eseguita; tuttavia, si tiene conto della stessa considerando il suo peso come carico permanente portato da sommare a quello del sicurvia e della barriera antirumore.

### 1.6.2 Muri di sostegno

Il criterio di modellazione adottato prevede l'inserimento nel programma della porzione di muro indicata in figura con tratteggio obliquo.



Nella modellazione non è quindi incluso il cordolo, poiché le caratteristiche geometriche e di armatura dello stesso sono indipendenti dall'altezza e dalle proprietà geometriche del muro; tuttavia, si tiene conto dello stesso come carico permanente portato da sommare al peso della barriera antirumore e del sicurvia. Le verifiche del cordolo, di dimensione costante 1.20x0.50m, saranno oggetto di specifica analisi nel *paragrafo 1.8*. Ulteriori considerazioni di modellazione riguardano la pavimentazione e il carico accidentale dovuto al traffico, entrambi inseriti come carichi distribuiti, che generano solo spinta orizzontale lungo l'altezza del muro di sostegno.

## 1.7 Analisi dei carichi

### 1.7.1 Carichi permanenti sulla fondazione

I carichi permanenti strutturali sono: il peso proprio del muro ( $\gamma_{CLS} = 25.0 \text{ kN/m}^3$ ) e il peso del magrone di pavimentazione. I carichi permanenti non strutturali sono invece: il peso del sicurvia (1.24 kN/m), il peso della pavimentazione ( $\gamma_{PAV} = 22.0 \text{ kN/m}^3$ ), il peso della barriera antirumore e il peso del cordolo; vista la scarsa incertezza sull'entità del peso da attribuire agli elementi non strutturali, per questa tipologia di carico sono stati adottati gli stessi coefficienti parziali agli SLU dei carichi permanenti strutturali, come concesso dalle NTC2008 al § 2.6.1, Tabella 2.6.1.

Si specifica di seguito il calcolo dei carichi permanenti non strutturali a metro lineare di fondazione:

- Il cordolo di progetto pesa:  $(1.20\text{m} \times 0.20\text{m} - 0.60\text{m} \times 0.025\text{m}) \times 25\text{kN/m}^3 = 5.625 \text{ kN/m}$ .
- Le barriere antirumore previste sui muri di sostegno analizzati nella presente relazione presentano un'altezza massima di 4,85m e pesano a metro lineare:

peso profilato HEB 180 (per h montante)

0,512 kN/m

elementi di fissaggio (per h montante)	0,120 kN/m
pannello fonoassorbente in legno	0,300 kN/m <sup>2</sup>
pannello in c.a. h=0.50m circa (per L fondazione)	1,795 kN/ml
piastra acciaio e rinforzi (per montante)	0,643 kN

Pertanto, le azioni permanenti non strutturali in testa alla fondazione, a distanza 0.25 m dal filo interno del cordolo, valgono:

AZIONI IN TESTA ALLA FONDAZIONE		Sollecitazioni				
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto " o " "		(x,y)				
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,850	1		1,07	0,91
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,850	1		1,79	1,53
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,850	1		1,28	1,09
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,650	1		0,24	0,16
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	0,055	1		1,24	0,07
6.	Cordolo	0,350	1		5,63	1,97
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,509</b>		<b>-</b>	<b>11,25</b>	<b>5,73</b>

Si precisa che per tenere conto dell'incremento di carico dovuto alla presenza di magrone invece che di terreno tra la sommità della fondazione e la pavimentazione, si aggiunge nel caso di carico "Carichi permanenti" un carico equivalente uniformemente distribuito pari a 1.20 kN/m<sup>2</sup>:

$$q_{\text{incremento peso}} = (23.0 \text{ kN/m}^3 - 19.0 \text{ kN/m}^3) \times 0.30 \text{ m} = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

Si tiene conto dell'attrito tra fondazione e magrone con una forza  $F_a$ , calcolata come segue. Per un'altezza complessiva di **0.50+0.30m** si ha che:

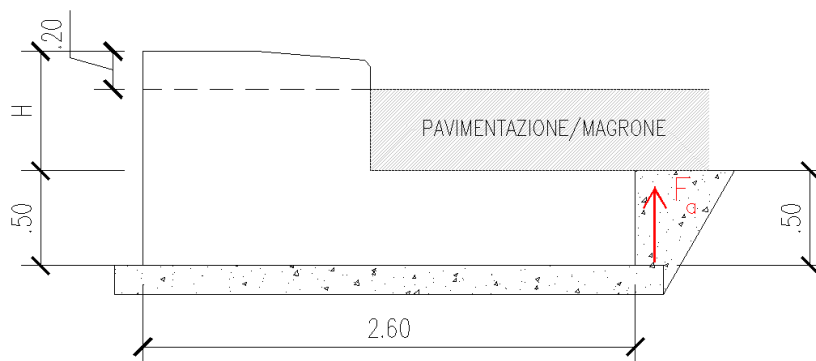
$$\sigma = \gamma \times k_0 \times h/2 = 23 \times 0.5 \times (0.50 + 0.30) / 2 = 4.60 \text{ kN/m}^2 \text{ (tensione media sull'altezza);}$$

$$F_a = \sigma \times h \times \mu = 4.60 \times 0.80 \times 0.70 = \mathbf{2.58 \text{ kN.}}$$

Per un'altezza complessiva di **0.50+0.80m** si ha che:

$$\sigma = \gamma \times k_0 \times h/2 = 23 \times 0.5 \times (0.50 + 0.80) / 2 = 7.475 \text{ kN/m}^2 \text{ (tensione media sull'altezza);}$$

$$F_a = \sigma \times h \times \mu = 7.475 \times 1.30 \times 0.70 = \mathbf{6.80 \text{ kN.}}$$



### 1.7.2 Carichi permanenti sui muri di sostegno

I carichi permanenti strutturali sono: il peso proprio del muro ( $\gamma_{CLS} = 25.0 \text{ kN/m}^3$ ), il peso del terreno ( $\gamma_t = 19.0 \text{ kN/m}^3$ ) e la spinta dello stesso. I carichi permanenti non strutturali sono invece: il peso del sicurvia (1.24 kN/m), il peso della pavimentazione ( $\gamma_{PAV} = 22.0 \text{ kN/m}^3$ ), il peso della barriera antirumore e il peso del cordolo. Vista la scarsa incertezza sull'entità del peso da attribuire agli elementi non strutturali, per questa tipologia di carico sono stati adottati gli stessi coefficienti parziali agli SLU dei carichi permanenti strutturali, come concesso dalle NTC2008 al § 2.6.1, Tabella 2.6.I.

Si specifica di seguito il calcolo dei carichi permanenti non strutturali a metro lineare di muro:

- Il cordolo di progetto pesa:  $(1.20m \times 0.50m - 0.60m \times 0.025m) \times 25kN/m^3 = 14.63 kN/m$ .
- Per il pacchetto di pavimentazione è stato assunto un carico equivalente uniformemente distribuito pari a  $0,30m \times 22kN/m^3 = 6.60 kN/m^2$ .
- Le barriere antirumore previste sui muri di sostegno analizzati nella presente relazione presentano un'altezza massima di 4.85m e pesano a metro lineare:

peso profilato HEB 180 (per h montante)	0,512 kN/m
elementi di fissaggio (per h montante)	0,120 kN/m
pannello fonoassorbente in legno	0,300 kN/m <sup>2</sup>
pannello in c.a. h=0.50m circa (per L fondazione)	1,795 kN/ml
piastra acciaio e rinforzi (per montante)	0,643 kN

Pertanto, le azioni permanenti non strutturali in testa al muro, a distanza 0.25 m dal filo interno del cordolo, valgono:

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO</b>						
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o" "		(x,y) x'' (m)	Sollecitazioni			
			$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28	0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24	0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24	-0,06
6.	Cordolo	0,250	1		14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		-	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>

### 1.7.3 Carichi variabili da traffico

Si considera un carico variabile distribuito pari a 20 kN/m<sup>2</sup>, rappresentativo del carico veicolare transitante in prossimità del muro.

### 1.7.4 Carichi variabili: Vento

Il carico da vento è calcolato in accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (§ 3.3 del D.M. 14 gennaio 2008 e C.M. 2 febbraio 2009). Di seguito, si stimerà una pressione del vento adeguata a tutto il tracciato autostradale dell'A22, valida per tutte le barriere fino ad una altezza montante di 5,50 m ed interasse massimo di 2,66 m.

#### Dati generali di ingresso:

- Regione:

	V <sub>ref,0</sub> [m/s]	a <sub>0</sub> [m]	K <sub>a</sub>
zona 1 = Regione Trentino Alto Adige, Veneto;	25	1000	0,010
zona 2 = Emilia Romagna	25	750	0,015

- Periodo di ritorno T<sub>r</sub> = 500 anni, a cui corrisponde un coefficiente di ritorno pari a α<sub>R</sub> = 1,123.

- Classe di rugosità:

“ C “ Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ...);

“ D “ Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aree agricole, ...).

- Altezza s.l.m. di ubicazione dell’opera e corrispondente categoria di classificazione del luogo oggetto dell’intervento in funzione della rugosità:

CASISTICHE in funzione della località	Rugosità	
	C	D
A) fino a 500 m (da Modena a Chiusa)	III	II
B) da 500 a 750 m (da Chiusa a Vipiteno)	IV	III
C) maggiore di 750 m (da Vipiteno a Brennero)	IV	IV

- Densità dell’aria: 1,25 kg/m³.

Risultati generali:

- Velocità di riferimento,

Note le regioni e le quote s.l.m. del tracciato autostradale, si identificano due casistiche per il calcolo della velocità base di riferimento del vento:

1) da Modena a Vipiteno (fino a 1000 m s.l.m.), le quote “a<sub>s</sub>”( altezza s.l.m.) sono inferiori ad “a<sub>0</sub>”; in questo caso la velocità di riferimento V<sub>b</sub> è assunta costante e pari a:

$$V_b = V_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$$

2) da Vipiteno a Brennero (1370 m s.l.m.), le quote “a<sub>s</sub>”( altezza s.l.m.) sono superiori ad “a<sub>0</sub>”; in questo caso la velocità di riferimento è variabile, V<sub>b</sub>(a<sub>s</sub>), ed è valutata utilizzando la seguente relazione:

$$V_b = V_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) = 28,70 \text{ m/s (per } a_s = 1370 \text{ m)}$$

La velocità di riferimento calcolata è poi moltiplicata per il coefficiente di ritorno α<sub>R</sub>, funzione del tempo di ritorno di progetto T<sub>r</sub> = 500 anni, ottenendo così la velocità di riferimento per un periodo di ritorno di 500 anni:

$$V_{b(T_r=500\text{anni})} = V_b \cdot \alpha_R(T_r) \quad \text{dove } \alpha_R(T_r) = 1,123;$$

Da Modena a Vipiteno, si ha: V<sub>b(T<sub>r</sub>=500anni)</sub> = 25,00 m/s \* 1,123 = 28,08 m/s (Cat. II,III,IV);

Da Vipiteno a Brennero, si ha: V<sub>r(T<sub>r</sub>=50anni)</sub> = 28,70 m/s \* 1,123 = 32,23 m/s (Cat. IV).

- Coefficiente topografico C<sub>t</sub>, che come prescritto dalla normativa di riferimento si assume pari a 1,0;

- Coefficiente di esposizione c<sub>e</sub> (z), che è funzione dell’altezza z dell’opera rispetto al suolo e della classificazione del luogo in cui sarà ubicata l’opera:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \ln(z/z_0) [7 + C_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

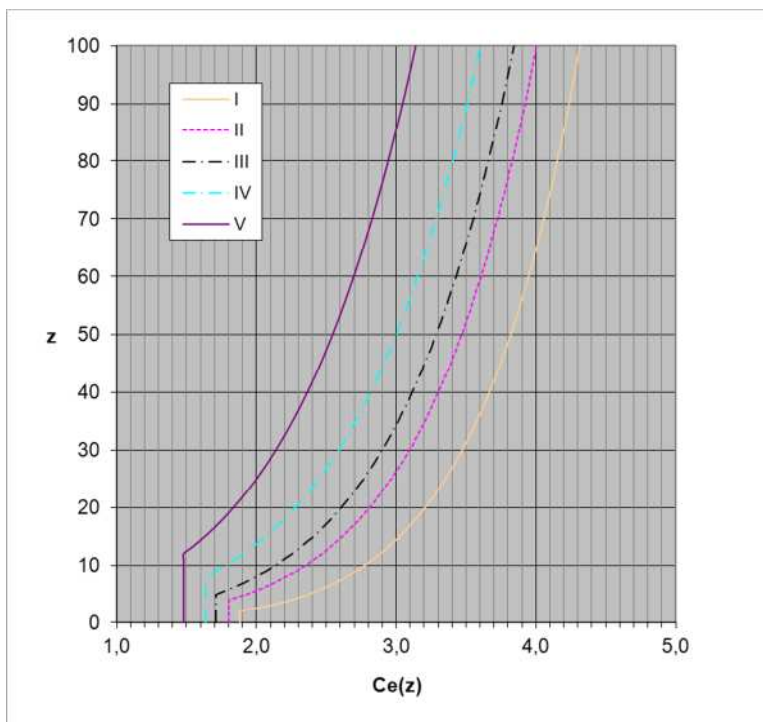
$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Di seguito, sono diagrammati i valori di c<sub>e</sub> in funzione di z e per tutte le categorie di esposizione prese in esame.

1 PREMESSA

1.7 Analisi dei carichi

c <sub>t</sub> = 1	Categoria di esposizione		
	II	III	IV
z	c <sub>e</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)
1	1,801	1,708	1,634
2	1,801	1,708	1,634
3	1,801	1,708	1,634
4	1,801	1,708	1,634
5	1,929	1,708	1,634
6	2,037	1,817	1,634
7	2,130	1,912	1,634
8	2,212	1,995	1,634
9	2,286	2,070	1,712
10	2,352	2,138	1,783
11	2,413	2,200	1,848
12	2,469	2,257	1,908
13	2,521	2,311	1,964
14	2,570	2,360	2,017
15	2,616	2,407	2,066
16	2,659	2,451	2,113
17	2,700	2,493	2,157
18	2,738	2,533	2,199
19	2,775	2,570	2,238
20	2,810	2,606	2,277



Assumendo C<sub>t</sub> = 1,0, classe di rugosità più sfavorevole pari a “D” e z pari all’altezza massima del manufatto (z = 5,50 m), si ottengono i seguenti valori del coefficiente di esposizione:

- A) c<sub>e</sub> = 1,985 (cat. II ) valido nel tratto da Modena a Chiusa;
- B) c<sub>e</sub> = 1,764 (cat. III ) valido nel tratto da Chiusa a Vipiteno;
- C) c<sub>e</sub> = 1,634 (cat. IV) valido nel tratto da Vipiteno a Brennero.

- Pressione cinetica di riferimento (q<sub>r</sub>):

in generale:  $q_r = \frac{1}{2} \rho V_r^2$

per il caso A) abbiamo  $q_r = \frac{1}{2} \rho 28,08^2 = 492,8 \text{ N/m}^2$ ;

per il caso B) abbiamo  $q_r = \frac{1}{2} \rho 28,08^2 = 492,8 \text{ N/m}^2$ ;

per il caso C) abbiamo  $q_r = \frac{1}{2} \rho 32,23^2 = 649,2 \text{ N/m}^2$ .

- Si adottano prudenzialmente come coefficienti di pressione i seguenti valori:

sopravento	C <sub>pe</sub> = 0,8
sottovento	C <sub>pi</sub> = 0,4

- Pressione del vento (p):

$p = q_r C_e C_p C_d$

dove: c<sub>p</sub> = coefficiente di pressione complessivo;

$c_d$  = coefficiente dinamico (preso convenzionalmente pari a 1);  
 $c_e = c_e(z)$  coefficiente di esposizione, con  $z$  = altezza massima manufatto da terra.

Noti i valori dei diversi coefficienti, la pressione del vento è quindi valutata per ciascun tratto autostradale preso in esame:

per il caso A) abbiamo  $p = 492,8 \times 1,985 \times (0,8+0,4) \times 1 = 1173 \text{ N/m}^2$ ;  
 per il caso B) abbiamo  $p = 492,8 \times 1,764 \times (0,8+0,4) \times 1 = 1043 \text{ N/m}^2$ ;  
 per il caso C) abbiamo  $p = 649,2 \times 1,634 \times (0,8+0,4) \times 1 = 1273 \text{ N/m}^2$ .

Al fine di semplificare la trattazione del vento, la pressione globale su tutto l'asse del Brennero sarà assunta pari al valore massimo di calcolo, circa 1,17 kPa, incrementato prudenzialmente della pressione dinamica da traffico, 0,8 kPa, valore riportato in UNI EN 1794-1 per veicoli viaggianti a velocità maggiori di 120 km/h e distanti 3,0 m dalla barriera.

Pertanto, la pressione globale adottata nei calcoli risulta:

$$p_{\text{vento,CALCOLO}} = \pm 2,0 \text{ kN/m}^2$$

### 1.7.5 Azioni eccezionali: urto

In seguito all'urto di un veicolo pesante, tutti i piantoni della barriera di un certo tratto subiscono una rilevante deformazione plastica. Pertanto, il momento flettente massimo alla base di un piantone in fase d'urto si può calcolare come il momento limite di plasticizzazione:

$$M_{pl} = f_y W_{pl}$$

essendo:  $f_y$  = tensione di snervamento;  
 $W_{pl} = 2 S_x$  = modulo di resistenza plastico;  
 $S_x$  = momento statico di metà sezione rispetto al baricentro.

Riguardo al valore della tensione di snervamento  $f_y$  da impiegare nel calcolo di  $M_{pl}$ , si osserva che non si può adottare la tensione caratteristica, in quanto essa rappresenta il frattile di ordine 0.05 della distribuzione statistica, ossia il valore che ha una probabilità del 5% di essere minorato.

Poiché in questo caso l'azione è proporzionale a  $f_y$ , si deve invece considerare il frattile di ordine 0.95 (probabilità del 5% di essere maggiorato), come per i valori caratteristici delle azioni.

La formula per il calcolo del valore caratteristico (frattile di ordine 0.05) è:

$$f_k = f_m - k s$$

con:  $f_m$  = valore medio;  
 $s$  = scarto quadratico medio;  
 $k$  = fattore funzione del numero  $n$  di risultati sperimentali; per  $n=\infty$   $k=1.64$   
 (Tabella 11.3.IV del D.M. 14/01/2008)

Il frattile di ordine 0.95 è invece dato da:

$$f'_k = f_m + k s = f_k + 2 k s$$

Quindi, per calcolare  $f'_k$  a partire da  $f_k$  è necessario conoscere lo scarto quadratico medio  $s$ .

Al § 11.3.4.11.1.4 (verifica periodica della qualità) dello stesso D.M., si prescrive che il coefficiente di variazione percentuale dello snervamento per acciaio compreso tra S235 e S355 è pari all'8%. Indicando tale coefficiente con  $p$ , si ha:

$$p = s / f_m \quad s = p f_m$$

$$f_k = f_m - k s = f_m - k p f_m = f_m (1 - k p)$$

da cui si ricava il valore medio  $f_m$  in funzione di  $f_k$ :

$$f_m = \frac{f_k}{1 - k p}$$

Il frattile di ordine 0.95 si può quindi calcolare con:

$$f'_k = f_m + k s = f_m + k p f_m = f_m (1 + k p) = f_k \frac{1 + k p}{1 - k p}$$

Con  $k = 1.64$  ( $n=\infty$ ) e  $p = 0.08$  (S355) risulta pertanto:

$$k p = 1.64 \times 0.08 = 0.1312$$

$$f_m = \frac{f_k}{1 - 0.1312} = 1.15 f_k$$

$$f'_k = f_k \frac{1 + 0.1312}{1 - 0.1312} = 1.30 f_k$$

Per l'acciaio S355J0WP (CORTEN A) con tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$  si deve quindi considerare almeno:

valore medio	$f_{ym} = 1.15 \times 355 = 408 \text{ N/mm}^2$
frattile 0.95	$f_{yk} = 1.30 \times 355 = 461 \text{ N/mm}^2$

**NOTA:** da prove eseguite su paletti HE 100 A la tensione di snervamento è risultata compresa tra 403 e 431  $\text{N/mm}^2$ .

Per il piantone **HE 100 B**, avente modulo di resistenza plastico  $W_{pl} = 2 \times 52.1 = 104 \text{ cm}^3$ , il momento limite di plasticizzazione risulta pertanto:

$$M_{pl} = 461 \times 104 \times 10^{-3} = \mathbf{47.9 \text{ kNm}}$$

Essendo l'interasse dei piantoni  $i = 1.33 \text{ m}$ , il momento plastico per unità di lunghezza risulta:

$$M_{pl,i} = 47.9 / 1.33 = 35.9 \text{ kNm/m}$$

Il D.M. 17/01/2008 prevede al § 3.6.3.3.2 quale azione relativa all'urto di un veicolo in svio una forza pari a **100 kN** applicata ad un'altezza di **1.00 m** dal piano viario.

Per non superare il momento limite di plasticizzazione del montante con la forza prevista dal D.M., supponendo che la cerniera plastica si formi a 5 cm dalla superficie superiore del cordolo e che questa sporga 20 cm dal piano viabile, tale forza deve ripartirsi su una lunghezza di barriera pari a:

$$l_{ripart.,pl} = 100.0 \times (1.00 - 0.20 + 0.05) / 35.9 = 2.37 \text{ m}$$



Tale larghezza corrisponde circa ad assumere la forza del D.M. distribuita su 0.50 m e ripartita a 45° a partire da un'altezza di 1.00 m dal piano viario. Alla quota della cerniera plastica infatti:

$$l_{\text{ripart.}} = 0.50 + 2 \times 0.85 \tan 45^\circ = 2.20 \text{ m}$$

$$H_{\text{urto}} = 100.0 / 2.20 = 45.4 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{urto}} = 100.0 \times 0.85 / 2.20 = 38.6 \text{ kNm/m} \approx M_{\text{pl,i}} = 35.9 \text{ kNm/m}$$

Essendo inoltre il momento calcolato maggiore di quello di plasticizzazione, la ripartizione risulta essere prudentiale.

Per le verifiche geotecniche sui muri, si è assunto che l'azione dell'urto si ripartisca a 45° partendo da una lunghezza pari alla distanza del punto di applicazione della stessa dalla base del paramento, a cui è poi sommato un contributo di 0.5 m.

Per quanto riguarda le verifiche strutturali, l'azione dell'urto è ricalcolata di volta in volta in base alla posizione della sezione verificata.

### 1.7.6 Azione sismica

L'analisi sismica dei muri di sostegno è stata eseguita con il programma MAX15 calcolando l'aliquota di spinta sismica attraverso il metodo di Mononobe-Okabe e una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

$$F = (M g) k = W k$$

Dove:

- $M$  rappresenta la somma delle masse del muro, del terreno gravante sulla fondazione a monte del muro e degli eventuali sovraccarichi;
- $k$  è il coefficiente sismico dipendente dalle caratteristiche sismologiche del sito.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono stati valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m S \frac{a_g}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h$$

Nello specifico, l'azione sismica è stata definita implementando lo spettro di accelerazione allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) per il sito di Rivoli Veronese, ricavato seguendo le prescrizioni di normativa.

Si riportano le coordinate geografiche del Comune di Rivoli Veronese,

- Lat. = 45,571561;
- Lon. = 10,811929.

Inoltre, i dati considerati per la definizione dell'azione sismica:

Vita nominale ( $V_N$ )	50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso ( $C_U$ )	2
Vita di riferimento ( $V_R$ )	100 anni

Per lo SLV, si ha che:

- $a_g = 0,210$  g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;
- $F_0 = 2,462$  fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- $S = 1,667$  categoria di sottosuolo C e categoria topografica T2;
- $\beta_m = 0,310$  coefficiente di riduzione (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 14/01/2008).

All'azione sismica è stata poi aggiunta la spinta del terreno retrostante che, in condizioni sismiche, può essere valutata secondo la teoria di *Mononobe-Okabe* mediante la relazione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 + k_v) K_a$$

in cui H è l'altezza del muro,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno e  $K_a$  è il coefficiente di spinta attiva del terreno che vale:

$$\beta \leq \phi - \theta \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta \quad K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

con:  $\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$

### 1.7.7 Combinazioni di carico

In questa sezione si elencano tutte le combinazioni di carico utilizzate per le verifiche geotecniche e strutturali della fondazione e dei muri di sostegno.

Simbologia adottata

- $\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione
- $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

#### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	0.60	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 15 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 16 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 17 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Vento -	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 18 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento -	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 20 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento -	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 21 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 22 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 23 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento -	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 24 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 25 - EQU, \*

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 26 - EQU, \*

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento -	0.00	0.60	Favorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 27 - EQU H + V, \*

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Favorevole

Combinazione n° 28 - EQU, \*

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 29 - EQU, \*

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento -	0.00	1.00	Favorevole

Combinazione n° 30 - EQU H - V, \*

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Favorevole

Combinazione n° 31 - ECC

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 32 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole



Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.00	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 33 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Carico mobile	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 34 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 35 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento -	1.00	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 36 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 37 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 38 - SLER

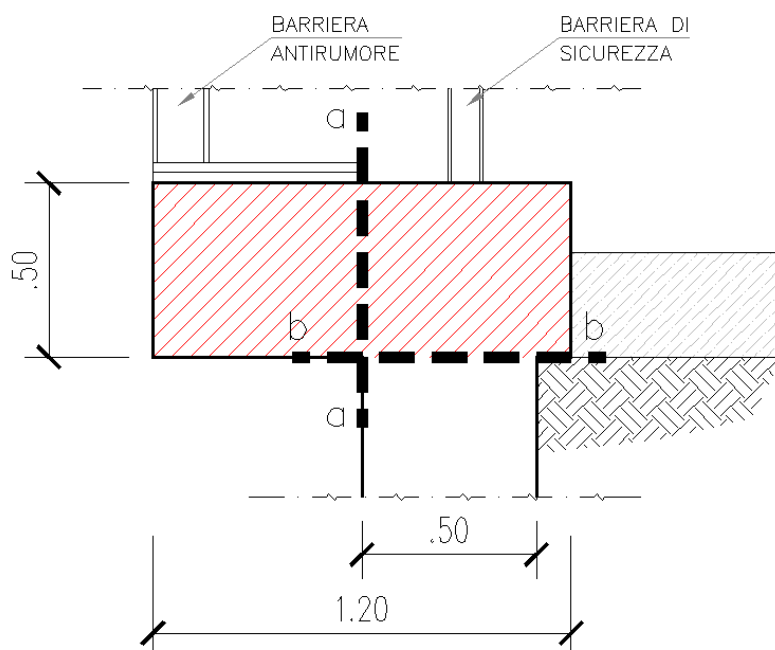
Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento -	1.00	0.60	Sfavorevole

**Note**

\* Al fine di considerare le condizioni più critiche nei confronti della verifica a ribaltamento (combinazioni dalla n° 25 alla n°30), il carico relativo alla pavimentazione è stato considerato favorevole (coefficiente unitario) per i muri fino ad una altezza di 3 m, sfavorevole (coefficiente 1.30) per le restanti altezze di muro.

**1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro**

Indipendentemente dall'altezza del muro, si procede con la verifica del cordolo, di dimensioni 0.5x1.2m, nelle sezioni **a-a** e **b-b** indicate in figura.



A vantaggio di sicurezza, le azioni agenti sono state valutate facendo riferimento alla barriera antirumore più alta; pertanto,  $h=4,85$  m, montanti HEB180 in acciaio S355 J2 e ancoraggi realizzati per mezzo di quattro tirafondi M27. Per le verifiche e le scelte progettuali relative alla barriera antirumore si rimanda alla relazione di carpenteria.

Di seguito, si riportano le caratteristiche geometriche e di armatura delle sezioni oggetto di verifica:

1 PREMESSA

1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro

### SEZIONE a-a

b = 100 cm  
h = 50 cm  
d = 45 cm  
As = A's = (6+2)φ12/133cm ≈ 4,5φ12/m

### SEZIONE b-b

b = 100 cm  
h = 50 cm  
d = 45 cm  
As = φ16/30cm  
A's = φ12/30cm

AZIONI IN TESTA AL MURO				(x,y)		Sollecitazioni		
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto o''				x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore			0,750	1		1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)			0,750	1		1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente			0,750	1		1,28	0,96
3.	Piastra acciaio e rinforzi			0,550	1		0,24	0,13
4.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)			-0,045	1		1,24	-0,06
5.	Cordolo 1,2 x 0,5			0,250	1		14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>			<b>0,338</b>		-	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>
<b>Q1 AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq				(x,y)				
				y'' (m)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)
				<b>2,990</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	-	<b>± 29,0</b>
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b>	ripartito fino alla sezione b-b		<b>1,300</b>	<b>1</b>	<b>32,258</b>		<b>41,935</b>

**A = 0,60 m**  
**B = 0,50 m**  
**C = 0,10 m**  
**D = 1,20 m**  
**H = 0,50 m**

**x'' = 0,35 m**      distanza tra o e o''  
 NB: l'ordinata di o e o'' coincidono

#### 1.8.1 Verifiche allo stato limite ultimo

In tabella si riportano le sollecitazioni che interessano le sezioni **a-a** e **b-b**, opportunamente moltiplicate per i coefficienti della combinazione allo stato limite ultimo. Si sottolinea che per la combinazione riguardante l'urto sono stati adottati coefficienti unitari ( §2.5.3 del D.M. 14 gennaio 2008).

**AZIONI Per VERIFICA CORDOLO a-a - STATO LIMITE ULTIMO**

riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto o'		(x',y')	Sollecitazioni SLU			
			$\gamma$	H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
1.	Montante barriera antirumore	0,500	1,5	1,60	0,80	
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,500	1,5	2,69	1,35	
3.	Pannello fonoassorbente	0,500	1,5	1,91	0,96	
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,300	1,5	0,36	0,11	
5.	Cordolo esterno muro	0,300	1,3	9,75	2,93	
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,377</b>		<b>-</b>	<b>16,31</b>	<b>6,15</b>

Q1 AZIONE ACC. VENTO		Vento p=	2,00 kN/mq	(x',y')	$\gamma$	Sollecitazioni SLU		
						H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
				<b>2,740</b>	<b>1,5</b>	<b>± 14,55</b>	<b>-</b>	<b>± 39,87</b>

SOMMANDO G+Q1		Sollecitazioni SLU - sezione a-a - comb. più gravosa		H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
				<b>14,55</b>	<b>16,31</b>	<b>46,02</b>

**AZIONI Per VERIFICA CORDOLO SEZ. b-b - STATO LIMITE ULTIMO**

riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto o''		(x'',y'')	Sollecitazioni			
			$\gamma$	H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
1.	Montante barriera antirumore	0,750	1,5	1,60	1,20	
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1,5	2,69	2,02	
3.	Pannello fonoassorbente	0,750	1,5	1,91	1,44	
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1,5	0,36	0,20	
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1,0	1,24	-0,06	
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1,3	19,01	4,75	
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,356</b>		<b>-</b>	<b>26,81</b>	<b>9,55</b>

Q1 AZIONE ACC. VENTO		Vento p=	2,00 kN/mq	(x'',y'')	$\gamma$	Sollecitazioni SLU		
						H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
				<b>2,990</b>	<b>1,5</b>	<b>± 14,55</b>	<b>-</b>	<b>± 43,50</b>

Q2 AZIONE ACC. URTO		H =	32,26 kN/mq	(x'',y'')	$\gamma$	Sollecitazioni SLU		
						H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
				<b>1,300</b>	<b>1,00</b>	<b>32,26</b>	<b>-</b>	<b>41,94</b>

SOMMANDO G+Q1+Q2		Soll. SLU - sezione b-b - comb. più gravosa con vento		H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
				<b>14,55</b>	<b>26,81</b>	<b>53,05</b>
		Soll. SLU - sezione b-b - comb. più gravosa con urto		<b>32,26</b>	<b>20,25</b>	<b>48,78</b>

Considerando la seguente convenzione dei segni:



le sollecitazioni allo stato limite ultimo più gravose nelle due sezioni considerate risultano:

**SOLLECITAZIONI DI VERIFICA PER FLESSIONE E TAGLIO sezioni a-a e b-b - SLU**

Azioni di calcolo (riferite ad una sezione larga 1 metro)

Sezione "a-a"	
Nsd = H =	14,55 kN
Vsd = N =	16,31 kN
Msd = M =	46,02 kNm

Sezione "b-b" 1	
Nsd = N' =	26,81 kN
Vsd = H' =	14,55 kN
Msd = M' =	53,05 kNm

Sezione "b-b" 2	
Nsd = N' =	20,25 kN
Vsd = H' =	32,26 kN
Msd = M' =	48,78 kNm

**VERIFICA A FLESSIONE**

Azioni di calcolo

Sezione "a-a"	
M <sub>sdu</sub> =	46,02 kNm
N <sub>sdu</sub> =	14,55 kN
Af sup =	4,5φ12
Af inf =	4,5φ12
h sez. =	0,50 m

Sezione "b-b" 1	
M <sub>sdu</sub> =	53,05 kNm
N <sub>sdu</sub> =	26,81 kN
Af sup =	3,33φ12
Af inf =	3,33φ16
h sez. =	0,50 m

Sezione "b-b" 2	
M <sub>sdu</sub> =	48,78 kNm
N <sub>sdu</sub> =	20,25 kN
Af sup =	3,33φ12
Af inf =	3,33φ16
h sez. =	0,50 m

1 PREMESSA

1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro

Si considerano due combinazioni diverse agenti nella sezione **b-b**; la prima ha come carico variabile principale il vento, la seconda il carico d'urto. Inoltre, le armature resistenti nella zona tesa sono i  $\phi 16/30\text{cm}$ , nella zona compressa i  $\phi 12/30\text{cm}$ .  
Le verifiche a pressoflessione risultano soddisfatte come si evince dai diagrammi sottostanti.

**Sezione "a-a"**  
**Verifica**

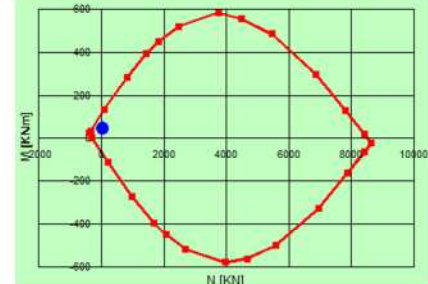
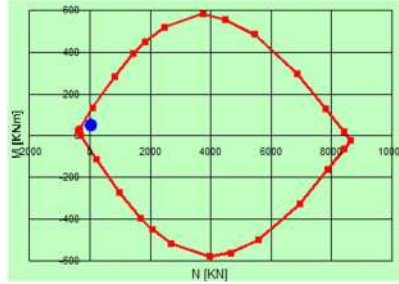
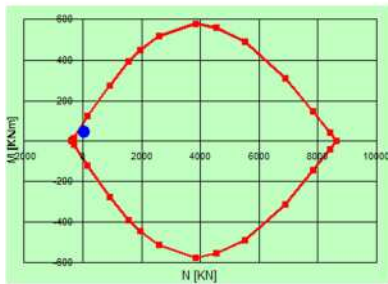
x	3,794 cm
x/d	0,0843
$\varepsilon_c$	0,9207 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b>M<sub>rd</sub></b>	<b>91,95 kNm</b>

**Sezione "b-b" 1**  
**Verifica**

x	4,257 cm
x/d	0,0946
$\varepsilon_c$	1,045 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b>M<sub>rd</sub></b>	<b>120,7 kNm</b>

**Sezione "b-b" 2**  
**Verifica**

x	4,213 cm
x/d	0,09363
$\varepsilon_c$	1,033 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b>M<sub>rd</sub></b>	<b>119,3 kNm</b>



**Verifica a taglio**

Per la verifica a taglio si è considerata l'azione di taglio massima gravante nella sezione **b-b**, derivante dalla combinazione con carico eccezionale d'urto.

**VERIFICA A TAGLIO - Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio (NTC2008)**

	Sezione "a-a"		Sezione "b-b"	
Sollecitazione di taglio	V <sub>sd</sub>	16,31 kN	V <sub>sd</sub>	32,26 kN
Restistenza cubica caratteristica del cls	R <sub>ck</sub>	35 N/mm <sup>2</sup>	R <sub>ck</sub>	35 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteris f <sub>ck</sub> =0,83 R <sub>ck</sub>	f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a con f <sub>cd</sub> =0,85 f <sub>ck</sub> /1,5	f <sub>cd</sub>	16,5 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	16,5 N/mm <sup>2</sup>
Larghezza minima della sezione	b <sub>w</sub>	100 cm	b <sub>w</sub>	100 cm
Altezza utile della sezione	d	45 cm	d	45 cm
Area armature longitudinali	A <sub>sl</sub>	5,09 cm <sup>2</sup>	A <sub>sl</sub>	6,70 cm <sup>2</sup>
k = 1+(20/d) <sup>1/2</sup> ≤ 2	k	1,67	k	1,67
ρ <sub>l</sub> =A <sub>sl</sub> /(b <sub>w</sub> d) ≤ 0,02	ρ <sub>l</sub>	0,001	ρ <sub>l</sub>	0,001
v <sub>min</sub> =0,035 k <sup>3/2</sup> f <sub>ck</sub> <sup>1/2</sup>	v <sub>min</sub>	0,41 N/mm <sup>2</sup>	v <sub>min</sub>	0,41 N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistenza di calcolo del calcestruzzo:</b>				
V <sub>Rcd</sub> = [0,18 k (100ρ <sub>l</sub> f <sub>ck</sub> ) <sup>1/3</sup> /1,5+0,15σ <sub>cp</sub> ]b <sub>w</sub> d		133,80 kN		146,60 kN
V <sub>Rcd,min</sub> = (v <sub>min</sub> +0,15σ <sub>cp</sub> )b <sub>w</sub> d		182,65 kN		182,65 kN

La verifica risulta soddisfatta sia per la sezione **a-a** che per la sezione **b-b**; infatti, nella sezione **a-a** si ha che 16,31 kN < 182,65 kN, nella sezione **b-b** si ha che 32,26 kN < 182,65 kN.

Inoltre, è stata effettuata la verifica nella sezione **b-b** considerando la combinazione di carico che prevede il vento agente in direzione opposta (dall'esterno verso l'autostrada); in questo caso i valori delle sollecitazioni risultano:

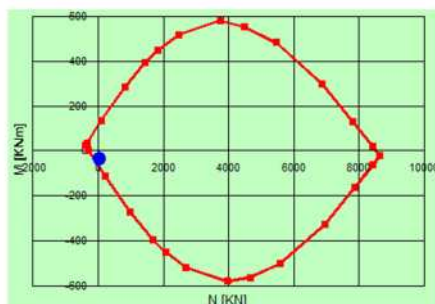
Sezione "b-b" 3	
M <sub>sdu</sub>	-33,95 kNm
N <sub>sdu</sub>	26,81 kN
Af sup	3,33φ12
Af inf	3,33φ16
h sez.	0,50 m

1 PREMESSA

1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro

Le armature resistenti sono i  $\phi 16/30\text{cm}$  nella zona compressa e i  $\phi 12/30\text{cm}$  nella zona tesa; anche per questa combinazione la verifica è soddisfatta.

**Sezione "b-b" 3**  
**Verifica**  
x 3,593 cm  
x/d 0,07985  
 $\epsilon_c$  0,8678 ‰  
 $\epsilon_s$  10 ‰  
**M<sub>rd</sub>** -72,52 kNm



### 1.8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

Le sollecitazioni allo stato limite di esercizio nelle due sezioni analizzate sono:

#### AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ. a-a - STATO LIMITE DI ESERCIZIO

riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto o'		(x',y')		Sollecitazioni SLE		
		x (m)	$\gamma$	H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
1.	Montante barriera antirumore	0,500	1,0		1,07	0,53
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,500	1,0		1,79	0,90
3.	Pannello fonoassorbente	0,500	1,0		1,28	0,64
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,300	1,0		0,24	0,07
5.	Cordolo esterno muro	0,300	1,0		7,50	2,25
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,370</b>		-	<b>11,88</b>	<b>4,39</b>

Q1 AZIONE ACC. VENTO		(x',y')		Sollecitazioni SLE		
		y'' (m)	$\gamma$	H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
Vento p= 2,00 kN/mq		2,740	1,0	± 9,70	-	± 26,58

SOMMANDO G+Q1		Sollecitazioni SLE - sezione a-a - comb. più gravosa		
		H' (kN)	N' (kN)	M' (kNm)
		-9,70	11,88	30,97

#### AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ. b-b - STATO LIMITE DI ESERCIZIO

riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto o''		(x'',y'')		Sollecitazioni SLE		
		x'' (m)	$\gamma$	H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
1.	Montante barriera antirumore	0,750	1,0		1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1,0		1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente	0,750	1,0		1,28	0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1,0		0,24	0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1,0		1,24	-0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1,0		14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		-	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>

Q1 AZIONE ACC. VENTO		(x'',y'')		Sollecitazioni SLE		
		y'' (m)	$\gamma$	H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
Vento p= 2,00 kN/mq		2,990	1,0	± 9,70	-	± 29,0

Q2 AZIONE ACC. URTO		(x'',y'')		Sollecitazioni SLE		
		x'' (m)	$\gamma$	H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
H = 32,26 kN/mq		1,300	1,0	32,26	-	41,94

SOMMANDO G+Q1+Q2		Soll. SLE - sezione b-b - comb. più gravosa con vento		
		H'' (kN)	N'' (kN)	M'' (kNm)
		9,70	20,25	35,84

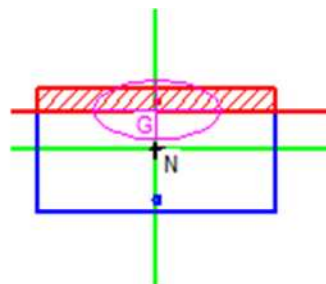
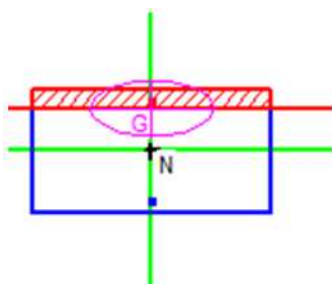
Le verifiche tensionali sono riassunte nel seguito:

Sezione "a-a"	
$M_{sdu} =$	30,97 kNm
$N_{sdu} =$	9,70 kN
$Af_{sup} =$	4,5 $\phi$ 12
$Af_{inf} =$	4,5 $\phi$ 12
$h_{sez.} =$	0,50 m

Sezione "b-b"	
$M_{sdu} =$	35,84 kNm
$N_{sdu} =$	20,25 kN
$Af_{sup} =$	3,33 $\phi$ 12
$Af_{inf} =$	3,33 $\phi$ 16
$h_{sez.} =$	0,50 m

$\sigma_c =$	1,869 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s =$	134 N/mm <sup>2</sup>

$\sigma_c =$	1,946 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s =$	112,3 N/mm <sup>2</sup>



Le sezioni sono verificate:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,a-a} &= 134 < \sigma_s^R = 0,8f_{yk} = 360 \text{ MPa} \\ \sigma_{s,b-b} &= 112,3 < \sigma_s^R = 0,8f_{yk} = 360 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,a-a} &= 1,869 < \sigma_c^R = 0,6f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,b-b} &= 1,946 < \sigma_c^R = 0,6f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

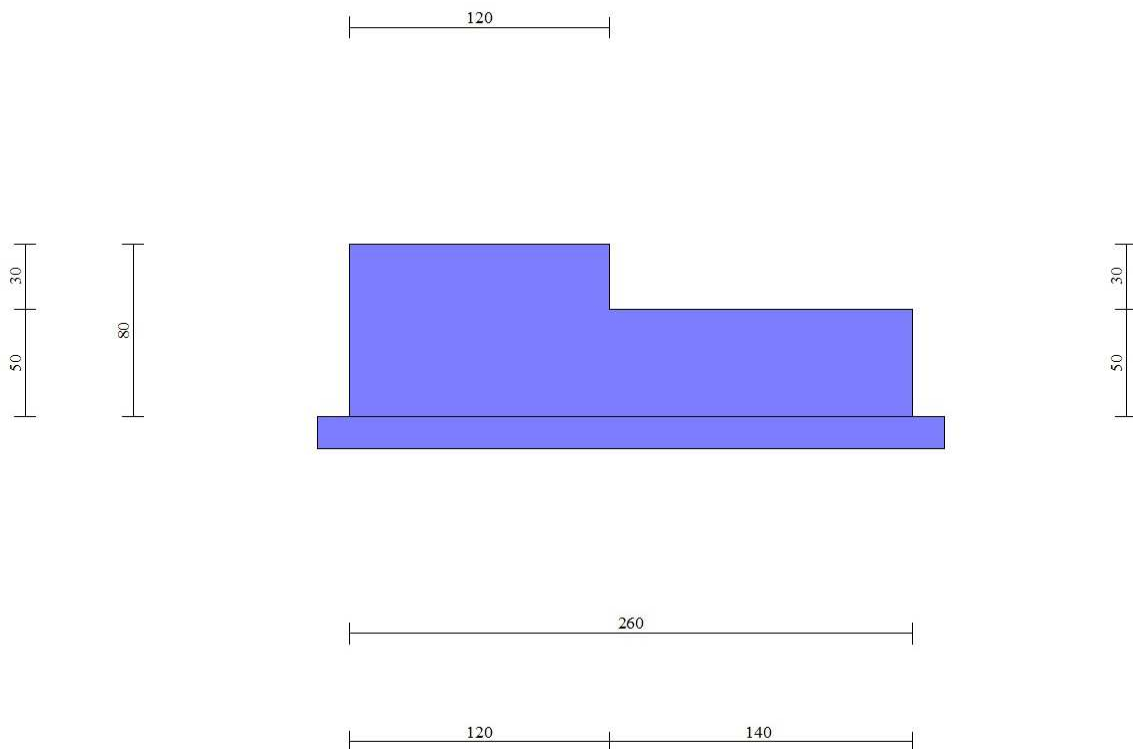
Anche per le combinazioni allo stato limite di esercizio la sezione risulta prevalentemente in trazione. Inoltre, si vuole precisare che nelle verifiche effettuate in corrispondenza della sezione **b-b**, sia per le combinazioni allo stato limite ultimo sia di esercizio, non si sono tenuti in conto i 2 ferri aggiuntivi di diametro  $\Phi 22$ , che saranno posizionati con un interasse di 1.33 m in corrispondenza dei montanti del sicurvia.

## 2. FONDAZIONE H=0,50 m

Nel seguito, si riportano le verifiche geotecniche e strutturali relative alla soluzione progettuale della *fondazione* con altezza cordolo di 0,50m.

### 2.1 Caratteristiche geometriche

In figura, è rappresentata una schematizzazione della parte di fondazione considerata nelle verifiche. Come si può notare, solo i primi 30 cm di cordolo sono stati modellati in MAX, i restanti 20 cm in sommità sono stati invece conteggiati come sovraccarico permanente.



#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	0,30	[m]
Altezza paramento libero	0,30	[m]
Spessore in sommità	1,20	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,20	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

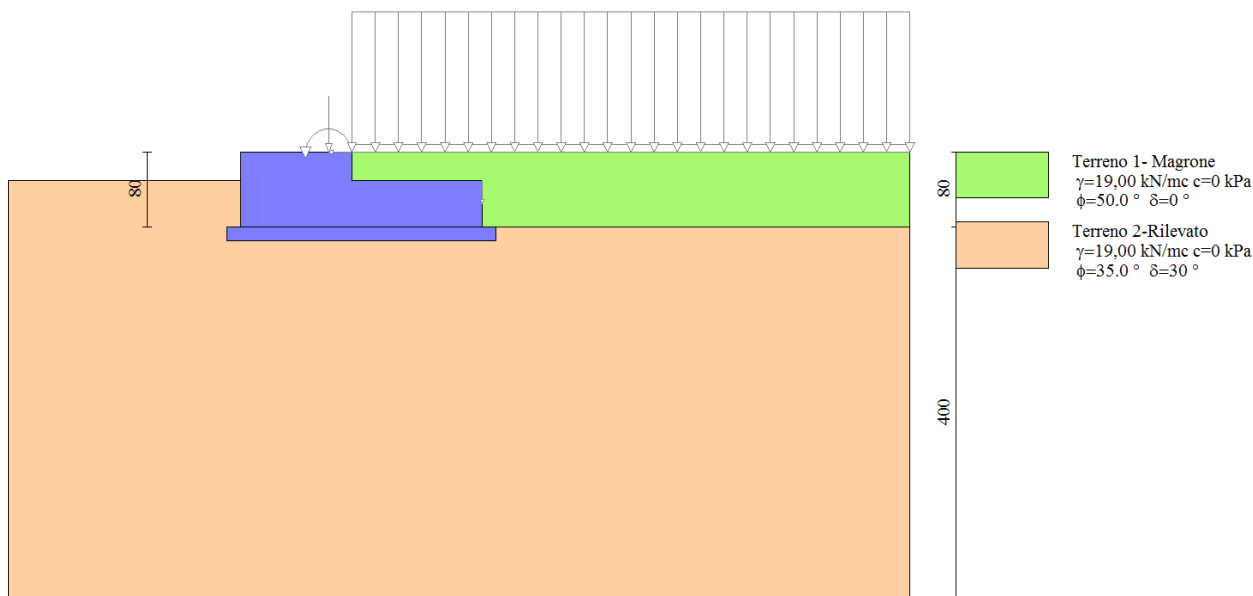
##### Fondazione

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,00	[m]
Lunghezza mensola di monte	1,40	[m]
Lunghezza totale	2,60	[m]



Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,50	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**2.2 Stratigrafia del terreno**



Come si nota in figura, per tener conto della presenza di magrone, piuttosto che di rilevato, a monte della fondazione, l'angolo di attrito è stato assunto pari a 50°. Tale scelta, infatti, porta a un abbattimento della spinta e, quindi, ad una modellazione più conforme con la realtà.

**2.3 Condizioni di carico**

In corrispondenza della sezione di fondazione da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente in legno di altezza 4,85 m con interasse montante di 2,66 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità della fondazione si è tenuto conto di un'altezza montante di 4,50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA ALLA FONDAZIONE</b>																													
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o"																													
		(x,y)	Sollecitazioni																										
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)																							
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,850	1		1,07	0,91																							
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,850	1		1,79	1,53																							
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,850	1		1,28	1,09																							
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,650	1		0,24	0,16																							
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	0,055	1		1,24	0,07																							
6.	Cordolo	0,350	1		5,63	1,97																							
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,509</b>		<b>-</b>	<b>11,25</b>	<b>5,73</b>																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>(x,y)</th> <th colspan="3"></th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>y'' (m)</th> <th>H (kN)</th> <th>N (kN)</th> <th>M (kNm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Q1</b></td> <td><b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq</td> <td><b>2,69</b></td> <td><b>1</b></td> <td><b>± 9,70</b></td> <td><b>- ± 26,09</b></td> </tr> <tr> <td><b>Q2</b></td> <td><b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base della fondazione (brip = 0,5+1,80*2)</td> <td><b>1,00</b></td> <td><b>1</b></td> <td><b>24,39</b></td> <td><b>24,39</b></td> </tr> </tbody> </table>								(x,y)						y'' (m)	H (kN)	N (kN)	M (kNm)	<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,69</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>- ± 26,09</b>	<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base della fondazione (brip = 0,5+1,80*2)	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>
		(x,y)																											
		y'' (m)	H (kN)	N (kN)	M (kNm)																								
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,69</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>- ± 26,09</b>																								
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base della fondazione (brip = 0,5+1,80*2)	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>																								

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

- Carichi verticali positivi verso il basso.
- Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
- Momento positivo senso antiorario.

- X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
- $F_x$  Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
- $F_y$  Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
- M Momento espresso in [kNm]
- $X_i$  Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
- $X_f$  Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
- $Q_i$  Intensità del carico per  $x=X_i$  espressa in [kN/m]
- $Q_f$  Intensità del carico per  $x=X_f$  espressa in [kN/m]
- D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	11,250	5,730				

*Attrito fondazione-magrone:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	1,40; -0,55	0,0000	2,5760	0,0000				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

*Carichi sul terreno*

n°	Tipo	X	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	1,200	1,200

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00$  -  $\Psi_1=0.75$  -  $\Psi_2=0.00$

*Carichi sul terreno*

n°	Tipo	X	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

*Azione eccezionale d'urto:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	24,39	0,000	24,39				

**Condizione n° 5**

*Sollecitazione del vento positiva:*

2 FONDAZIONE H=0,50 m

2.3 Condizioni di carico

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	26,090				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-26,09				

Si precisa che, per le verifiche geotecniche, la forza d'urto è stata ripartita fino alla base della fondazione al fine di cogliere l'effettivo comportamento della struttura nei confronti dello scorrimento, carico limite, ribaltamento e stabilità globale ( $l_{RIP} = 0.50+2*1.80 = 4.10$  m). Per le verifiche strutturali, invece, la forza d'urto è stata ripartita fino alla sezione di verifica (si rimanda al *paragrafo 2.2.2*).

**2.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**2.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		4.912		20.327			
2 - STR (A1-M1-R3)		16.664		16.132			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	4.685		32.069			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.551		4.910			
5 - STR (A1-M1-R3)		45.163		10.973			
6 - STR (A1-M1-R3)	H - V	4.352		33.305			
7 - STR (A1-M1-R3)		5.565		19.050			
8 - STR (A1-M1-R3)		5.017		20.516			
9 - STR (A1-M1-R3)		5.460		18.904			
10 - STR (A1-M1-R3)		18.615		15.868			
11 - STR (A1-M1-R3)		16.979		15.707			
12 - STR (A1-M1-R3)		18.301		16.282			
13 - STR (A1-M1-R3)		3.094		7.052			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
14 - STR (A1-M1-R3)		2.638		5.675			
15 - STR (A1-M1-R3)		3.007		6.428			
16 - STR (A1-M1-R3)		52.231		12.798			
17 - STR (A1-M1-R3)		46.303		10.826			
18 - STR (A1-M1-R3)		51.091		13.069			
<b>19 - GEO (A2-M2-R2)</b>					<b>2.881</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					2.881		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.532		
22 - GEO (A2-M2-R2)					6.184		
23 - GEO (A2-M2-R2)					6.184		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				3.361		
25 - EQU			4.034				
26 - EQU			18.569				
27 - EQU	H + V		9.193				
<b>28 - EQU</b>			<b>1.343</b>				
29 - EQU			11.532				
30 - EQU	H - V		6.409				
<b>31 - ECC</b>		<b>1.482</b>	<b>1.671</b>	<b>3.668</b>	<b>7.730</b>		

## 2.6 Opzioni di calcolo

### Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_q$	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	$a_q/g$	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

#### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

#### Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

### 2.1 Verifiche geotecniche

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

#### 2.1.1 Verifica a scorrimento

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 31**.

#### Combinazione n° 31 - ECC

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

#### Spinta e forze

Simbologia adottata

$I_c$	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
$C_x, C_y$	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
$P_x, P_y$	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

$I_c$	A	V [kN]	I [°]	$C_x$ [kN]	$C_y$ [kN]	$P_x$ [m]	$P_y$ [m]
31	Spinta statica	0,93	0,00	0,93	0,00	1,40	-0,52
	Peso/Inerzia muro			0,00	41,50/0,00	-0,05	-0,46
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	9,66/0,00	0,70	-0,15
	Risultante forze sul muro			24,39	13,83	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
31 - ECC	37,52	0,00	0,00	--	--	37,52	25,32	<b>1.482</b>

**2.1.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 31** è risultata la più gravosa.

**Combinazione n° 31 - ECC**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
31	Spinta statica	0,93	0,00	0,93	0,00	1,40	-0,52
	Peso/inerzia muro			0,00	41,50/0,00	-0,05	-0,46
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	9,66/0,00	0,70	-0,15
	Risultante forze sul muro			24,39	13,83	--	--

**Dettagli verifica**

2 FONDAZIONE H=0,50 m

2.1 Verifiche geotecniche

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
31 - ECC	64,99	238,35	170,25	<b>3.668</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - Nc, Nq, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - ic, iq, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - dc, dq, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - gc, gq, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - bc, bq, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - sc, sq, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - pc, pq, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub>, viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq N <sub>γ</sub>	ic iq i <sub>γ</sub>	dc dq d <sub>γ</sub>	gc gq g <sub>γ</sub>	bc bq b <sub>γ</sub>	sc sq s <sub>γ</sub>	pc pq p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
31	46.124 33.296 48.029	0.359 0.379 0.231	1.077 1.049 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.972	0,50	1,03 2,50	19,00	35,00	0

### 2.1.4 Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

#### Combinazione n° 28 - EQU

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
attrito fondazione- magrone	0.90	--	Favorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
28	Spinta statica	1,3851	0,00	1,3851	0,00	1,40	-0,52
	Peso/inerzia muro			0,00	37,35/0,00	-0,05	-0,46
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	8,69/0,00	0,70	-0,15
	Risultante forze sul muro			14,55	14,69	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
28 - EQU	77,19	57,47	<b>1.343</b>

**2.1.5 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

**Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata



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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,61; 1,63	3,17	<b>2.881</b>

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W      peso della striscia espresso in [kN]

Qy      carico sulla striscia espresso in [kN]

$\alpha$       angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

$\phi$       angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c      coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]

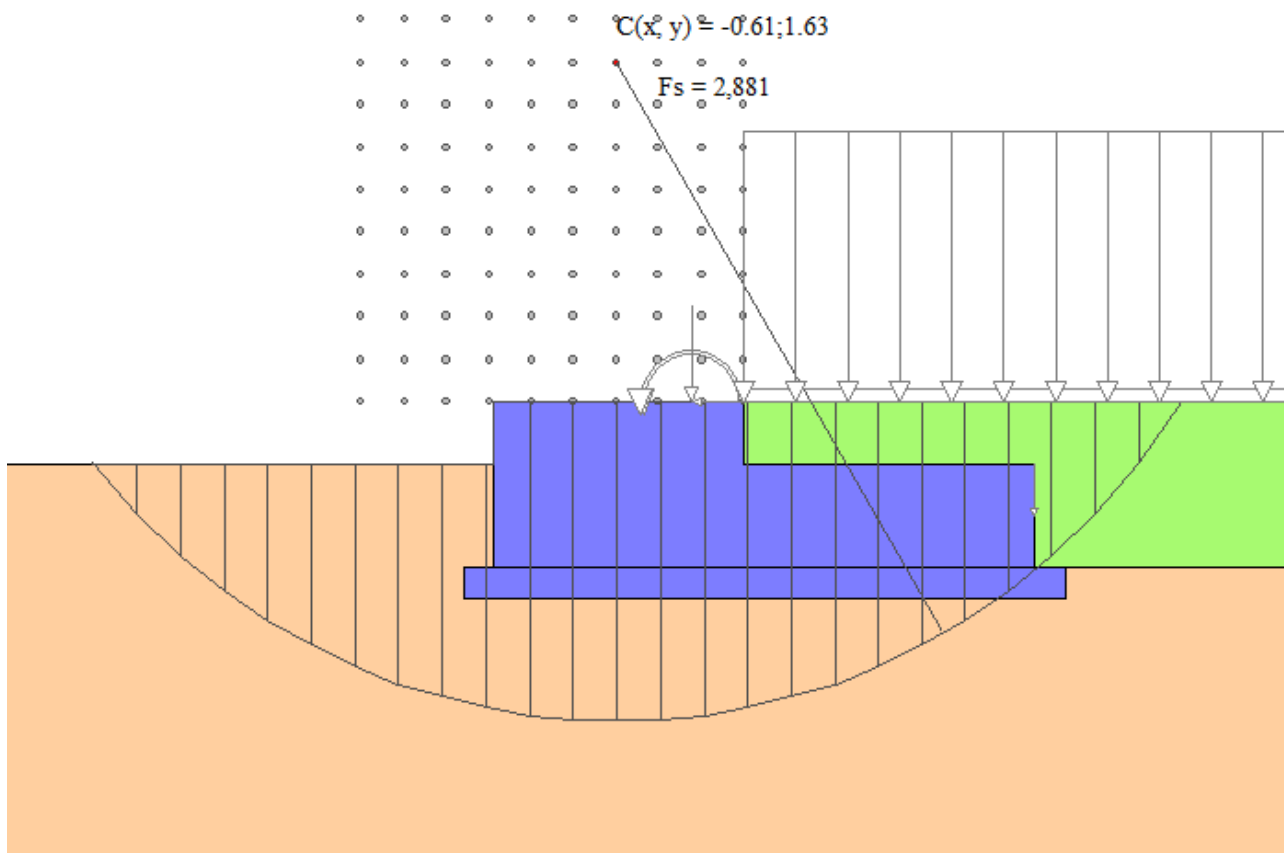
b      larghezza della striscia espressa in [m]

u      pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Tx; Ty      Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

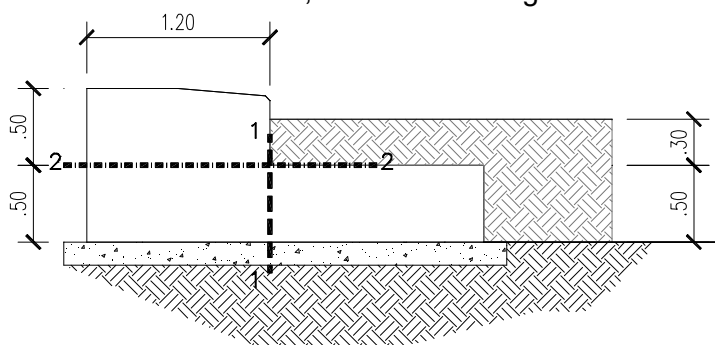
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	0,58	5,70	2,11 - 0,21	54.246	43.634	0	0,0	
2	1,65	5,70	0,21	49.666	43.634	0	0,0	
3	2,55	5,70	0,21	44.092	43.634	0	0,0	
4	4,33	8,28	0,21	39.008	29.256	0	0,0	
5	4,54	5,70	0,21	34.270	29.256	0	0,0	
6	5,07	5,70	0,21	29.788	29.256	0	0,0	
7	5,51	5,70	0,21	25.500	29.256	0	0,0	
8	5,87	5,70	0,21	21.361	29.256	0	0,0	
9	6,16	5,70	0,21	17.336	29.256	0	0,0	
10	6,39	5,70	0,21	13.398	29.256	0	0,0	
11	6,91	0,45	0,21	9.524	29.256	0	0,0	
12	7,05	11,25	0,21	5.694	29.256	0	0,0	
13	7,11	0,00	0,21	1.889	29.256	0	0,0	
14	7,11	0,00	0,21	-1.908	29.256	0	0,0	
15	7,05	0,00	0,21	-5.713	29.256	0	0,0	
16	6,50	0,00	0,21	-9.543	29.256	0	0,0	
17	4,57	0,00	0,21	-13.418	29.256	0	0,0	
18	4,34	0,00	0,21	-17.356	29.256	0	0,0	
19	4,04	0,00	0,21	-21.381	29.256	0	0,0	
20	3,68	0,00	0,21	-25.521	29.256	0	0,0	
21	3,24	0,00	0,21	-29.810	29.256	0	0,0	
22	2,72	0,00	0,21	-34.294	29.256	0	0,0	
23	2,09	0,00	0,21	-39.033	29.256	0	0,0	
24	1,35	0,00	0,21	-44.119	29.256	0	0,0	
25	0,45	0,00	-3,13 - 0,21	-48.502	29.256	0	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 2.2 Verifiche strutturali

Si riportano le verifiche delle sezioni 1-1 e 2-2, evidenziate in figura.



### 2.2.1 Sezione 1-1

Le caratteristiche della sezione 1-1 sono di seguito riportate:

$h = 50 \text{ cm}$

$d = 45 \text{ cm}$

$b = 100 \text{ cm}$

$A_s = A_{s'} = 5\phi 14 = 7.70 \text{ cm}^2$

### Verifica tensionale

Si riporta la verifica tensionale per la combinazione SLE RARA più gravosa, a cui corrispondono i seguenti valori di sollecitazione:

$$\begin{aligned} N_{Sd} &= 0,00 \text{ kN} \\ M_{Sd} &= 12,85 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Compiendo la verifica tensionale risulta che l'asse neutro si trova a una distanza di 8,68 cm dal lembo compresso della sezione e gli sforzi nei diversi elementi sono pari a:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{M}{I_{nn}} x = 0,64 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,6 f_{ck} = 16,8 \frac{N}{\text{mm}^2} \\ \sigma_s &= n \frac{M}{I_{nn}} (d - x) = 39,84 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,8 f_{yk} = 360 \frac{N}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

### Verifica allo stato limite ultimo

Le sollecitazioni allo stato limite ultimo, corrispondenti alla combinazione di carico più gravosa sono:

$$\begin{aligned} N_{Sd} &= 0,00 \text{ kN} \\ M_{Sd} &= 31,42 \text{ kNm} \\ V_{Sd} &= 34,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

Si esegue la verifica allo stato limite ultimo delle sezioni tenendo conto che:

$$\begin{aligned} f_{cd} &= 0.85 \times 0.83 R_{ck} / 1.5 = 16.46 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= f_{yk} / 1.15 = 391.30 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

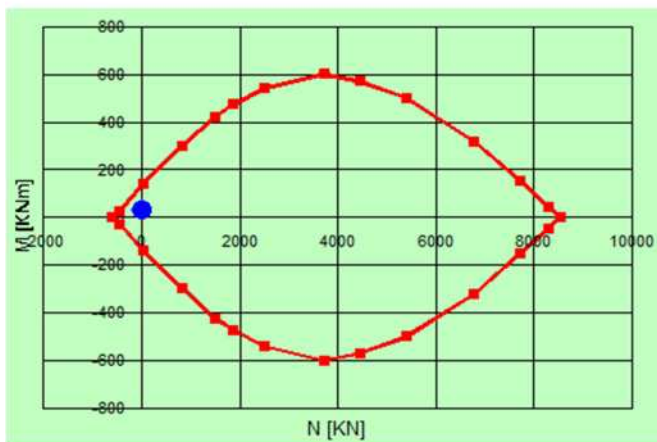
resistenza di calcolo a compressione del cls;  
tensione di calcolo dell'acciaio.

#### Sezione 1-1

#### Verifica

x	4,481 cm
x/d	0,0996
$\varepsilon_c$	1,106 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰

**$M_{Rd}$  131,5 kNm**



La verifica risulta soddisfatta:  **$M_{Rd} = 131,5 \text{ kNm} > M_{Sd} = 31,42 \text{ kNm}$** .

### Verifica a taglio allo stato limite ultimo (D.M. 14/01/2008) della sezione 1-1

#### **VERIFICA A TAGLIO - Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio (NTC2008)**

		Sezione 1-1	
Sollecitazione di taglio		$V_{sd}$	<b>34,12</b> kN
Restistenza cubica caratteristica del cls		$R_{ck}$	35 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$	$f_{ck}$	29,1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a compr.	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5$	$f_{cd}$	16,5 N/mm <sup>2</sup>
Larghezza minima della sezione		$b_w$	100 cm
Altezza utile della sezione		$d$	45 cm
Area armature longitudinali		$A_{sl}$	7,70 cm <sup>2</sup>
$k = 1 + (20/d)^{1/2} \leq 2$		$k$	1,67
$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0,02$		$\rho_l$	0,002
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$		$v_{min}$	0,41 N/mm <sup>2</sup>
<u>Resistenza di calcolo del calcestruzzo:</u>			
$V_{Rcd} = [0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1,5 + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d$			153,58 kN
$V_{Rcd,min} = (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d$			182,65 kN

$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; V_{Rcd,min}) = 182,65 \text{ kN} > V_{Sd} = 34,12 \text{ kN}$$

#### **2.2.2 Sezione 2-2**

Le caratteristiche della sezione 2-2 sono di seguito riportate:

$h = 120 \text{ cm}$

$d = 116 \text{ cm}$

$b = 100 \text{ cm}$

$As = As' = 4,5 \phi 14 = 6,93 \text{ cm}^2$

#### **Verifica tensionale**

Si riporta la verifica tensionale per la combinazione di carico SLE RARA caratterizzata dalle seguenti sollecitazioni:

$$N_{Sd} = 20,25 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 19,33 \text{ kNm}$$

Compiendo la verifica tensionale risulta che l'asse neutro si trova a una distanza di 18,92 cm dal lembo compresso della sezione e gli sforzi nei diversi elementi sono pari a:

$$\sigma_c = \frac{M}{I_{nn}} x = 0,21 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,6 f_{ck} = 16,8 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{nn}} (d - x) = 11,76 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,8 f_{yk} = 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

#### **Verifica allo stato limite ultimo**

Le sollecitazioni allo stato limite ultimo, corrispondenti alla combinazione di carico più gravosa, sono:

$$N_{Sd} = 0,00 \text{ kN (a favore di sicurezza)}$$

$$M_{Sd} = 45,85 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = 32,42 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica allo stato limite ultimo delle sezioni tenendo conto che:

$$f_{cd} = 0.85 \times 0.83 R_{ck} / 1.5 = 16.46 \text{ N/mm}^2$$

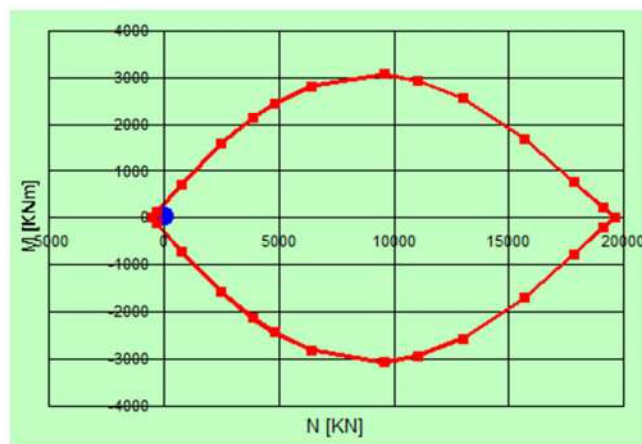
$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391.30 \text{ N/mm}^2$$

resistenza di calcolo a compressione del cls;  
tensione di calcolo dell'acciaio.

**Sezione 2-2**

**Verifica**

x	6,107 cm
x/d	0,0527
$\varepsilon_c$	0,5557 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b><math>M_{Rd}</math></b>	<b>308,3 kNm</b>



La verifica risulta soddisfatta:  $M_{Rd} = 308,3 \text{ kNm} > M_{Sd} = 45,85 \text{ kNm}$ .

**Verifica a taglio allo stato limite ultimo (D.M. 14/01/2008) della sezione 2-2**

**VERIFICA A TAGLIO - Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio (NTC2008)**

Sollecitazione di taglio

Restistenza cubica caratteristica del cls

Resistenza cilindrica caratteristica

Resistenza di progetto a compr.

Larghezza minima della sezione

Altezza utile della sezione

Area armature longitudinali

$$k = 1 + (20/d)^{1/2} \leq 2$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$$

$$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5$$

Sezione 2-2		
$V_{sd}$	<b>32,42</b>	kN
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	29,1	N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd}$	16,5	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	116	cm
$A_{sl}$	6,93	cm <sup>2</sup>
$k$	1,42	
$\rho_l$	0,001	
$v_{min}$	0,32	N/mm <sup>2</sup>

Resistenza di calcolo del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = [0,18 k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} / 1,5 + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$$

$$V_{Rcd,min} = (v_{min} + 0,15\sigma_{cp}) b_w d$$

236,71 kN

368,42 kN

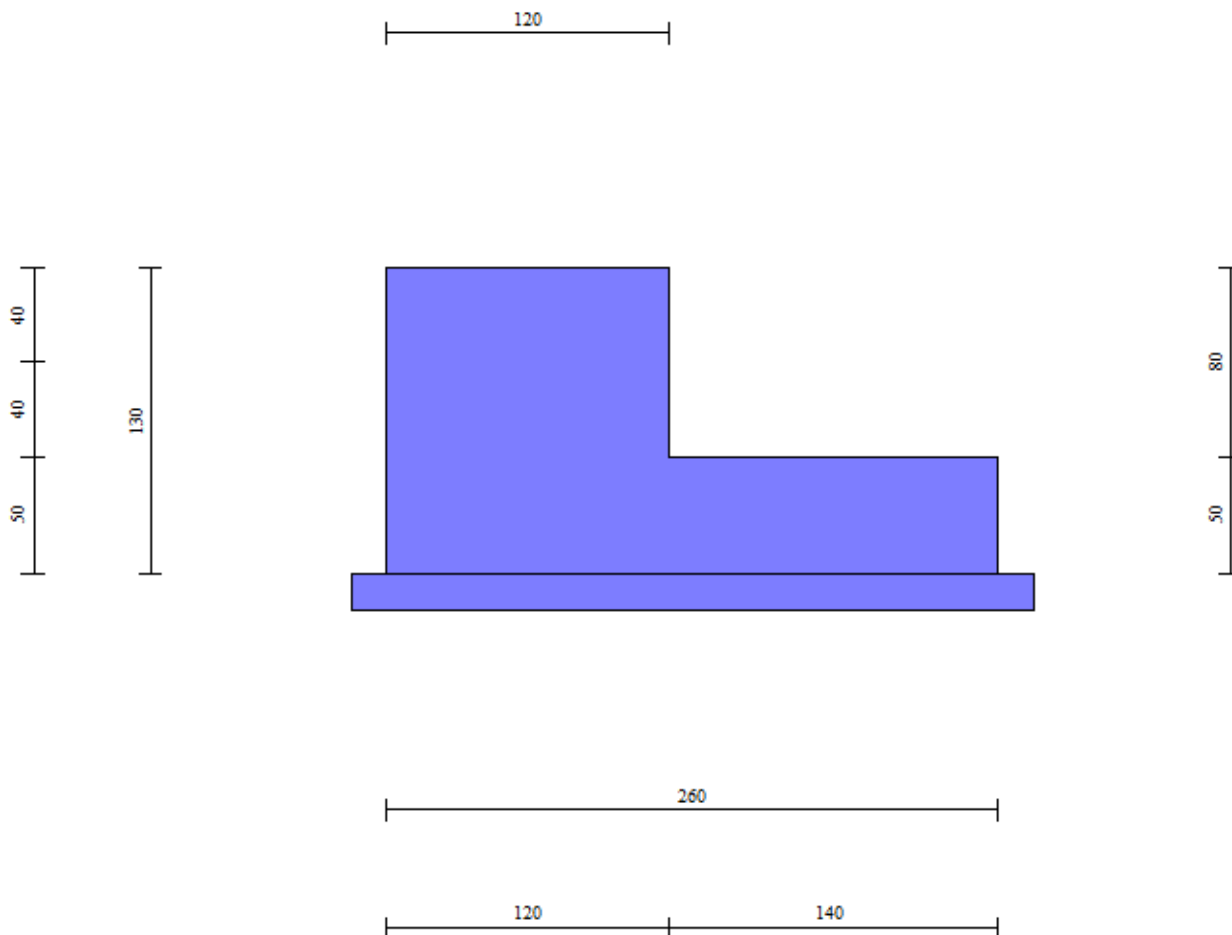
$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; V_{Rcd,min}) = 368,42 \text{ kN} > V_{Sd} = 32,42 \text{ kN}$$

### 3. FONDAZIONE H=1,00 m

Nel seguito, si riportano le verifiche geotecniche e strutturali relative alla soluzione progettuale della *fondazione* con altezza cordolo di 1,00m.

#### 3.1 Caratteristiche geometriche

In figura, è rappresentata una schematizzazione della parte di fondazione considerata nelle verifiche. Come si può notare, solo i primi 80 cm di cordolo sono stati modellati in MAX, i restanti 20 cm in sommità sono stati invece conteggiati come sovraccarico permanente.



#### Geometria paramento e fondazione

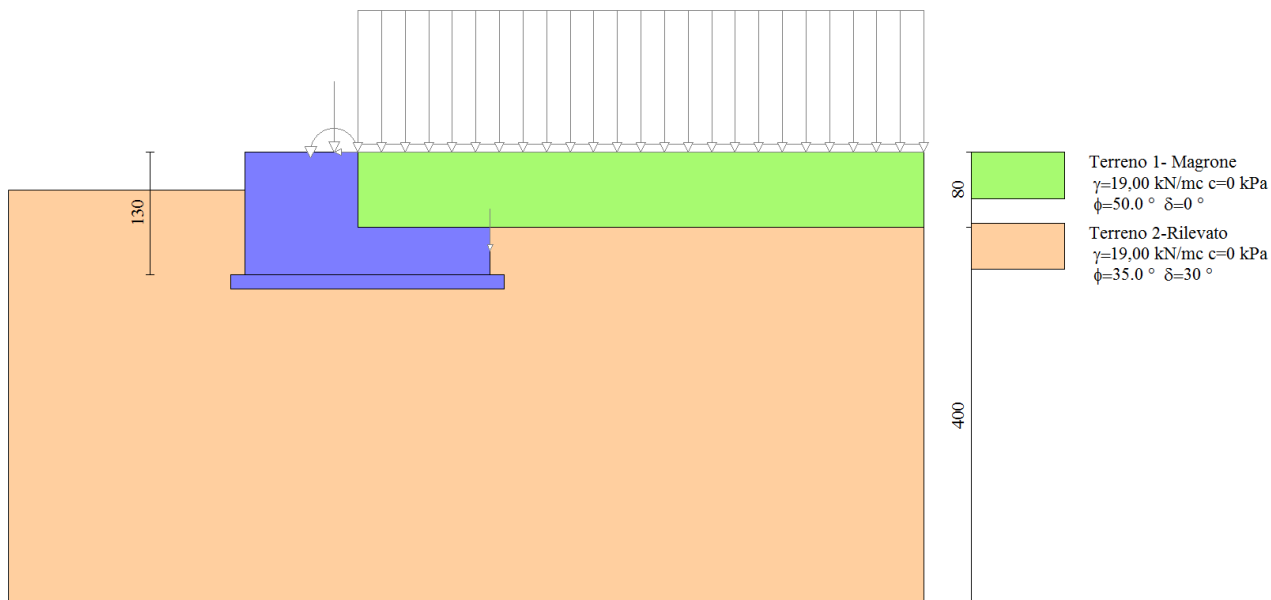
Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	0,80	[m]
Altezza paramento libero	0,40	[m]
Spessore in sommità	1,20	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,20	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

#### Fondazione

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,00	[m]

Lunghezza mensola di monte	1,40	[m]
Lunghezza totale	2,60	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,50	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

### 3.2 Stratigrafia del terreno



Come si nota in figura, per tener conto della presenza di magrone, piuttosto che di rilevato, a monte della fondazione, l'angolo di attrito è stato assunto pari a 50°. Tale scelta, infatti, porta a un abbattimento della spinta e, quindi, ad una modellazione più conforme con la realtà.

### 3.3 Condizioni di carico

In corrispondenza della sezione di fondazione da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente in legno di altezza 4,85 m con interasse montante di 2,66 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità della fondazione si è tenuto conto di un'altezza montante di 4,50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA ALLA FONDAZIONE</b>						
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o" "						
		(x,y)	Sollecitazioni			
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,850	1		1,07	0,91
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,850	1		1,79	1,53
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,850	1		1,28	1,09
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,650	1		0,24	0,16
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	0,055	1		1,24	0,07
6.	Cordolo	0,350	1		5,63	1,97
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,509</b>		<b>-</b>	<b>11,25</b>	<b>5,73</b>
<hr/>						
		(x,y)				
		y'' (m)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,69</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>-</b>	<b>± 26,09</b>
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base della fondazione (brip = 0,5+2,30*2)	<b>1,00</b>	<b>1</b>	<b>19,61</b>		<b>19,61</b>

Simbologia e convenzioni di segno adottate

3 FONDAZIONE H=1,00 m

3.2 Stratigrafia del terreno



Carichi verticali positivi verso il basso.  
 Carichi orizzontali positivi verso sinistra.  
 Momento positivo senso antiorario.

X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]  
 F<sub>x</sub> Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]  
 F<sub>y</sub> Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]  
 M Momento espresso in [kNm]  
 X<sub>i</sub> Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]  
 X<sub>f</sub> Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]  
 Q<sub>i</sub> Intensità del carico per x=X<sub>i</sub> espressa in [kN/m]  
 Q<sub>f</sub> Intensità del carico per x=X<sub>f</sub> espressa in [kN/m]  
 D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati dal cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	11,250	5,730				

*Attrito fondazione-magrone:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	1,40; -1,05	0,0000	6,8000	0,0000				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	1,200	1,200

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

*Azione eccezionale d'urto:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	19,61	0,000	19,61				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	26,090				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-26,09				

Si precisa che, per le verifiche geotecniche, la forza d'urto è stata ripartita fino alla base della fondazione al fine di cogliere l'effettivo comportamento della struttura nei confronti dello scorrimento, carico limite, ribaltamento e stabilità globale ( $l_{RIP} = 0.50+2*2.30 = 5.10$  m). Per le verifiche strutturali, invece, la forza d'urto è stata ripartita fino alla sezione di verifica, ovvero la base del cordolo (si rimanda al *paragrafo 2.2.2*).

**3.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**3.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		4.480		19.273			
2 - STR (A1-M1-R3)		9.050		17.383			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	3.980		26.081			
<b>4 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>3.250</b>		<b>10.647</b>			
5 - STR (A1-M1-R3)		18.260		14.977			
6 - STR (A1-M1-R3)	H - V	3.727		27.439			
7 - STR (A1-M1-R3)		5.181		17.652			
8 - STR (A1-M1-R3)		4.672		19.487			
9 - STR (A1-M1-R3)		4.989		17.475			
10 - STR (A1-M1-R3)		10.338		16.597			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
11 - STR (A1-M1-R3)		9.403		16.427			
12 - STR (A1-M1-R3)		9.986		17.522			
13 - STR (A1-M1-R3)		3.972		11.538			
14 - STR (A1-M1-R3)		3.448		11.816			
15 - STR (A1-M1-R3)		3.774		10.661			
16 - STR (A1-M1-R3)		21.530		15.589			
17 - STR (A1-M1-R3)		19.155		14.215			
18 - STR (A1-M1-R3)		20.635		16.488			
<b>19 - GEO (A2-M2-R2)</b>					<b>2.967</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					2.967		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.521		
22 - GEO (A2-M2-R2)					5.965		
23 - GEO (A2-M2-R2)					5.965		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				3.356		
25 - EQU			4.326				
26 - EQU			16.008				
27 - EQU	H + V		9.099				
<b>28 - EQU</b>			<b>1.841</b>				
29 - EQU			15.099				
30 - EQU	H - V		6.484				
<b>31 - ECC</b>		<b>2.504</b>	2.537	11.520	7.456		

### 3.6 Opzioni di calcolo

#### Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β <sub>m</sub>	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico.**

### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

### Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

## 3.7 Verifiche geotecniche

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

### 3.7.1 Verifica a scorrimento

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 31**.

#### Combinazione n° 31 - ECC

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
31	Spinta statica	3,42	22,17	3,17	1,29	1,40	-0,92
	Peso/Inerzia muro			0,00	56,50/0,00	-0,20	-0,77
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	22,96/0,00	0,70	-0,40

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Risultante forze sul muro			19,61	18,05	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
31 - ECC	57,04	0,00	0,00	--	--	57,04	22,78	<b>2.504</b>

**3.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 4** è risultata la più gravosa.

**Combinazione n° 4 – STR(A1-M1-R3)**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- lc Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
4	Spinta statica	4,45	22,17	4,12	1,68	1,40	-0,92
	Peso/inerzia muro			0,00	56,50/0,00	-0,20	-0,77
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	23,46/0,00	0,70	-0,40

3 FONDAZIONE H=1,00 m

3.7 Verifiche geotecniche

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Risultante forze sul muro			14,55	23,46	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
4 - STR (A1-M1-R3)	105,11	1119,05	799,32	<b>10.647</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - g<sub>c</sub>, g<sub>q</sub>, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - b<sub>c</sub>, b<sub>q</sub>, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - p<sub>c</sub>, p<sub>q</sub>, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	N <sub>c</sub> N <sub>q</sub> N <sub>γ</sub>	i <sub>c</sub> i <sub>q</sub> i <sub>γ</sub>	d <sub>c</sub> d <sub>q</sub> d <sub>γ</sub>	g <sub>c</sub> g <sub>q</sub> g <sub>γ</sub>	b <sub>c</sub> b <sub>q</sub> b <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub> s <sub>q</sub> s <sub>γ</sub>	p <sub>c</sub> p <sub>q</sub> p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
4	46.124 33.296 48.029	0.673 0.682 0.561	1.138 1.088 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.972	0,90	1,44 2,50	19,00	35.00	0

**3.7.4 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti. Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

Combinazione n° 28 - EQU

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
attrito fondazione-magrone	0.90	--	Favorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
28	Spinta statica	4,7736	0,00	1,3851	0,00	1,40	-0,91
	Peso/Inerzia muro			0,00	50,85/0,00	-0,20	-0,77
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	20,66/0,00	0,70	-0,40
	Risultante forze sul muro			14,55	18,50	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
25 - EQU	206,45	47,73	<b>4.326</b>

**3.7.5 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
attrito fondazione-	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
magrone			
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,82; 1,84	3,85	<b>2.967</b>

Simbologia adottata

- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	1,00	7,12	2,58 - 0,26	56.873	43.634	0	0,0	
2	2,81	7,12	0,26	51.357	43.634	0	0,0	
3	4,28	7,12	0,26	45.462	29.256	0	0,0	
4	5,49	7,12	0,26	40.139	29.256	0	0,0	
5	6,88	13,92	0,26	35.208	29.256	0	0,0	
6	8,12	7,12	0,26	30.564	29.256	0	0,0	
7	8,83	7,12	0,26	26.134	29.256	0	0,0	
8	9,41	7,12	0,26	21.867	29.256	0	0,0	
9	9,88	7,12	0,26	17.725	29.256	0	0,0	
10	10,42	6,11	0,26	13.677	29.256	0	0,0	
11	11,77	11,25	0,26	9.698	29.256	0	0,0	
12	11,94	0,00	0,26	5.766	29.256	0	0,0	
13	12,03	0,00	0,26	1.862	29.256	0	0,0	
14	12,03	0,00	0,26	-2.035	29.256	0	0,0	
15	9,70	0,00	0,26	-5.940	29.256	0	0,0	
16	7,73	0,00	0,26	-9.874	29.256	0	0,0	
17	7,45	0,00	0,26	-13.856	29.256	0	0,0	
18	7,08	0,00	0,26	-17.907	29.256	0	0,0	
19	6,61	0,00	0,26	-22.054	29.256	0	0,0	
20	6,03	0,00	0,26	-26.327	29.256	0	0,0	
21	5,32	0,00	0,26	-30.765	29.256	0	0,0	
22	4,47	0,00	0,26	-35.421	29.256	0	0,0	

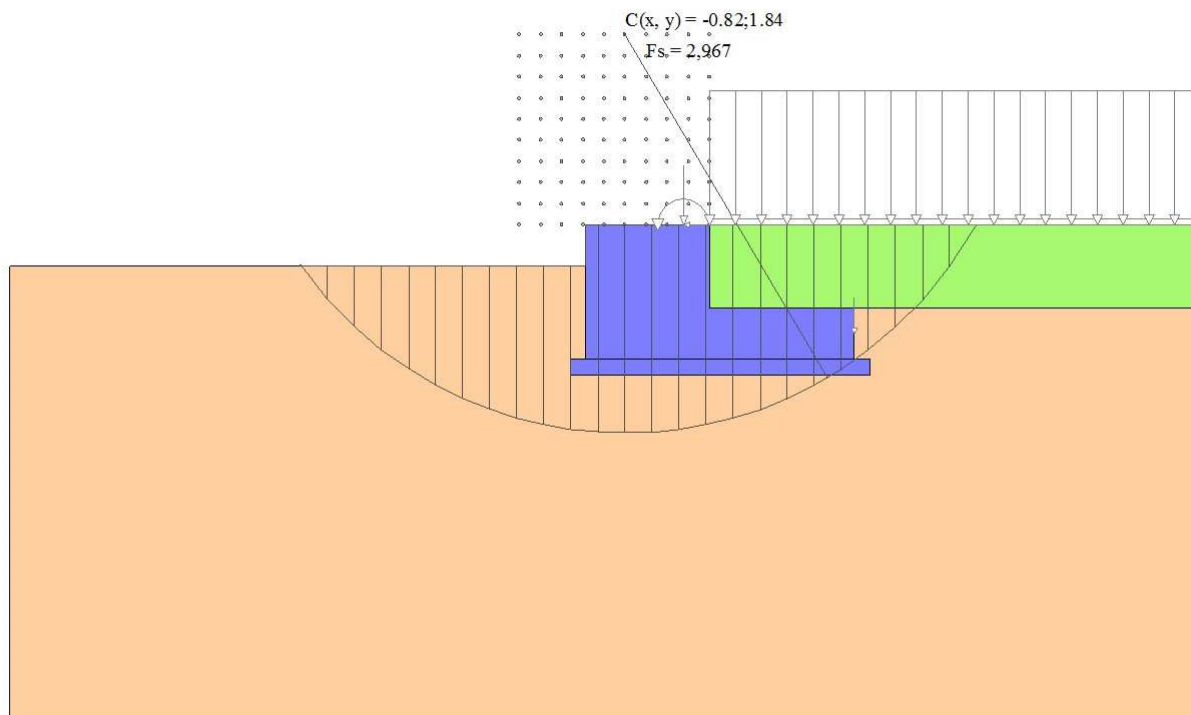
3 FONDAZIONE H=1,00 m

3.7 Verifiche geotecniche



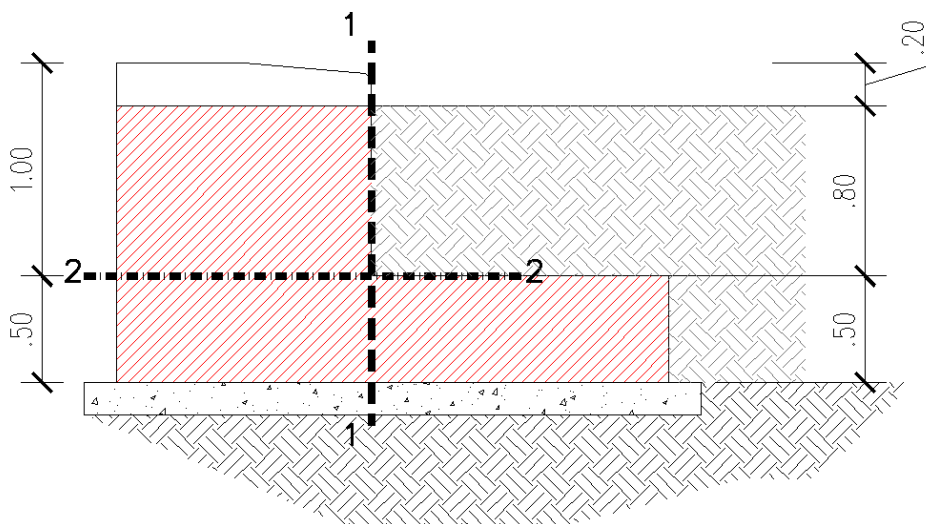
n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
23	3,45	0,00	0,26	-40.366	29.256	0	0,0	
24	2,23	0,00	0,26	-45.710	29.256	0	0,0	
25	0,74	0,00	-3,96 - 0,26	-50.294	29.256	0	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



### 3.8 Verifiche strutturali

Si riportano le verifiche delle sezioni 1-1 e 2-2, evidenziate in figura.



### 3.8.1 Sezione 1-1

Le caratteristiche della sezione 1-1 sono di seguito riportate:

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$d = 45 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$A_s = A_{s'} = 5\phi 14 = 7.70 \text{ cm}^2$$

#### Verifica tensionale

Si riporta la verifica tensionale per la combinazione SLE RARA più gravosa, a cui corrispondono i seguenti valori di sollecitazione:

$$N_{sd} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 20,36 \text{ kNm}$$

Compiendo la verifica tensionale risulta che l'asse neutro si trova a una distanza di 8,68 cm dal lembo compresso della sezione e gli sforzi nei diversi elementi sono pari a:

$$\sigma_c = \frac{M}{I_{nn}} x = 1,01 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,6 f_{ck} = 16,8 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{nn}} (d - x) = 63,12 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,8 f_{yk} = 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

#### Verifica allo stato limite ultimo

Le sollecitazioni allo stato limite ultimo, corrispondenti alla combinazione di carico più gravosa sono:

$$N_{sd} = 0,00 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 42,10 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 47,35 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica allo stato limite ultimo delle sezioni tenendo conto che:

$$f_{cd} = 0.85 \times 0.83 R_{ck} / 1.5 = 16.46 \text{ N/mm}^2$$

resistenza di calcolo a compressione del cls;

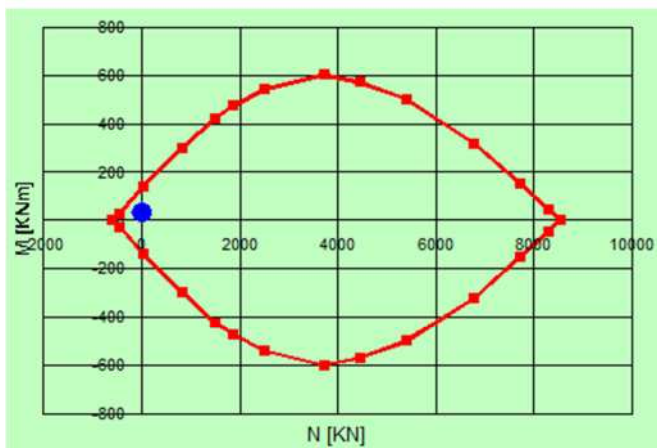
$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391.30 \text{ N/mm}^2$$

tensione di calcolo dell'acciaio.

**Sezione 1-1**

**Verifica**

x	4,481 cm
x/d	0,0996
$\varepsilon_c$	1,106 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b><math>M_{r,d}</math></b>	<b>131,5 kNm</b>



La verifica risulta soddisfatta:  $M_{Rd} = 131,6 \text{ kNm} > M_{Sd} = 42,10 \text{ kNm}$ .

**Verifica a taglio allo stato limite ultimo (D.M. 14/01/2008) della sezione 1-1**

		Sezione 1-1	
Sollecitazione di taglio		$V_{sd}$	<b>47,35</b> kN
Resistenza cubica caratteristica del cls		$R_{ck}$	35 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$	$f_{ck}$	29,1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a compr.	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5$	$f_{cd}$	16,5 N/mm <sup>2</sup>
Larghezza minima della sezione		$b_w$	100 cm
Altezza utile della sezione		$d$	45 cm
Area armature longitudinali		$A_{sl}$	7,70 cm <sup>2</sup>
$k = 1 + (20/d)^{1/2} \leq 2$		$k$	1,67
$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0,02$		$\rho_l$	0,002
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$		$v_{min}$	0,41 N/mm <sup>2</sup>
<u>Resistenza di calcolo del calcestruzzo:</u>			
$V_{Rcd} = [0,18 k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} / 1,5 + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$			153,58 kN
$V_{Rcd,min} = (v_{min} + 0,15\sigma_{cp}) b_w d$			182,65 kN

$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; V_{Rcd,min}) = 182,65 \text{ kN} > V_{Sd} = 47,35 \text{ kN}$$

**3.8.2 Sezione 2-2**

Le caratteristiche della sezione 2-2 sono di seguito riportate:

h = 120 cm  
d = 116 cm

b = 100 cm  
As = As' = 4,5 φ14 = 6.93 cm<sup>2</sup>

### Verifica tensionale

Si riporta la verifica tensionale per la combinazione di carico SLE RARA caratterizzata dalle seguenti sollecitazioni:

$$N_{Sd} = 35,25 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 23,22 \text{ kNm}$$

Compiendo la verifica tensionale risulta che l'asse neutro si trova a una distanza di 18,92 cm dal lembo compresso della sezione e gli sforzi nei diversi elementi sono pari a:

$$\sigma_c = \frac{M}{I_{nn}} x = 0,23 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,6 f_{ck} = 16,8 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{nn}} (d - x) = 8,18 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 0,8 f_{yk} = 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Verifica allo stato limite ultimo

Le sollecitazioni allo stato limite ultimo, corrispondenti alla combinazione di carico più gravosa, sono:

$$N_{Sd} = 0,00 \text{ kN (a favore di sicurezza)}$$

$$M_{Sd} = 53,45 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = 25,32 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica allo stato limite ultimo delle sezioni tenendo conto che:

$$f_{cd} = 0.85 \times 0.83 R_{ck} / 1.5 = 16.46 \text{ N/mm}^2$$

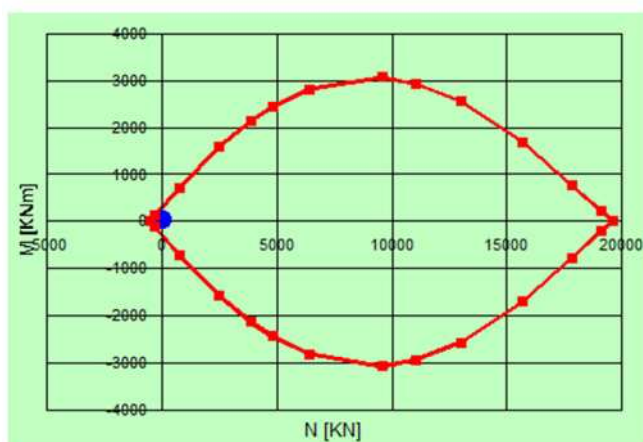
$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391.30 \text{ N/mm}^2$$

resistenza di calcolo a compressione del cls;  
tensione di calcolo dell'acciaio.

#### Sezione 2-2

#### Verifica

x	6,107 cm
x/d	0,0527
ε <sub>c</sub>	0,5557 ‰
ε <sub>s</sub>	10 ‰
<b>M<sub>r,d</sub></b>	<b>308,3 kNm</b>



La verifica risulta soddisfatta:  $M_{Rd} = 308 \text{ kNm} > M_{Sd} = 53,45 \text{ kNm}$ .

**Verifica a taglio allo stato limite ultimo (D.M. 14/01/2008) della sezione 2-2**

		Sezione 2-2	
Sollecitazione di taglio		$V_{sd}$	<b>25,32</b> kN
Resistenza cubica caratteristica del cls		$R_{ck}$	35 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$	$f_{ck}$	29,1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a compr.	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5$	$f_{cd}$	16,5 N/mm <sup>2</sup>
Larghezza minima della sezione		$b_w$	100 cm
Altezza utile della sezione		$d$	116 cm
Area armature longitudinali		$A_{sl}$	6,93 cm <sup>2</sup>
$k = 1 + (20/d)^{1/2} \leq 2$		$k$	1,42
$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0,02$		$\rho_l$	0,001
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$		$v_{min}$	0,32 N/mm <sup>2</sup>

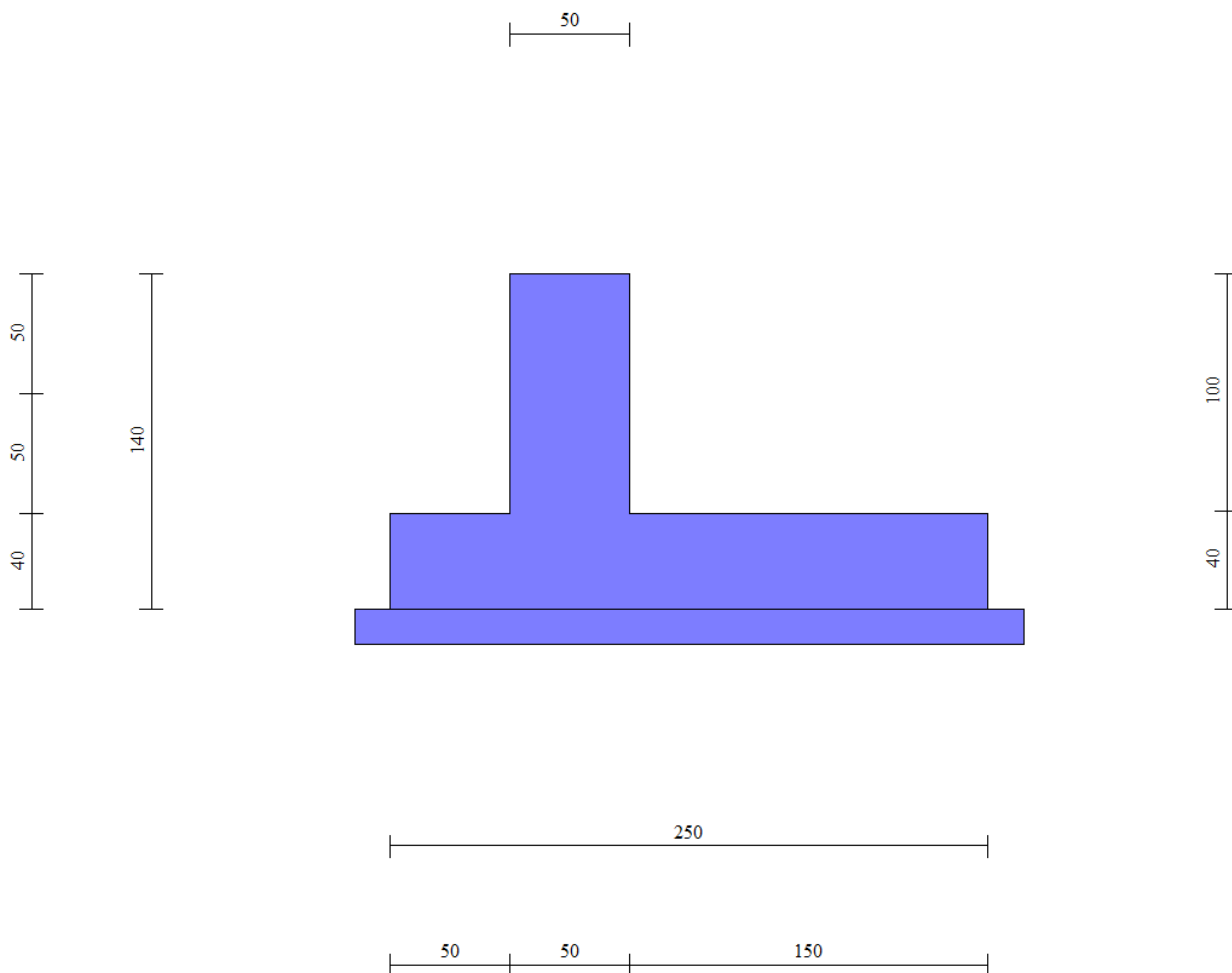
Resistenza di calcolo del calcestruzzo:

$V_{Rcd} = [0,18 k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} / 1,5 + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$	236,71	kN
$V_{Rcd,min} = (v_{min} + 0,15\sigma_{cp}) b_w d$	368,42	kN

$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; V_{Rcd,min}) = 363,46 \text{ kN} > V_{Sd} = 25,32 \text{ kN}$$

## 4. MURO DI SOSTEGNO $1,01 < H \leq 1,50m$

### 4.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni  $1,20 \times 0,50m$  non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurvia; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	1,00	[m]
Altezza paramento libero	0,50	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

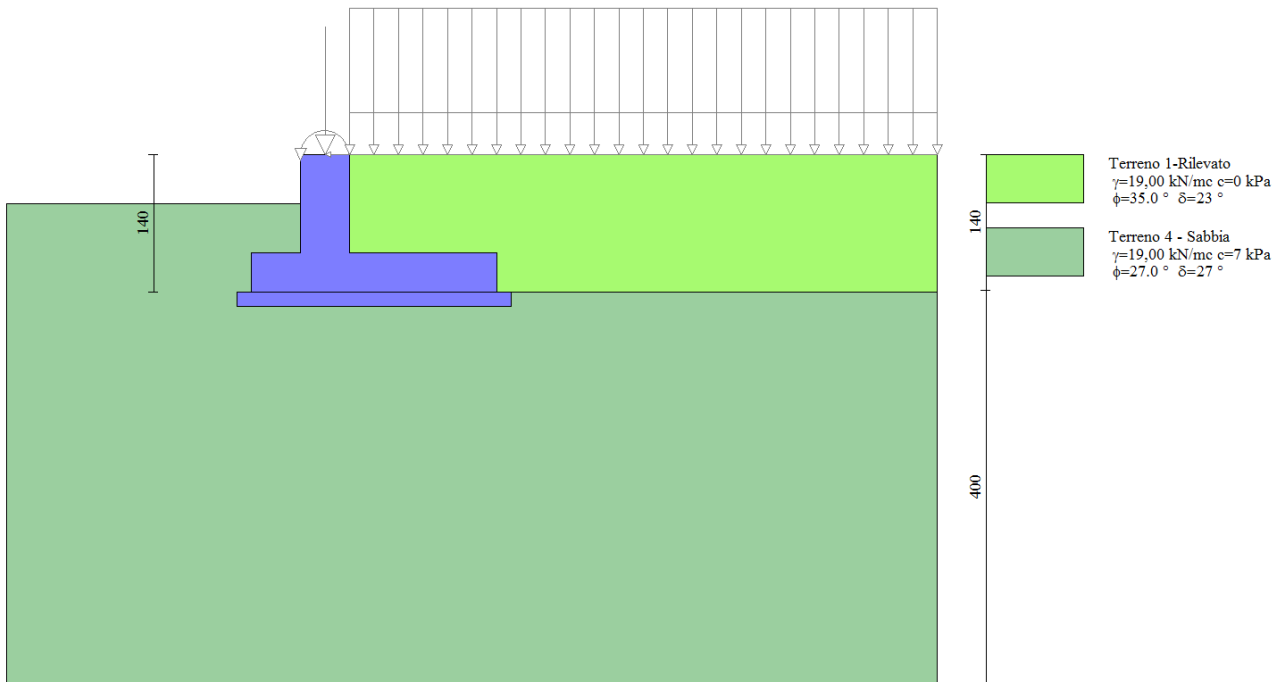
##### Fondazione

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]

Lunghezza mensola di monte	1,50	[m]
Lunghezza totale	2,50	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,40	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

#### 4.2 Stratigrafia del terreno

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



#### 4.3 Condizioni di carico

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=1,50m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>						
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto " o " "						
		(x,y)	Sollecitazioni			
		<b>x'' (m)</b>	<b>γ</b>	<b>H (kN)</b>	<b>N (kN)</b>	<b>M (kNm)</b>
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28	0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24	0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24	-0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		<b>-</b>	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>

		(x,y)			
		<b>y'' (m)</b>	<b>H (kN)</b>	<b>N (kN)</b>	<b>M (kNm)</b>
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>- ± 29,00</b>
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+1*2)	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>19,61</b>	<b>25,49</b>

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

- X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
- F<sub>x</sub> Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
- F<sub>y</sub> Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
- M Momento espresso in [kNm]
- X<sub>i</sub> Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
- X<sub>f</sub> Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
- Q<sub>i</sub> Intensità del carico per x=X<sub>i</sub> espressa in [kN/m]
- Q<sub>f</sub> Intensità del carico per x=X<sub>f</sub> espressa in [kN/m]
- D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	M [kNm]	X <sub>i</sub> [m]	X <sub>f</sub> [m]	Q <sub>i</sub> [kN]	Q <sub>f</sub> [kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione Ψ<sub>0</sub>=0.00 - Ψ<sub>1</sub>=0.75 - Ψ<sub>2</sub>=0.00

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M	X <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000



**Condizione n° 4**

Azione eccezionale d'urto:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	19,610	0,000	25,490				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,700	0,000	-29,00				

**4.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**4.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		3.058		6.741			
2 - STR (A1-M1-R3)		5.077		7.191			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.820		10.395			
<b>4 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>2.442</b>		<b>3.934</b>			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
5 - STR (A1-M1-R3)		8.604		9.043			
6 - STR (A1-M1-R3)	H - V	2.682		10.689			
7 - STR (A1-M1-R3)		3.442		6.556			
8 - STR (A1-M1-R3)		3.224		6.829			
9 - STR (A1-M1-R3)		3.276		6.486			
10 - STR (A1-M1-R3)		5.651		6.707			
11 - STR (A1-M1-R3)		5.325		6.781			
12 - STR (A1-M1-R3)		5.403		7.101			
13 - STR (A1-M1-R3)		2.887		4.590			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.634		4.495			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.695		4.135			
16 - STR (A1-M1-R3)		9.845		7.822			
17 - STR (A1-M1-R3)		9.140		8.473			
18 - STR (A1-M1-R3)		9.309		8.307			
19 - GEO (A2-M2-R2)					<b>2.644</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					2.644		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.129		
22 - GEO (A2-M2-R2)					4.904		
23 - GEO (A2-M2-R2)					4.904		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				3.100		
25 - EQU			3.574				
26 - EQU			10.257				
27 - EQU	H + V		6.578				
<b>28 - EQU</b>			<b>1.595</b>				
29 - EQU			10.097				
30 - EQU	H - V		4.969				
<b>31 - ECC</b>		<b>1.947</b>	2.054	4.332	6.130		

#### 4.6 Opzioni di calcolo

##### Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>q</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>q</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

**4.7 Verifiche geotecniche**

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

**4.7.1 Verifica a scorrimento**

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 31**.

Combinazione n° 31 - ECC

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
----	---	---	---	----------------	----------------	----------------	----------------

		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
31	Spinta statica	6,81	23,33	6,25	2,70	1,50	-0,86
	Peso/Inerzia muro			0,00	37,50/0,00	0,08	-0,97
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	38,40/0,00	0,75	-0,50
	Risultante forze sul muro			19,61	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
31 - ECC	50,36	0,00	0,00	--	--	50,36	25,86	<b>1.947</b>

**4.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 4** è risultata la più gravosa.

**Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
4	Spinta statica	8,85	23,33	8,13	3,51	1,50	-0,86
	Peso/Inerzia muro			0,00	37,50/0,00	0,08	-0,97

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	41,37/0,00	0,75	-0,50
	Risultante forze sul muro			14,55	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
4 - STR (A1-M1-R3)	108,70	427,65	305,46	<b>3.934</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - Nc, Nq, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - ic, iq, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - dc, dq, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - gc, gq, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - bc, bq, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - sc, sq, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - pc, pq, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub>, viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq N <sub>γ</sub>	ic iq i <sub>γ</sub>	dc dq d <sub>γ</sub>	gc gq g <sub>γ</sub>	bc bq b <sub>γ</sub>	sc sq s <sub>γ</sub>	pc pq p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
4	23.942 13.199 14.470	0.602 0.632 0.500	1.144 1.109 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.976	0,90	1,18 2,04	19,00	27,00	7

**4.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

**Combinazione n° 28 - EQU**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
28	Spinta statica	8,82	19,04	8,34	2,88	1,50	-0,87
	Peso/Inerzia muro			0,00	33,75/0,00	0,08	-0,97
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	34,56/0,00	0,75	-0,50
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
28 - EQU	120,94	75,85	<b>1.595</b>

**4.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,80; 1,60	3,79	<b>2.644</b>

Simbologia adottata

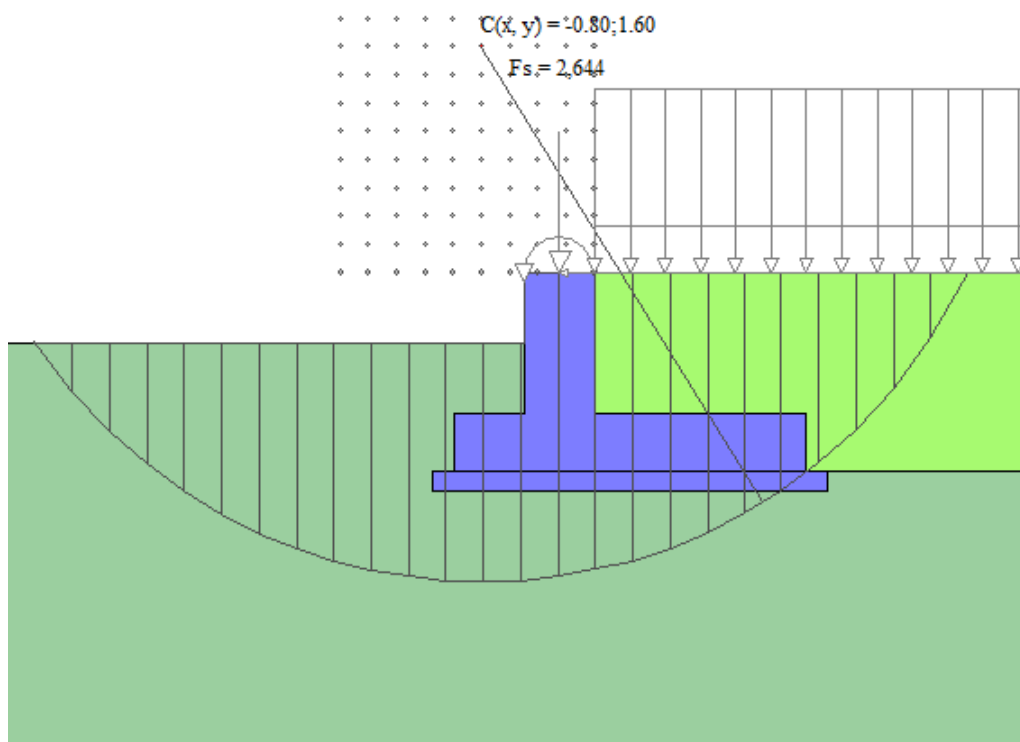
- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	1,15	8,62	2,65 - 0,26	60.023	29.256	0	0,0	
2	3,21	8,62	0,26	53.723	29.256	0	0,0	
3	4,84	8,62	0,26	47.389	29.256	0	0,0	
4	6,15	8,62	0,26	41.754	29.256	0	0,0	
5	7,66	8,62	0,26	36.583	22.177	6	0,0	
6	8,78	8,62	0,26	31.741	22.177	6	0,0	
7	9,53	8,62	0,26	27.143	22.177	6	0,0	
8	10,15	8,62	0,26	22.728	22.177	6	0,0	
9	10,65	8,62	0,26	18.452	22.177	6	0,0	
10	11,04	8,62	0,26	14.281	22.177	6	0,0	
11	12,90	20,32	0,26	10.186	22.177	6	0,0	
12	12,69	0,00	0,26	6.143	22.177	6	0,0	
13	9,10	0,00	0,26	2.131	22.177	6	0,0	
14	11,15	0,00	0,26	-1.870	22.177	6	0,0	
15	8,38	0,00	0,26	-5.881	22.177	6	0,0	
16	8,20	0,00	0,26	-9.921	22.177	6	0,0	
17	7,92	0,00	0,26	-14.011	22.177	6	0,0	
18	7,53	0,00	0,26	-18.177	22.177	6	0,0	
19	7,04	0,00	0,26	-22.445	22.177	6	0,0	
20	6,43	0,00	0,26	-26.849	22.177	6	0,0	
21	5,68	0,00	0,26	-31.434	22.177	6	0,0	
22	4,79	0,00	0,26	-36.258	22.177	6	0,0	
23	3,72	0,00	0,26	-41.404	22.177	6	0,0	
24	2,42	0,00	0,26	-47.003	22.177	6	0,0	

4 MURO DI SOSTEGNO 1,01<H≤1,50m

4.7 Verifiche geotecniche

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
25	0,82	0,00	-3,97 - 0,26	-52.085	22.177	6	0,0	



Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.

#### 4.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

##### 4.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	26,50	34,45	-10,13	20,88	-40,79	60,02
11	-1,00	32,75	42,58	-5,42	23,22	-44,69	68,83

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	-1,70	47,98	-0,83	12,68
7	0,00	0,00	0,00	-44,17	38,52	-43,73	40,46

4 MURO DI SOSTEGNO 1,01 < H ≤ 1,50m

4.8 Verifiche strutturali



### 4.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente espressa in [kN]
Mu	momento ultimi espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	50	3,39	6,03	-40,79	34,45	-68,19	34,45	1.656
11	100	50	3,39	6,03	-44,69	42,58	-70,02	42,58	1.555

#### Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	40	3,39	6,79	12,68	0,00	47,83	0,00	4.006
7	100	40	3,39	6,79	40,46	0,00	47,83	0,00	1.187

### 4.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

Is	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A <sub>sw</sub>	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V <sub>Rcd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
V <sub>Rsd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
V <sub>Rd</sub>	resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A <sub>sw</sub> >0.0)
V <sub>Rd</sub> =min(V <sub>Rcd</sub> , V <sub>Rsd</sub> ).	
T	taglio agente espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	50	0,00	--	0,00	0,00	191,09	20,88	9.150
11	100	50	0,00	--	0,00	0,00	191,96	23,22	8.266

#### Fondazione

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	40	0,00	--	0,00	0,00	158,24	-47,98	3.298
7	100	40	0,00	--	0,00	0,00	158,24	-44,17	3.582

### 4.8.4 Verifiche delle tensioni SLE

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori, espresso in [cmq]

Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]  
 M momento agente, espressa in [kNm]  
 N sforzo normale agente, espressa in [kN]  
 $\sigma_c$  tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]  
 $\sigma_{fi}$  tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]  
 $\sigma_{fs}$  tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	3,39	6,03	-13,20	26,50	1530 (32)	86229 (32)	50999 (38)
11	100	50	3,39	6,03	-14,93	32,75	1845 (32)	103398 (32)	53962 (38)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	3,39	6,79	6,95	0,00	699 (32)	60205 (32)	2626 (32)
7	100	40	3,39	6,79	-14,75	0,00	1975 (35)	170191 (35)	64979 (36)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	3,39	6,03	7,11	26,50	343 (34)	8328 (34)	3978 (34)
11	100	50	3,39	6,03	8,29	32,75	393 (34)	8721 (34)	4623 (34)

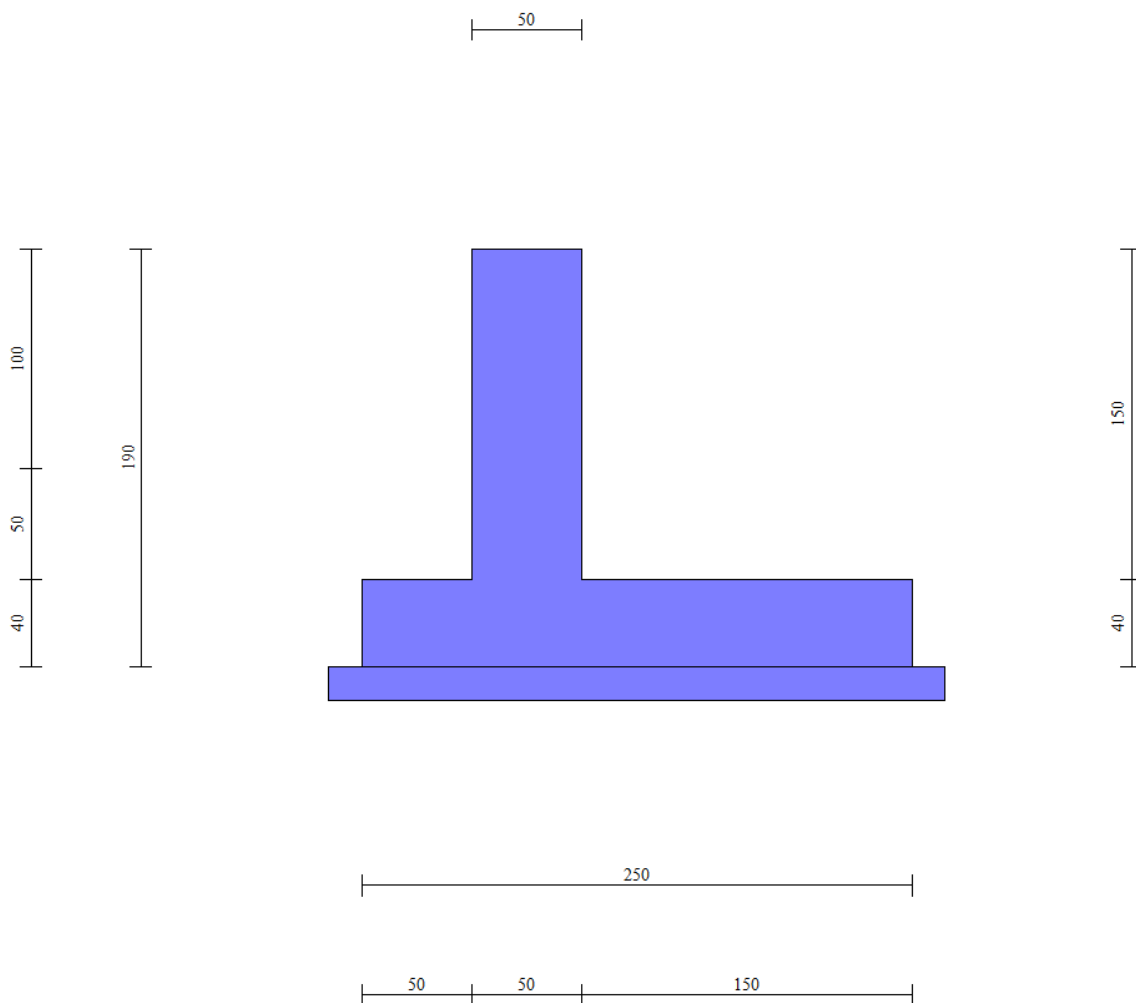
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	3,39	6,79	4,11	0,00	413 (34)	35626 (34)	1554 (34)
7	100	40	3,39	6,79	1,81	0,00	182 (34)	15671 (34)	684 (34)

## 5. MURO DI SOSTEGNO $1,51 < H \leq 2,00\text{m}$

### 5.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni  $1,20 \times 0,50\text{m}$  non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurvia; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	1,50	[m]
Altezza paramento libero	1,00	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

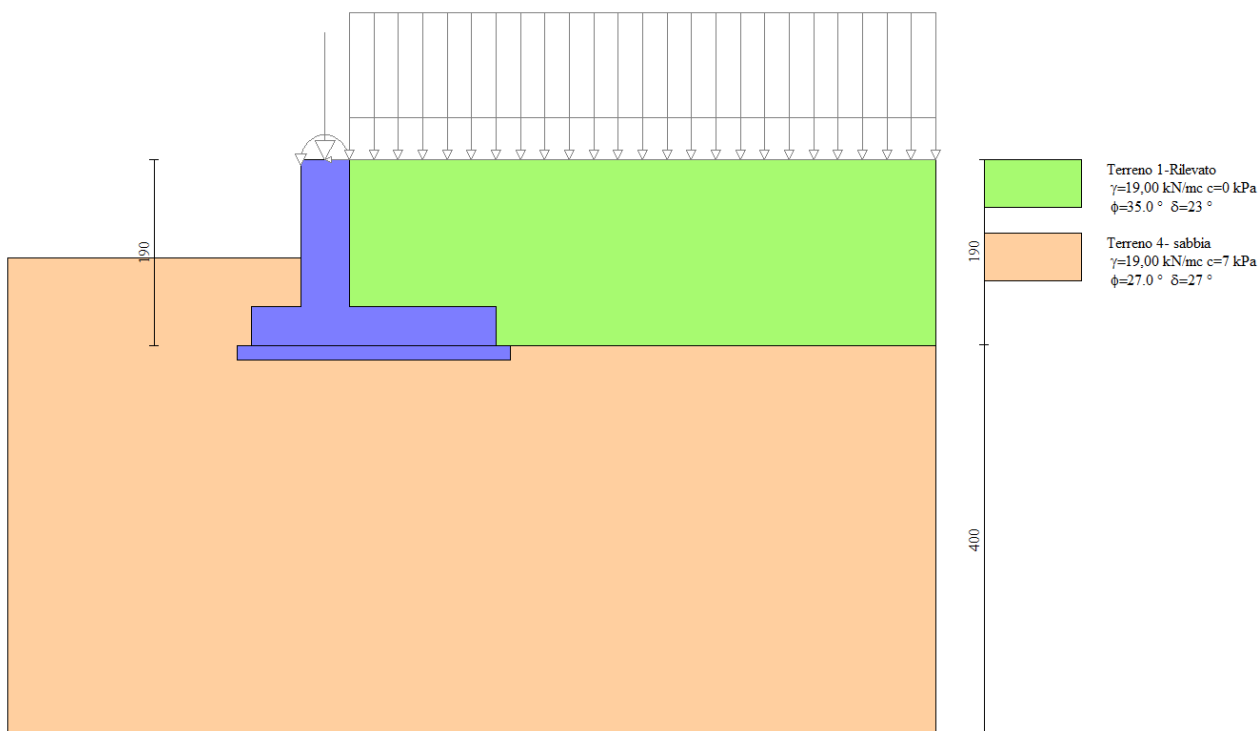
##### Fondazione

Materiale	Cls Armato
-----------	------------

Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	1,50	[m]
Lunghezza totale	2,50	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,40	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

### 5.2 Stratigrafia del terreno

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



### 5.3 Condizioni di carico

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=2,00m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>					
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto " o " "		(x,y)	Sollecitazioni		
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN) M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07 0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79 1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28 0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24 0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24 -0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63 3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		-	<b>20,25 6,84</b>

		(x,y)			
		y'' (m)		H (kN)	N (kN) M (kNm)
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>- ± 29,00</b>
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+1,5*2)	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>16,39</b>	<b>21,31</b>

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

- X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
- F<sub>x</sub> Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
- F<sub>y</sub> Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
- M Momento espresso in [kNm]
- X<sub>i</sub> Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
- X<sub>f</sub> Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
- Q<sub>i</sub> Intensità del carico per x=X<sub>i</sub> espressa in [kN/m]
- Q<sub>f</sub> Intensità del carico per x=X<sub>f</sub> espressa in [kN/m]
- D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

Azione eccezionale d'urto:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	16,390	0,000	21,310				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**5.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**5.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.637		5.313			
2 - STR (A1-M1-R3)		3.837		5.869			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.445		7.752			
<b>4 - STR (A1-M1-R3)</b>		2.376		<b>3.679</b>			
5 - STR (A1-M1-R3)		5.972		8.471			
6 - STR (A1-M1-R3)	H - V	2.332		7.972			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
7 - STR (A1-M1-R3)		3.013		5.230			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.823		5.440			
9 - STR (A1-M1-R3)		2.827		5.127			
10 - STR (A1-M1-R3)		4.337		5.447			
11 - STR (A1-M1-R3)		4.084		5.469			
12 - STR (A1-M1-R3)		4.090		5.840			
13 - STR (A1-M1-R3)		2.845		4.195			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.608		4.205			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.613		3.766			
16 - STR (A1-M1-R3)		6.939		7.094			
17 - STR (A1-M1-R3)		6.450		7.729			
18 - STR (A1-M1-R3)		6.461		7.713			
<b>19 - GEO (A2-M2-R2)</b>					<b>2.223</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					2.223		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.445		
22 - GEO (A2-M2-R2)					3.477		
23 - GEO (A2-M2-R2)					3.477		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.431		
25 - EQU			3.236				
26 - EQU			7.392				
27 - EQU	H + V		5.342				
<b>28 - EQU</b>			<b>1.721</b>				
29 - EQU			8.699				
30 - EQU	H - V		4.231				
<b>31 - ECC</b>		<b>2.295</b>	2.453	4.967	4.346		

**5.6 Opzioni di calcolo**

Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

**5.7 Verifiche geotecniche**

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

**5.7.1 Verifica a scorrimento**

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 31**.

Combinazione n° 31 - ECC

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
----	---	---	---	----------------	----------------	----------------	----------------



		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
31	Spinta statica	11,45	23,33	10,51	4,53	1,50	-1,18
	Peso/Inerzia muro			0,00	43,75/0,00	0,04	-1,29
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	52,65/0,00	0,75	-0,75
	Risultante forze sul muro			16,39	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
31 - ECC	61,75	0,00	0,00	--	--	61,75	26,90	<b>2.295</b>

**5.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 4** è risultata la più gravosa.

**Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
4	Spinta statica	14,88	23,33	13,66	5,89	1,50	-1,18
	Peso/Inerzia muro			0,00	43,75/0,00	0,04	-1,29

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	55,62/0,00	0,75	-0,75
	Risultante forze sul muro			14,55	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
4 - STR (A1-M1-R3)	131,59	484,17	345,83	<b>3.679</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - g<sub>c</sub>, g<sub>q</sub>, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - b<sub>c</sub>, b<sub>q</sub>, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - p<sub>c</sub>, p<sub>q</sub>, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub>, viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	N <sub>c</sub> N <sub>q</sub> N <sub>γ</sub>	i <sub>c</sub> i <sub>q</sub> i <sub>γ</sub>	d <sub>c</sub> d <sub>q</sub> d <sub>γ</sub>	g <sub>c</sub> g <sub>q</sub> g <sub>γ</sub>	b <sub>c</sub> b <sub>q</sub> b <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub> s <sub>q</sub> s <sub>γ</sub>	p <sub>c</sub> p <sub>q</sub> p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
4	23.942 13.199 14.470	0.593 0.623 0.490	1.144 1.109 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.976	0,90	1,33 2,04	19,00	27,00	7

**5.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

**Combinazione n° 28 - EQU**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
28	Spinta statica	15,01	19,04	14,19	4,90	1,50	-1,19
	Peso/Inerzia muro			0,00	39,37/0,00	0,04	-1,29
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	47,39/0,00	0,75	-0,75
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

### Dettagli verifica

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
28 - EQU	152,65	88,69	1.721

#### 5.7.4 Verifica di stabilità globale

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,80; 1,60	4,20	<b>2.223</b>

Simbologia adottata

- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

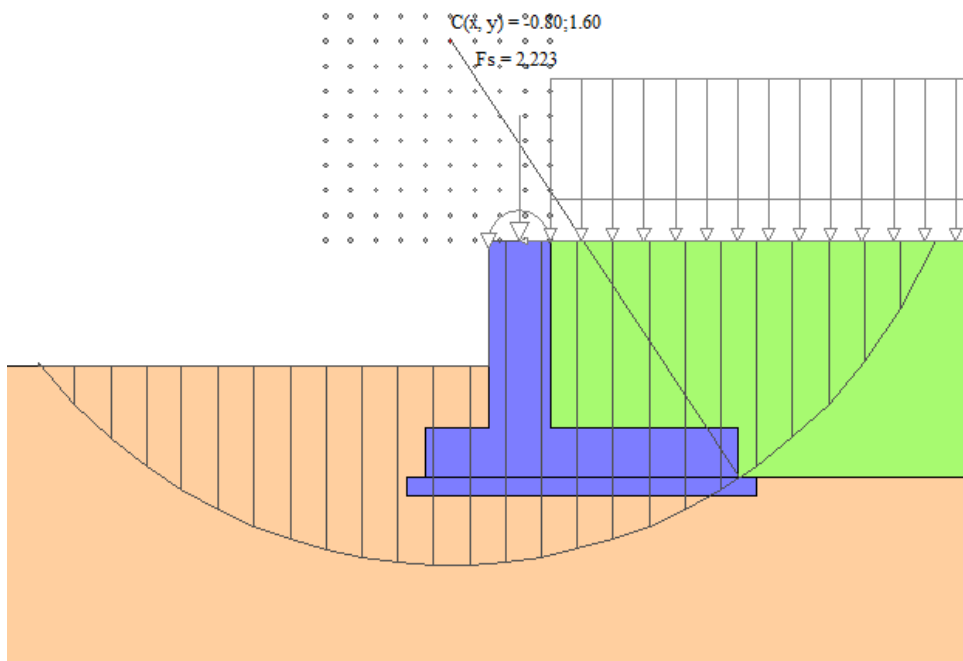
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	1,51	9,39	3,09 - 0,29	62.484	29.256	0	0,0	
2	4,18	9,39	0,29	55.662	29.256	0	0,0	
3	6,24	9,39	0,29	49.168	29.256	0	0,0	
4	7,90	9,39	0,29	43.452	29.256	0	0,0	
5	9,27	9,39	0,29	38.241	29.256	0	0,0	
6	10,74	9,39	0,29	33.384	22.177	6	0,0	
7	12,05	9,39	0,29	28.786	22.177	6	0,0	
8	12,84	9,39	0,29	24.385	22.177	6	0,0	
9	13,49	9,39	0,29	20.133	22.177	6	0,0	
10	14,00	9,39	0,29	15.994	22.177	6	0,0	
11	13,71	6,91	0,29	11.940	22.177	6	0,0	
12	17,27	20,25	0,29	7.946	22.177	6	0,0	
13	13,17	0,00	0,29	3.990	22.177	6	0,0	
14	9,42	0,00	0,29	0.054	22.177	6	0,0	
15	8,82	0,00	0,29	-3.882	22.177	6	0,0	
16	8,52	0,00	0,29	-7.836	22.177	6	0,0	
17	8,24	0,00	0,29	-11.829	22.177	6	0,0	
18	7,85	0,00	0,29	-15.881	22.177	6	0,0	
19	7,34	0,00	0,29	-20.017	22.177	6	0,0	
20	6,70	0,00	0,29	-24.266	22.177	6	0,0	
21	5,91	0,00	0,29	-28.662	22.177	6	0,0	
22	4,97	0,00	0,29	-33.254	22.177	6	0,0	
23	3,83	0,00	0,29	-38.103	22.177	6	0,0	
24	2,47	0,00	0,29	-43.303	22.177	6	0,0	

5 MURO DI SOSTEGNO 1,51<H≤2,00m

5.7 Verifiche geotecniche

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
25	0,82	0,00	-4,11 - 0,29	-47.653	22.177	6	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 5.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 5.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
8	-0,70	29,00	37,70	-10,93	18,47	-43,67	63,37
16	-1,50	39,00	50,70	-3,88	27,95	-49,80	79,50

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	-0,71	54,43	-0,66	14,30
7	0,00	0,00	0,00	-50,89	44,39	-51,84	47,47

### 5.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente espressa in [kN]
- Mu momento ultimi espresso in [kNm]
- Nu sforzo normale ultimo espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
8	100	50	3,39	6,03	-43,67	37,70	-68,92	37,70	1.566
16	100	50	3,39	6,03	-49,80	50,70	-71,85	50,70	1.434

**Fondazione**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	40	3,39	9,42	14,30	0,00	48,13	0,00	3.540
7	100	40	3,39	9,42	47,47	0,00	48,13	0,00	1.014

### 5.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto 'taglio compressione' espressa in [kN]
- V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0)
- V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
8	100	50	0,00	--	0,00	0,00	191,44	18,47	10.364
16	100	50	0,00	--	0,00	0,00	192,82	27,95	6.898

**Fondazione**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	40	0,00	--	0,00	0,00	165,47	-54,43	3.040
7	100	40	0,00	--	0,00	0,00	165,47	-50,89	3.252

### 5.8.4 Verifiche delle tensioni SLE

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]

M momento agente, espressa in [kNm]  
 N sforzo normale agente, espressa in [kN]  
 $\sigma_c$  tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]  
 $\sigma_{fi}$  tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]  
 $\sigma_{fs}$  tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
8	100	50	3,39	6,03	-14,03	29,00	1641 (32)	92055 (32)	53087 (38)
16	100	50	3,39	6,03	-15,23	39,00	2301 (32)	130337 (32)	47674 (38)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	3,39	9,42	8,45	0,00	837 (32)	73312 (32)	3015 (32)
7	100	40	3,39	9,42	-15,87	0,00	2090 (35)	183065 (35)	50913 (36)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
8	100	50	3,39	6,03	7,45	29,00	354 (34)	8046 (34)	4155 (34)
16	100	50	3,39	6,03	10,90	39,00	533 (34)	13668 (34)	6104 (34)

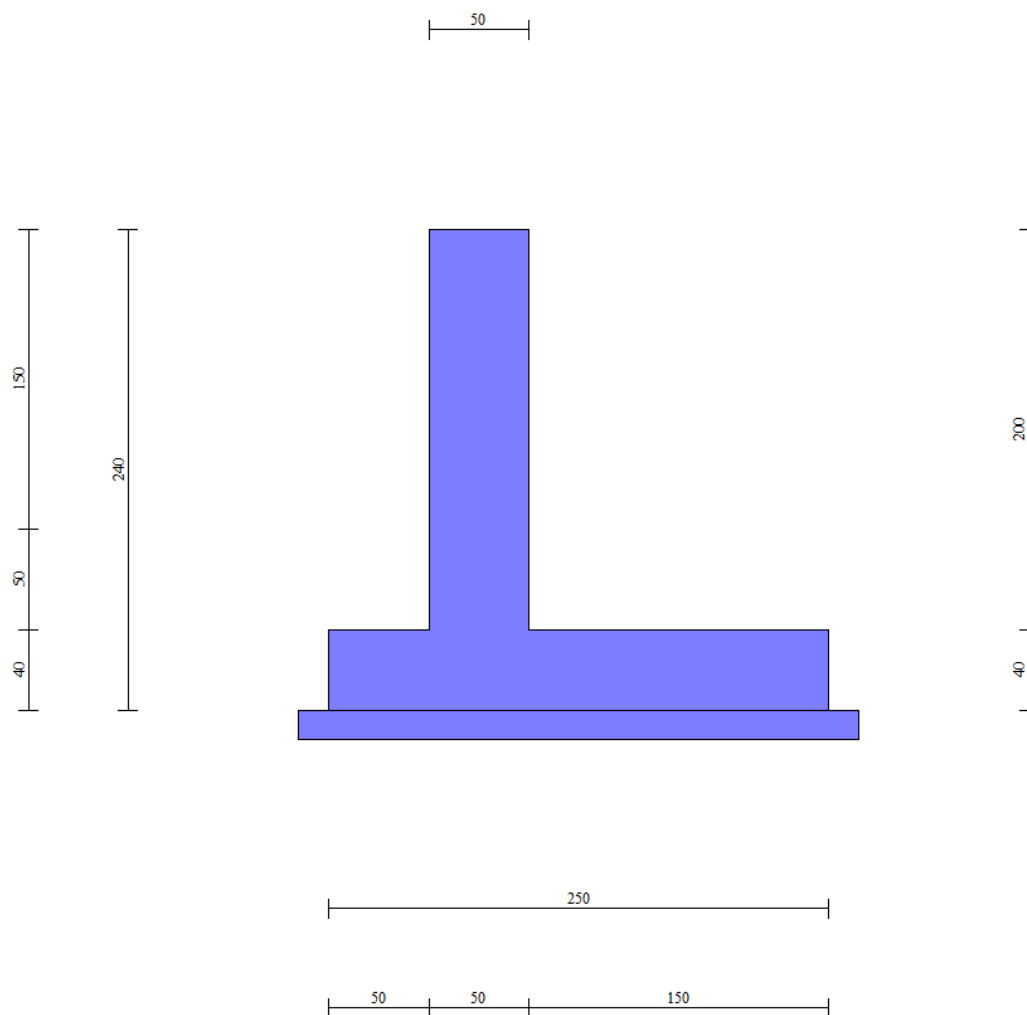
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	3,39	9,42	5,01	0,00	496 (34)	43413 (34)	1786 (34)
7	100	40	3,39	9,42	2,57	0,00	254 (34)	22251 (34)	915 (34)

## 6. MURO DI SOSTEGNO $2,01 < H \leq 2,50\text{m}$

### 6.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni 1,20x0,50m non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurvia; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	2,00	[m]
Altezza paramento libero	1,50	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

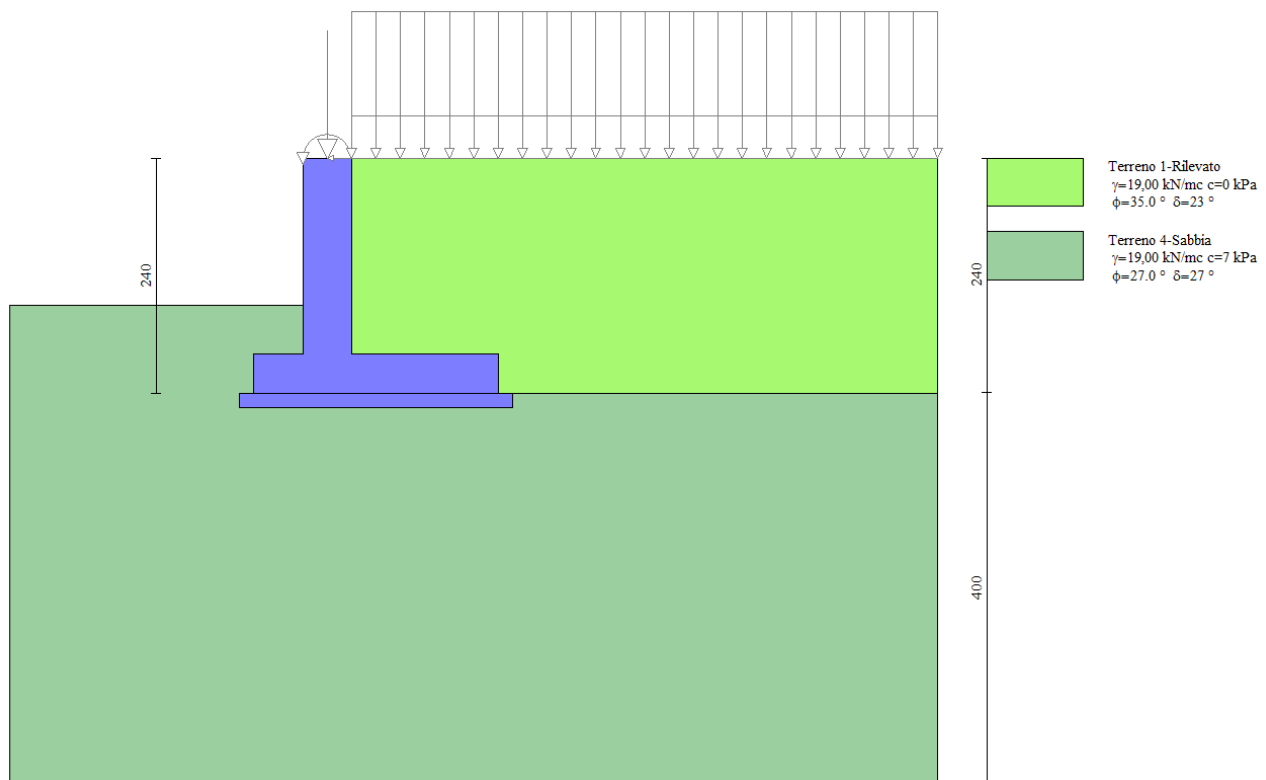
##### Fondazione



Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	1,50	[m]
Lunghezza totale	2,50	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,40	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

## 6.2 Stratigrafia del terreno

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



## 6.3 Condizioni di carico

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=2,50m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>					
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto " o " "		(x,y)	Sollecitazioni		
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN) M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07 0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79 1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28 0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24 0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24 -0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63 3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		-	<b>20,25 6,84</b>

		(x,y)			
		y'' (m)		H (kN)	N (kN) M (kNm)
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>- ± 29,00</b>
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+2*2)	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>14,08</b>	<b>18,31</b>

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

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

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

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

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

D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

Azione eccezionale d'urto:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	14,080	0,000	18,310				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**6.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**6.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.320		4.159			
2 - STR (A1-M1-R3)		3.109		4.964			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.162		5.807			
<b>4 - STR (A1-M1-R3)</b>		2.249		<b>3.224</b>			
5 - STR (A1-M1-R3)		4.545		6.658			
<b>6 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H - V</b>	<b>2.067</b>		5.956			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
7 - STR (A1-M1-R3)		2.679		4.171			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.511		4.321			
9 - STR (A1-M1-R3)		2.488		4.037			
10 - STR (A1-M1-R3)		3.554		4.596			
11 - STR (A1-M1-R3)		3.346		4.594			
12 - STR (A1-M1-R3)		3.317		4.963			
13 - STR (A1-M1-R3)		2.714		3.659			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.497		3.702			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.466		3.267			
16 - STR (A1-M1-R3)		5.339		5.682			
17 - STR (A1-M1-R3)		4.968		6.053			
18 - STR (A1-M1-R3)		4.916		6.296			
<b>19 - GEO (A2-M2-R2)</b>					<b>1.959</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					1.959		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.053		
22 - GEO (A2-M2-R2)					2.754		
23 - GEO (A2-M2-R2)					2.754		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.045		
25 - EQU			2.867				
26 - EQU			5.490				
27 - EQU	H + V		4.306				
<b>28 - EQU</b>			<b>1.771</b>				
29 - EQU			7.027				
30 - EQU	H - V		3.560				
31 - ECC		2.452	2.729	4.901	3.443		

### 6.6 Opzioni di calcolo

#### Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]		2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]		0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389	1.500
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

#### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

#### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

#### Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

### 6.7 Verifiche geotecniche

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

#### 6.7.1 Verifica a scorrimento

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 6**.

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

#### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
6	Spinta statica	17,25	23,33	15,84	6,83	1,50	-1,51
	Incremento di spinta sismica		3,88	3,56	1,54	1,50	-1,60
	Peso/inerzia muro			5,43	50,00/-2,72	0,00	-1,60
	Peso/inerzia terrapieno			7,27	66,90/-3,64	0,75	-1,00
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6 - STR (A1-M1-R3) H - V	70,91	0,00	0,00	--	--	70,91	34,30	<b>2.067</b>

**6.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 4** è risultata la più gravosa.

**Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- lc Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
4	Spinta statica	22,42	23,33	20,59	8,88	1,50	-1,51
	Peso/Inerzia muro			0,00	50,00/0,00	0,00	-1,60
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	69,87/0,00	0,75	-1,00
	Risultante forze sul muro			14,55	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
4 - STR (A1-M1-R3)	155,07	500,03	357,16	<b>3.224</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - Nc, Nq, Ny Fattori di capacità portante
  - ic, iq, iy Fattori di inclinazione del carico
  - dc, dq, dy Fattori di profondità del piano di posa
  - gc, gq, gy Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - bc, bq, by Fattori di inclinazione del piano di posa
  - sc, sq, sy Fattori di forma della fondazione
  - pc, pq, py Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
4	23.942 13.199 14.470	0.573 0.605 0.468	1.144 1.109 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.976	0,90	1,40 2,04	19,00	27,00	7

**6.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti. Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

**Combinazione n° 28 - EQU**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
------------	---	---	---------

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
28	Spinta statica	22,81	19,04	21,56	7,44	1,50	-1,52
	Peso/inerzia muro			0,00	45,00/0,00	0,00	-1,60
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	60,21/0,00	0,75	-1,00
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
28 - EQU	185,67	104,84	<b>1.771</b>

**6.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

**Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole



Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,80; 1,20	4,28	<b>1.959</b>

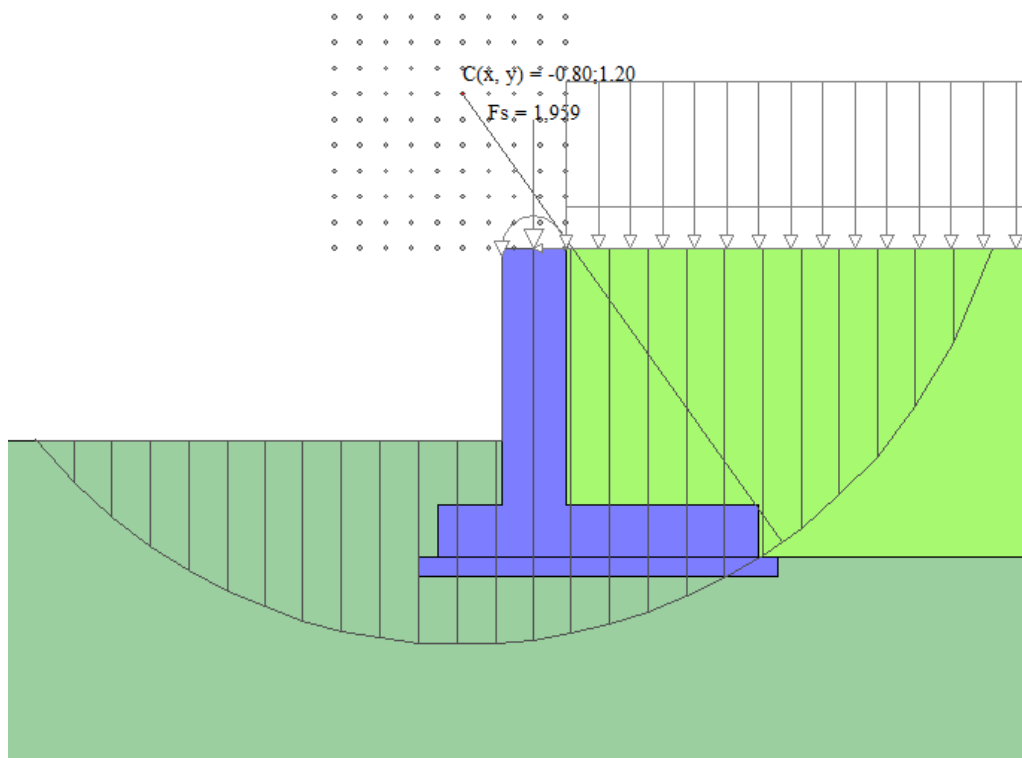
Simbologia adottata

- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	2,07	9,72	3,32 - 0,30	67.768	29.256	0	0,0	
2	5,55	9,72	0,30	59.309	29.256	0	0,0	
3	8,06	9,72	0,30	52.146	29.256	0	0,0	
4	10,02	9,72	0,30	46.021	29.256	0	0,0	
5	11,62	9,72	0,30	40.523	29.256	0	0,0	
6	12,94	9,72	0,30	35.449	29.256	0	0,0	
7	14,68	9,72	0,30	30.680	22.177	6	0,0	
8	15,68	9,72	0,30	26.138	22.177	6	0,0	
9	16,43	9,72	0,30	21.768	22.177	6	0,0	
10	17,03	9,72	0,30	17.528	22.177	6	0,0	
11	17,50	9,72	0,30	13.385	22.177	6	0,0	
12	20,92	21,61	0,30	9.313	22.177	6	0,0	
13	19,42	0,00	0,30	5.288	22.177	6	0,0	
14	9,66	0,00	0,30	1.289	22.177	6	0,0	
15	9,27	0,00	0,30	-2.703	22.177	6	0,0	
16	8,78	0,00	0,30	-6.709	22.177	6	0,0	
17	8,52	0,00	0,30	-10.748	22.177	6	0,0	
18	8,14	0,00	0,30	-14.842	22.177	6	0,0	
19	7,62	0,00	0,30	-19.016	22.177	6	0,0	
20	6,97	0,00	0,30	-23.298	22.177	6	0,0	
21	6,16	0,00	0,30	-27.724	22.177	6	0,0	
22	5,18	0,00	0,30	-32.339	22.177	6	0,0	
23	4,01	0,00	0,30	-37.205	22.177	6	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
24	2,59	0,00	0,30	-42.412	22.177	6	0,0	
25	0,88	0,00	-4,13 - 0,30	-47.185	22.177	6	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 6.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 6.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X [m]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	T <sub>min</sub> [kN]	T <sub>max</sub> [kN]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]
11	-1,00	32,75	42,58	-9,85	20,16	-47,27	68,83
21	-2,00	45,25	58,83	0,39	37,13	-52,47	92,73

Fondazione

n°	X [m]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	T <sub>min</sub> [kN]	T <sub>max</sub> [kN]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	1,20	62,57	-0,22	16,39

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
7	0,00	0,00	0,00	-59,40	49,83	-60,86	53,87

### 6.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente espressa in [kN]
- Mu momento ultimi espresso in [kNm]
- Nu sforzo normale ultimo espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
11	100	50	3,39	6,03	-47,27	42,58	-70,02	42,58	1.471
21	100	50	3,39	6,03	92,73	51,32	116,73	51,32	1.262

#### Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	40	6,03	12,06	16,39	0,00	82,83	0,00	5.312
7	100	40	6,03	12,06	53,87	0,00	82,83	0,00	1.547

### 6.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0)
- V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
11	100	50	0,00	--	0,00	0,00	191,96	20,16	9.522
21	100	50	0,00	--	0,00	0,00	193,68	37,13	5.216

#### Fondazione

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	40	0,00	--	0,00	0,00	185,62	-62,57	2.967
7	100	40	0,00	--	0,00	0,00	185,62	-59,40	3.125

### 6.8.4 Verifiche delle tensioni SLE

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]

- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]
- M momento agente, espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente, espressa in [kN]
- $\sigma_c$  tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
- $\sigma_{fi}$  tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
- $\sigma_{fs}$  tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
11	100	50	3,39	6,03	-14,93	32,75	1845 (32)	103398 (32)	53962 (41)
21	100	50	3,39	6,03	-13,55	45,25	2925 (32)	169090 (32)	29587 (41)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	6,03	12,06	10,29	0,00	764 (32)	50945 (32)	4529 (32)
7	100	40	6,03	12,06	22,68	0,00	1685 (41)	112299 (41)	49982 (32)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
11	100	50	3,39	6,03	8,29	32,75	393 (34)	8721 (34)	4623 (34)
21	100	50	3,39	6,03	15,49	45,25	792 (34)	25591 (34)	8622 (34)

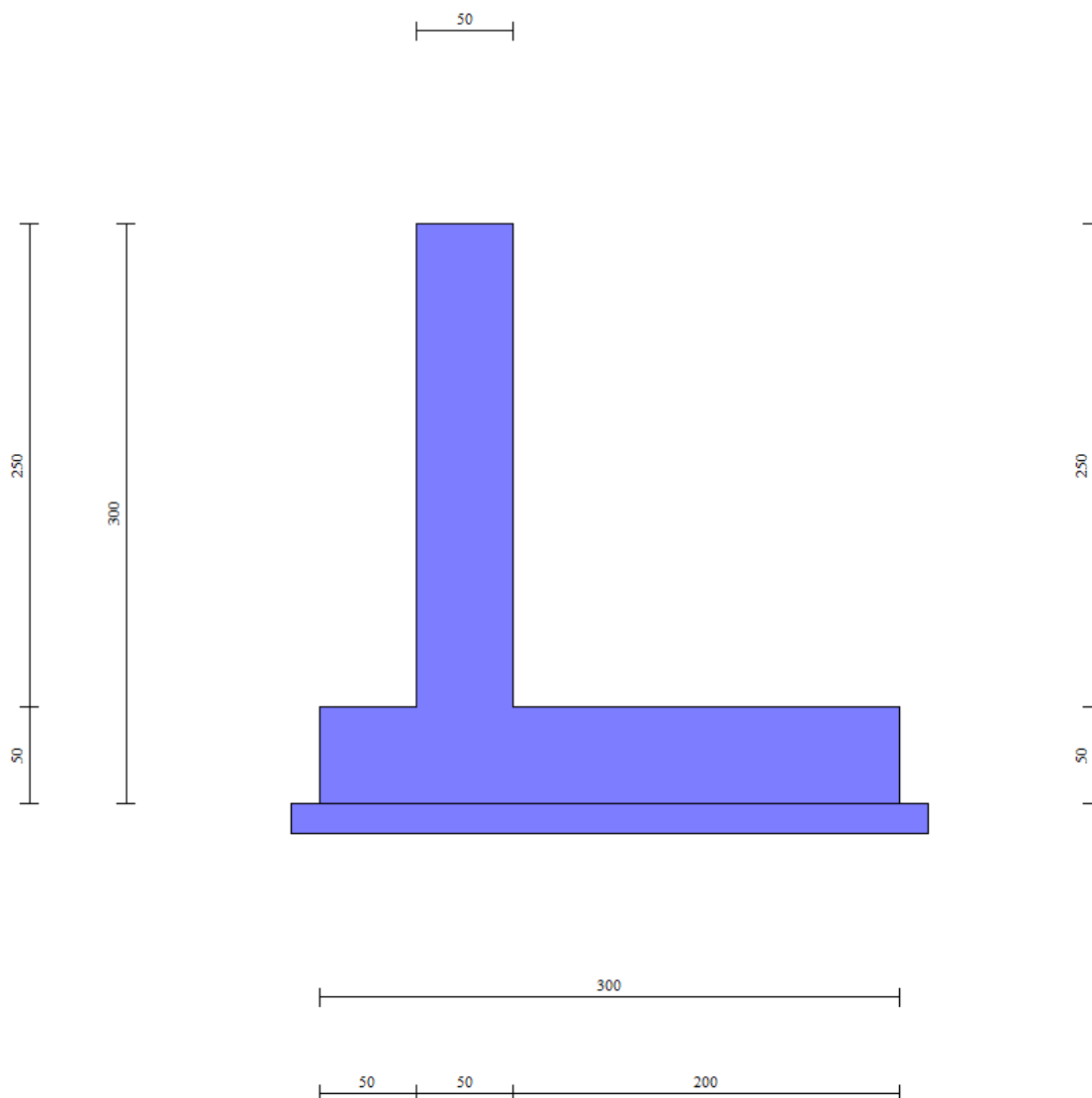
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	40	6,03	12,06	6,11	0,00	454 (34)	30269 (34)	2691 (34)
7	100	40	6,03	12,06	2,35	0,00	175 (34)	11636 (34)	1034 (34)

## 7. MURO DI SOSTEGNO $2,51 < H \leq 3,00m$

### 7.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni 1,20x0,50m non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurvia; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	2,50	[m]
Altezza paramento libero	1,85	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]

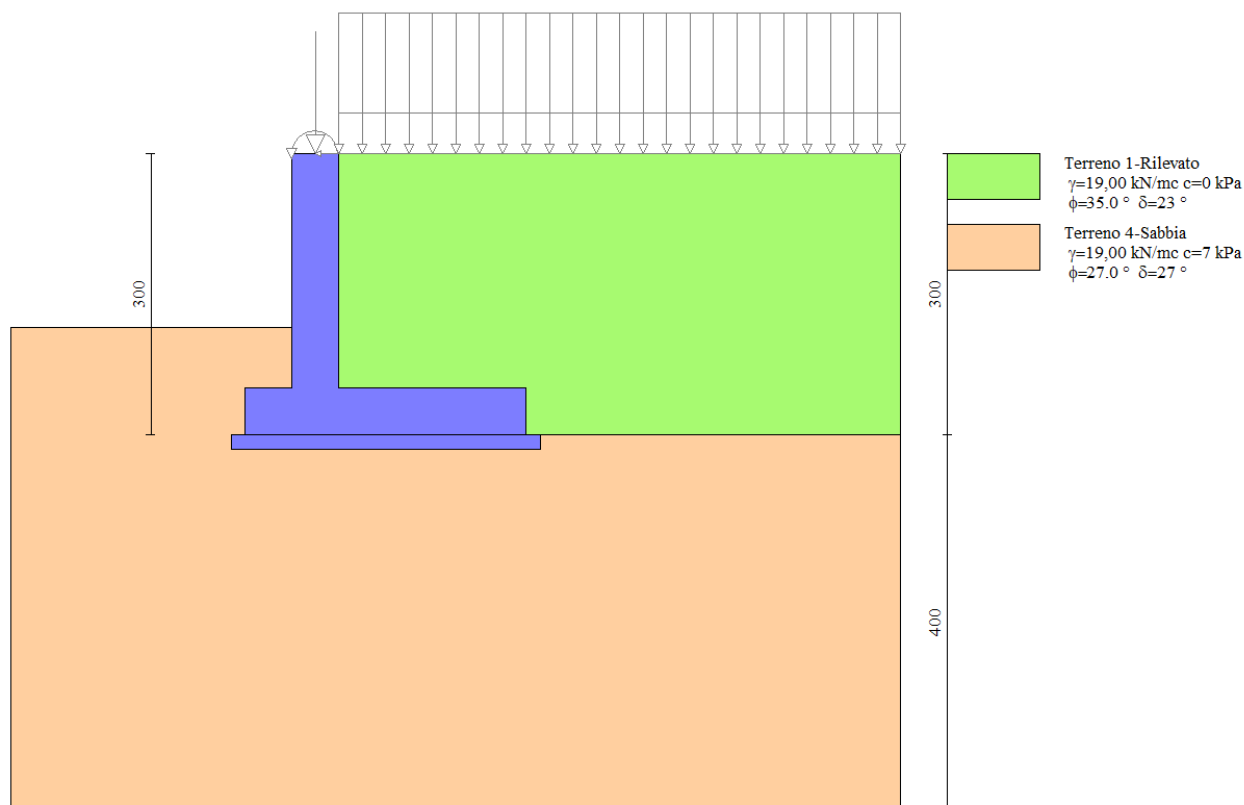
Inclinazione paramento interno 0,00 [°]

**Fondazione**

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,00	[m]
Lunghezza totale	3,00	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,50	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**7.2 Stratigrafia del terreno**

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



**7.3 Condizioni di carico**

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=3m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>				Sollecitazioni				
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o"				(x,y)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
			x'' (m)					
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)		0,750	1			1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)		0,750	1			1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)		0,750	1			1,28	0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi		0,550	1			0,24	0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)		-0,045	1			1,24	-0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5		0,250	1			14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>		<b>0,338</b>			<b>-</b>	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>
<b>Q1 AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq				(x,y)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)
			y'' (m)					
			2,99	1		$\pm 9,70$	-	$\pm 29,00$
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+2,5*2)		1,30	1		12,35		16,05

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

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

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

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

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

D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

*Azione eccezionale d'urto:*

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	12,350	0,000	16,050				

Condizione n° 5

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

Condizione n° 6

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**7.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**7.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.470		4.705			
2 - STR (A1-M1-R3)		3.065		5.462			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.124		5.593			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.482		4.571			
5 - STR (A1-M1-R3)		4.130		7.254			
6 - STR (A1-M1-R3)	H - V	<b>2.024</b>		5.760			
7 - STR (A1-M1-R3)		2.890		4.595			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.714		4.803			
9 - STR (A1-M1-R3)		2.646		4.518			



Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
10 - STR (A1-M1-R3)		3.557		4.977			
11 - STR (A1-M1-R3)		3.350		5.003			
12 - STR (A1-M1-R3)		3.272		5.431			
13 - STR (A1-M1-R3)		3.034		4.722			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.802		4.922			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.714		<b>4.442</b>			
16 - STR (A1-M1-R3)		4.945		6.404			
17 - STR (A1-M1-R3)		4.603		6.428			
18 - STR (A1-M1-R3)		4.472		7.214			
19 - GEO (A2-M2-R2)					<b>2.014</b>		
20 - GEO (A2-M2-R2)					2.014		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.046		
22 - GEO (A2-M2-R2)					2.746		
23 - GEO (A2-M2-R2)					2.746		
24 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.034		
25 - EQU			3.463				
26 - EQU			5.683				
27 - EQU	H + V		4.410				
28 - EQU			<b>2.443</b>				
29 - EQU			7.452				
30 - EQU	H - V		3.620				
31 - ECC		2.937	3.985	6.517	3.432		

**7.6 Opzioni di calcolo**

Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	T <sub>c</sub> *		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β <sub>m</sub>	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

**7.7 Verifiche geotecniche**

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

**7.7.1 Verifica a scorrimento**

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 6**.

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
6	Spinta statica	25,74	23,33	23,63	10,19	2,00	-1,91

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Incremento di spinta sismica		5,79	5,32	2,29	2,00	-2,00
	Peso/inerzia muro			7,47	68,75/-3,74	0,16	-2,07
	Peso/inerzia terrapieno			11,76	108,20/-5,88	1,00	-1,25
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6 - STR (A1-M1-R3) H - V	101,94	0,00	0,00	--	--	101,94	50,38	<b>2.024</b>

**7.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 15** è risultata la più gravosa.

Combinazione n° 15 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- lc Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
15	Spinta statica	33,46	23,33	30,72	13,25	2,00	-1,91
	Peso/inerzia muro			0,00	89,38/0,00	0,16	-2,07

7 MURO DI SOSTEGNO 2,51<H≤3,00m

7.7 Verifiche geotecniche

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	112,16/0,00	1,00	-1,25
	Risultante forze sul muro			14,55	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
15 - STR (A1-M1-R3)	241,11	1071,07	765,05	<b>4.442</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - Nc, Nq, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - ic, iq, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - dc, dq, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - gc, gq, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - bc, bq, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - sc, sq, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - pc, pq, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub>, viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq N <sub>γ</sub>	ic iq i <sub>γ</sub>	dc dq d <sub>γ</sub>	gc gq g <sub>γ</sub>	bc bq b <sub>γ</sub>	sc sq s <sub>γ</sub>	pc pq p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
15	23.942 13.199 14.470	0.642 0.669 0.543	1.153 1.116 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	--	--	--	0.956	15	23.942 13.199 14.470

**7.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

**Combinazione n° 28 - EQU**

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	0.90	--	Favorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
28	Spinta statica	34,2698	19,04	32,3958	11,1775	2,00	-1,92
	Peso/Inerzia muro			0,00	61,88/0,00	0,16	-2,07
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	97,38/0,00	1,00	-1,25
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
28 - EQU	316,72	129,65	<b>2.443</b>

**7.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 19 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
Vento +	1.30	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.30	1.00	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
19 - GEO (A2-M2-R2)	-0,80; 1,80	5,57	2.014

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

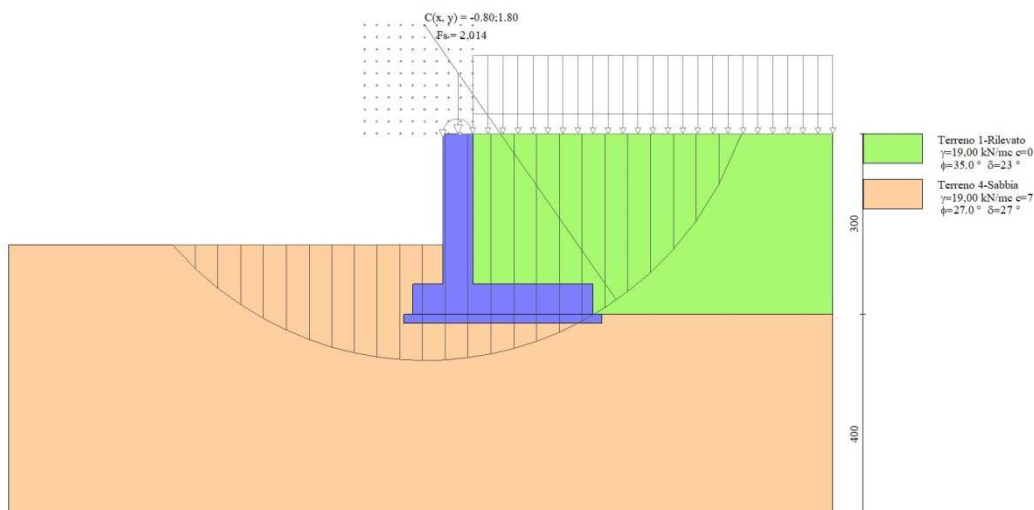
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	3,04	12,38	0,00	4,48 - 0,38	65.789	29.256	0	0,0
2	8,28	12,38	0,00	0,38	57.957	29.256	0	0,0
3	12,16	12,38	0,00	0,38	51.156	29.256	0	0,0
4	15,25	12,38	0,00	0,38	45.263	29.256	0	0,0
5	17,77	12,38	0,00	0,38	39.938	29.256	0	0,0
6	19,88	12,38	0,00	0,38	35.004	29.256	0	0,0
7	22,18	12,38	0,00	0,38	30.353	22.177	6	0,0
8	24,25	12,38	0,00	0,38	25.917	22.177	6	0,0
9	25,45	12,38	0,00	0,38	21.642	22.177	6	0,0
10	26,43	12,38	0,00	0,38	17.491	22.177	6	0,0
11	27,19	12,38	0,00	0,38	13.433	22.177	6	0,0
12	26,60	9,87	0,00	0,38	9.444	22.177	6	0,0
13	33,80	20,25	0,00	0,38	5.500	22.177	6	0,0
14	15,32	0,00	0,00	0,38	1.582	22.177	6	0,0
15	14,26	0,00	0,00	0,38	-2.328	22.177	6	0,0
16	13,56	0,00	0,00	0,38	-6.249	22.177	6	0,0
17	13,17	0,00	0,00	0,38	-10.200	22.177	6	0,0
18	12,58	0,00	0,00	0,38	-14.201	22.177	6	0,0
19	11,78	0,00	0,00	0,38	-18.274	22.177	6	0,0
20	10,76	0,00	0,00	0,38	-22.446	22.177	6	0,0
21	9,50	0,00	0,00	0,38	-26.748	22.177	6	0,0
22	7,98	0,00	0,00	0,38	-31.221	22.177	6	0,0
23	6,16	0,00	0,00	0,38	-35.919	22.177	6	0,0
24	3,98	0,00	0,00	0,38	-40.918	22.177	6	0,0
25	1,36	0,00	0,00	-5,01 -	-45.615	22.177	6	0,0

n°	W	Qy	b	α	φ	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
				0,38				

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



### 7.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

#### 7.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
14	-1,30	36,50	47,45	-7,36	24,67	-49,87	74,96
26	-2,50	51,50	66,95	7,59	47,70	-50,53	109,22

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	8,99	61,72	1,89	15,84
7	0,00	0,00	0,00	-61,73	44,20	-90,43	69,28

#### 7.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]

H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente espressa in [kN]
Mu	momento ultimi espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
14	100	50	3,39	6,03	-49,87	42,58	-74,98	64,02	1.504
26	100	50	3,39	9,42	-50,53	57,57	-81,55	92,92	1.614

**Fondazione**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	50	6,03	12,06	15,84	0,00	105,94	0,00	6.687
7	100	50	6,03	12,06	69,28	0,00	105,94	0,00	1.529

**7.8.3 Verifiche a taglio SLU**

Simbologia adottata

Is	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A <sub>sw</sub>	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V <sub>Rcd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
V <sub>Rsd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
V <sub>Rd</sub>	resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A <sub>sw</sub> >0.0)
V <sub>Rd</sub>	=min(V <sub>Rcd</sub> , V <sub>Rsd</sub> ).
T	taglio agente espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
14	100	50	0,00	--	0,00	0,00	196,30	24,67	7.957
26	100	50	0,00	--	0,00	0,00	198,41	47,70	4.160

**Fondazione**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	50	0,00	--	0,00	0,00	209,91	-61,72	3.401
7	100	50	0,00	--	0,00	0,00	209,91	-61,73	3.401

**7.8.4 Verifiche delle tensioni SLE**

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori, espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kN]
σc	tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
σfi	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
σfs	tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

7 MURO DI SOSTEGNO 2,51<H≤3,00m

7.8 Verifiche strutturali



Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
14	100	50	3,39	6,03	-15,31	36,50	2084 (32)	117692 (32)	51218 (38)
26	100	50	3,39	9,42	68,55	51,50	3121 (32)	144114 (32)	31110 (32)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	11,08	0,00	548 (32)	42289 (32)	4066 (32)
7	100	50	6,03	12,06	29,45	0,00	1457 (38)	112396 (38)	49328 (32)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
14	100	50	3,39	6,03	9,65	36,50	462 (34)	10972 (34)	5453 (34)
26	100	50	3,39	9,42	22,57	51,50	1023 (34)	31564 (34)	11492 (34)

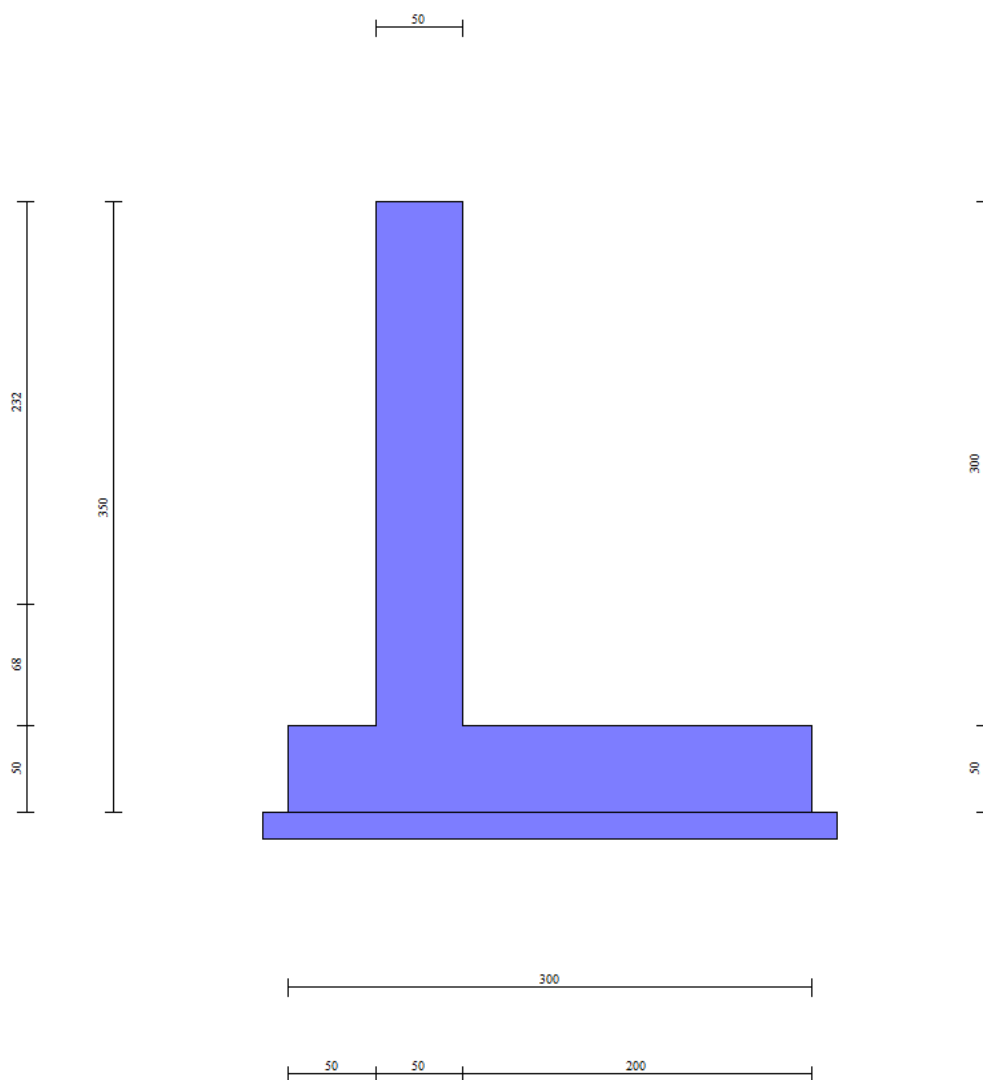
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	7,22	0,00	357 (34)	27559 (34)	2650 (34)
7	100	50	6,03	12,06	3,63	0,00	180 (34)	13858 (34)	1332 (34)

## 8. MURO DI SOSTEGNO 3,01 < H ≤ 3,50m

### 8.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni 1,20x0,50m non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurviva; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

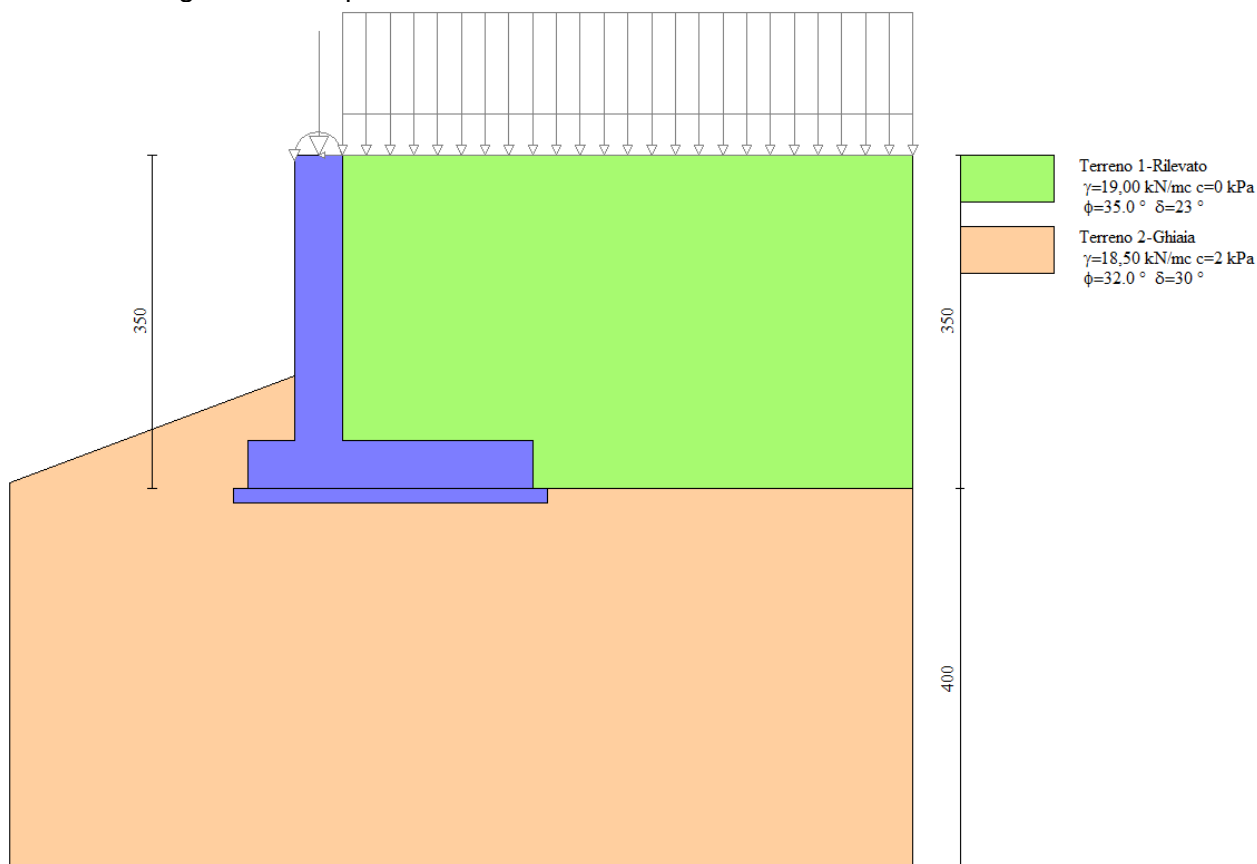
Materiale	Cis Armato	
Altezza paramento	3,00	[m]
Altezza paramento libero	2,32	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

Fondazione

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,00	[m]
Lunghezza totale	3,00	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,50	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**8.2 Stratigrafia del terreno**

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Anna Paola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



Per quanto riguarda la morfologia del terreno, si è scelto di analizzare la sezione con inclinazione del profilo di terreno a valle più penalizzante ai fini delle verifiche geotecniche, la sezione stradale 27. Tuttavia, a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo, non è stato possibile modellare la reale conformazione di valle, caratterizzata da un primo tratto orizzontale di 0,6m e un successivo tratto inclinato di 35°, ma si è optato per l'utilizzo di un profilo di terreno equivalente, con angolo di inclinazione costante pari a 20,50°, opportunamente ottenuto confrontando i fattori di capacità portante di Vesic (utilizzati in MAX) con i fattori di Bowles, specifici per trattazioni in presenza di pendii - libro "FONDAZIONI" di Joseph E. Bowles.

Si precisa, inoltre, che tale configurazione è stata adottata solo per la verifica di capacità portante e per le verifiche di scorrimento e ribaltamento, quest'ultime indipendenti dall'inclinazione del terreno a valle. Al contrario, poiché per la verifica di stabilità globale la trattazione proposta da

Bowles non è più applicabile, si è adottata prudenzialmente la configurazione con inclinazione di 35° e assenza del tratto orizzontale, ottenendo dei coefficienti di sicurezza comunque superiori rispetto al limite di normativa.

**8.3 Condizioni di carico**

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=3,50m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>						
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o" "						
		(x,y)	Sollecitazioni			
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07	0,80
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79	1,35
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28	0,96
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24	0,13
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24	-0,06
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63	3,66
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		<b>-</b>	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>
<b>Q1 AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq						
		(x,y)				
		y'' (m)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b>	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>-</b>	<b>± 29,00</b>
<b>Q2 AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+3*2)						
		(x,y)				
		y'' (m)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b>	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>10,99</b>		<b>14,29</b>

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

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

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

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

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

D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

Condizione n° 2

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

*Carichi sul terreno*

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

*Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

*Carichi sul terreno*

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

*Azione eccezionale d'urto:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	10,990	0,000	14,290				

**Condizione n° 5**

*Sollecitazione del vento positiva:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

*Sollecitazione del vento negativa:*

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**8.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**8.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

FS<sub>UPL</sub> Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.533		2.314			
2 - STR (A1-M1-R3)		3.013		2.967			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.206		2.653			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.613		2.290			
5 - STR (A1-M1-R3)		3.905		3.765			
<b>6 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H - V</b>	<b>2.106</b>		<b>2.710</b>			
7 - STR (A1-M1-R3)		2.981		2.320			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.803		2.414			
9 - STR (A1-M1-R3)		2.711		2.236			
10 - STR (A1-M1-R3)		3.522		2.710			
11 - STR (A1-M1-R3)		3.320		2.707			
12 - STR (A1-M1-R3)		3.215		2.971			
13 - STR (A1-M1-R3)		3.206		2.426			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.971		2.521			
<b>15 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>2.848</b>		<b>2.235</b>			
16 - STR (A1-M1-R3)		4.710		3.350			
17 - STR (A1-M1-R3)		4.390		3.331			
18 - STR (A1-M1-R3)		4.224		3.786			
19 - GEO (A2-M2-R2)					1.166		
20 - GEO (A2-M2-R2)					1.166		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.116		
22 - GEO (A2-M2-R2)					1.322		
23 - GEO (A2-M2-R2)					1.322		
<b>24 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.103</b>		
25 - EQU			3.022				
26 - EQU			4.487				
27 - EQU	H + V		3.660				
<b>28 - EQU</b>			<b>2.359</b>				
29 - EQU			5.858				
30 - EQU	H - V		3.106				
31 - ECC		3.221	3.979	3.498	1.916		

### 8.6 Opzioni di calcolo

#### Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]		0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389	1.500
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

Spinta

Metodo di calcolo della spinta Mononobe-Okabe  
 Tipo di spinta Spinta attiva  
 Terreno a bassa permeabilità NO  
 Superficie di spinta limitata NO

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza Vesic  
 Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati) Ponderata  
 Criterio di riduzione per eccentricità della portanza Bowles  
 Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento) Nessuna

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

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale Bishop

**8.7 Verifiche geotecniche**

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

**8.7.1 Verifica a scorrimento**

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 6**.

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>X</sub>, C<sub>Y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>X</sub>, P<sub>Y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>X</sub>	C <sub>Y</sub>	P <sub>X</sub>	P <sub>Y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
6	Spinta statica	34,09	23,33	31,30	13,50	2,00	-2,24
	Incremento di spinta sismica		7,67	7,04	3,04	2,00	-2,33
	Peso/inerzia muro			8,15	75,00/-4,08	0,13	-2,38
	Peso/inerzia terrapieno			13,82	127,20/-6,91	1,00	-1,50
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

Dettagli verifica

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6 - STR (A1-M1-R3) H - V	131,64	0,00	0,00	--	--	131,64	62,52	<b>2.106</b>

**8.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 15** è risultata la più gravosa.

Combinazione n° 15 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

- Ic Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]



V Valore dell'azione, espressa in [kN]  
 C<sub>X</sub>, C<sub>Y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]  
 P<sub>X</sub>, P<sub>Y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>X</sub>	C <sub>Y</sub>	P <sub>X</sub>	P <sub>Y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
15	Spinta statica	44,32	23,33	40,69	17,55	2,00	-2,24
	Peso/inerzia muro			0,00	97,50/0,00	0,13	-2,38
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	131,16/0,00	1,00	-1,50
	Risultante forze sul muro			14,55	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
15 - STR (A1-M1-R3)	272,54	609,10	435,07	<b>2.235</b>

Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante  
 i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico  
 d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa  
 g<sub>c</sub>, g<sub>q</sub>, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico  
 b<sub>c</sub>, b<sub>q</sub>, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa  
 s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione  
 p<sub>c</sub>, p<sub>q</sub>, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic  
 r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore  
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]  
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]  
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]  
 φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]  
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]  
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	N <sub>c</sub> N <sub>q</sub> N <sub>γ</sub>	i <sub>c</sub> i <sub>q</sub> i <sub>γ</sub>	d <sub>c</sub> d <sub>q</sub> d <sub>γ</sub>	g <sub>c</sub> g <sub>q</sub> g <sub>γ</sub>	b <sub>c</sub> b <sub>q</sub> b <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub> s <sub>q</sub> s <sub>γ</sub>	p <sub>c</sub> p <sub>q</sub> p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
15	35.490 23.177 30.215	0.629 0.645 0.514	1.132 1.091 1.000	0.861 0.392 0.392	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.956	0,99	2,13 2,71	18,50	32,00	2

**8.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.  
 Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

**Combinazione n° 28 - EQU**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.10	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
28	Spinta statica	47,00	19,04	44,43	15,33	2,00	-2,24
	Peso/inerzia muro			0,00	67,50/0,00	0,13	-2,38
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	117,12/0,00	1,00	-1,50
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
28 - EQU	372,87	158,07	<b>2.359</b>

**8.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

**Combinazione n° 24 - GEO (A2-M2-R2) H - V**

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
24 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,80; 1,40	6,21	<b>1.103</b>

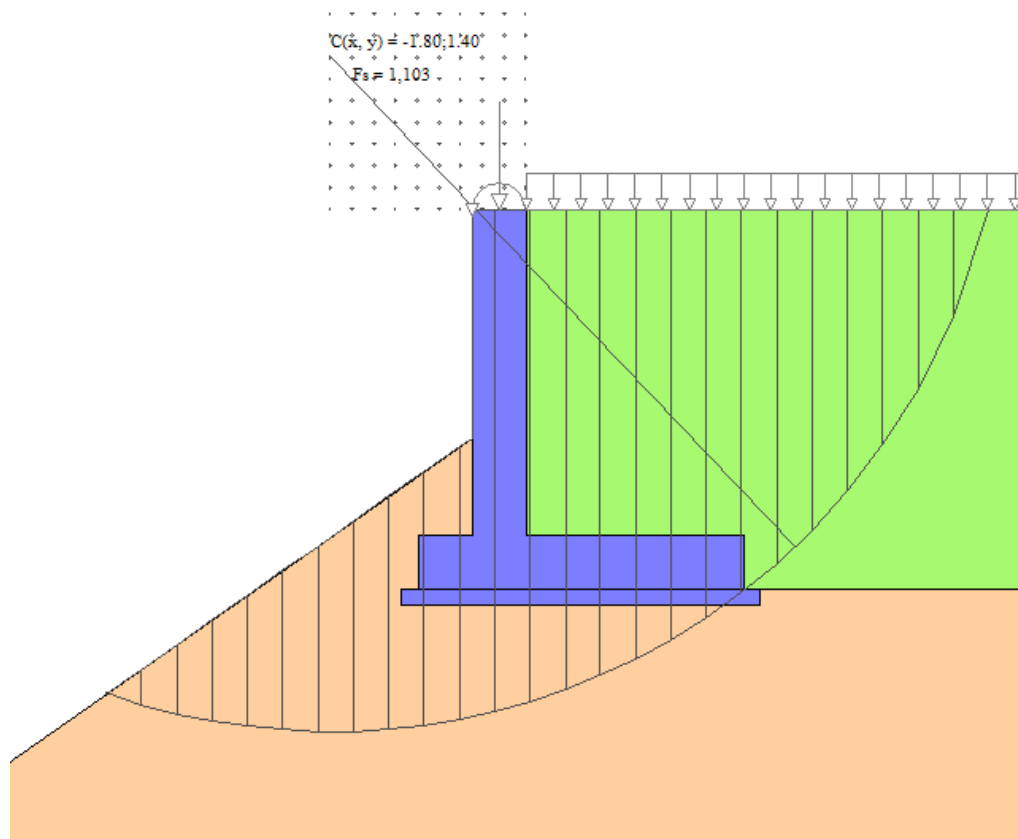
Simbologia adottata

- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	3,04	2,15	4,26 - 0,33	71.668	29.256	0	0,0	
2	8,14	2,15	0,33	64.016	29.256	0	0,0	
3	11,80	2,15	0,33	57.771	29.256	0	0,0	
4	14,71	2,15	0,33	52.488	29.256	0	0,0	
5	17,13	2,15	0,33	47.787	29.256	0	0,0	
6	19,19	2,15	0,33	43.483	29.256	0	0,0	
7	20,48	2,15	0,33	39.468	29.256	0	0,0	
8	23,48	2,15	0,33	35.674	26.560	2	0,0	
9	24,80	2,15	0,33	32.054	26.560	2	0,0	
10	25,94	2,15	0,33	28.573	26.560	2	0,0	
11	26,94	2,15	0,33	25.204	26.560	2	0,0	
12	27,80	2,15	0,33	21.925	26.560	2	0,0	
13	28,52	2,15	0,33	18.721	26.560	2	0,0	
14	34,45	20,45	0,33	15.577	26.560	2	0,0	
15	28,37	0,00	0,33	12.481	26.560	2	0,0	
16	15,78	0,00	0,33	9.421	26.560	2	0,0	
17	13,83	0,00	0,33	6.388	26.560	2	0,0	
18	12,43	0,00	0,33	3.373	26.560	2	0,0	
19	11,08	0,00	0,33	0.367	26.560	2	0,0	
20	9,63	0,00	0,33	-2.637	26.560	2	0,0	
21	8,08	0,00	0,33	-5.649	26.560	2	0,0	
22	6,45	0,00	0,33	-8.677	26.560	2	0,0	
23	4,73	0,00	0,33	-11.729	26.560	2	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
24	2,89	0,00	0,33	-14.816	26.560	2	0,0	
25	0,94	0,00	-3,88 - 0,33	-16.320	26.560	2	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 8.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 8.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X [m]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	T <sub>min</sub> [kN]	T <sub>max</sub> [kN]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]
16	-1,50	39,00	50,70	-5,43	27,95	-51,15	79,50
31	-3,00	57,75	75,08	16,17	59,65	-44,65	129,65

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	13,71	71,43	3,07	18,31
7	0,00	0,00	0,00	-72,86	45,22	-105,66	70,95

### 8.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>fi</sub> area ferri inferiori espresso in [cmq]
- A<sub>fs</sub> area ferri superiori espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente espressa in [kN]
- M<sub>u</sub> momento ultimi espresso in [kNm]
- N<sub>u</sub> sforzo normale ultimo espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
16	100	50	3,39	6,03	-51,15	45,07	-70,58	45,07	1.373
31	100	50	3,39	9,42	129,65	63,82	177,01	63,82	1.368

#### Fondazione

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	50	6,03	12,06	18,31	0,00	105,64	0,00	6.040
7	100	50	6,03	12,06	70,95	0,00	105,64	0,00	1.496

### 8.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0)
- V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
16	100	50	0,00	--	0,00	0,00	192,82	27,95	6.898
31	100	50	0,00	--	0,00	0,00	195,41	59,65	3.276

#### Fondazione

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	50	0,00	--	0,00	0,00	207,81	-71,43	2.909
7	100	50	0,00	--	0,00	0,00	207,81	-72,86	2.852

### 8.8.4 Verifiche delle tensioni SLE

Simbologia adottata

8 MURO DI SOSTEGNO 3,01<H≤3,50m

8.8 Verifiche strutturali

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]
- M momento agente, espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente, espressa in [kN]
- $\sigma_c$  tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
- $\sigma_{fi}$  tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
- $\sigma_{fs}$  tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
16	100	50	3,39	6,03	-15,23	39,00	2301 (32)	130337 (32)	47674 (38)
31	100	50	3,39	9,42	87,75	57,75	4018 (32)	189369 (32)	38566 (32)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	13,25	0,00	664 (32)	50835 (32)	4674 (32)
7	100	50	6,03	12,06	28,75	0,00	1441 (38)	110289 (38)	66592 (32)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
16	100	50	3,39	6,03	10,90	39,00	533 (34)	13668 (34)	6104 (34)
31	100	50	3,39	9,42	32,69	57,75	1503 (34)	53390 (34)	15945 (34)

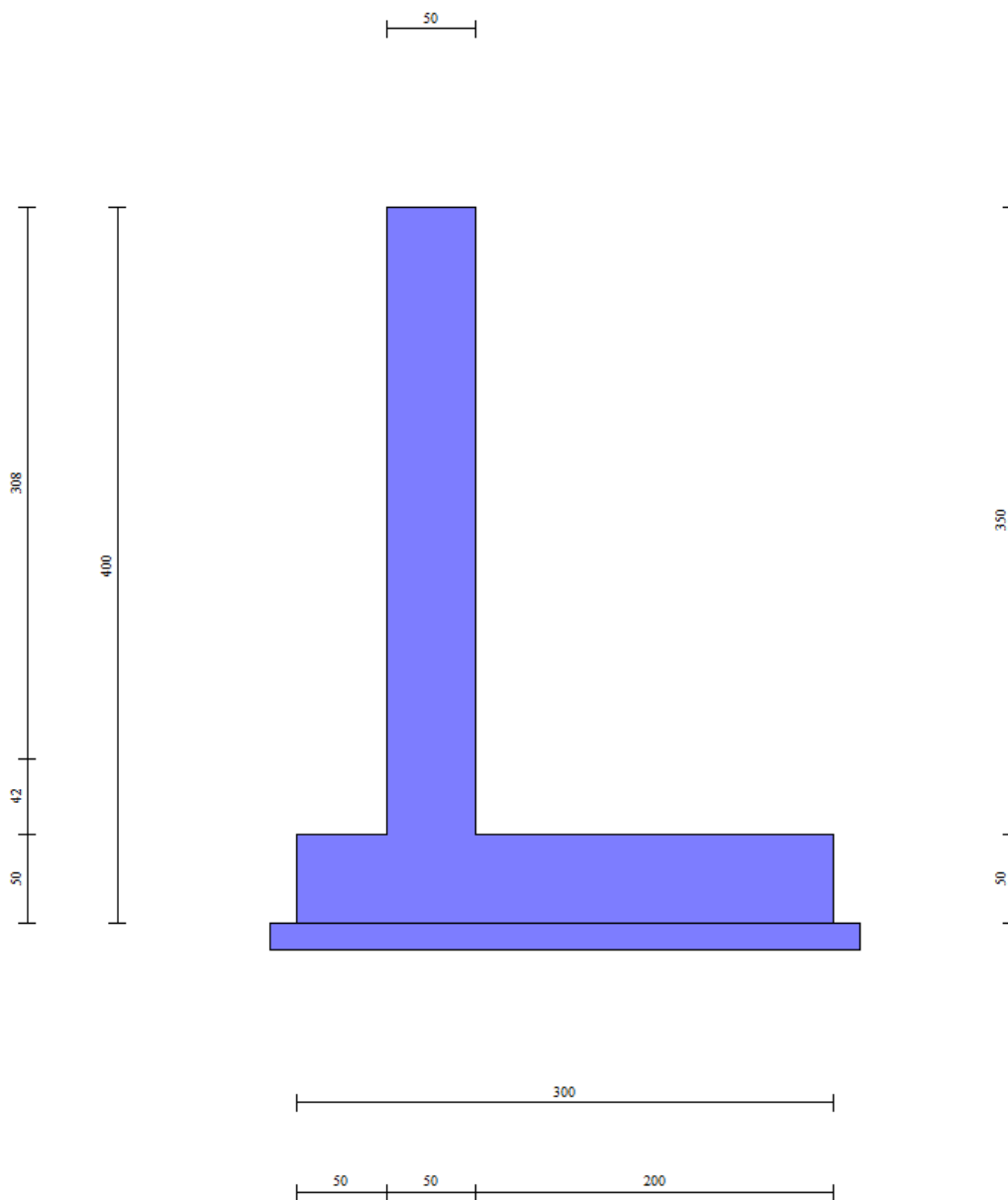
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	8,70	0,00	436 (34)	33383 (34)	3070 (34)
7	100	50	6,03	12,06	0,77	0,00	39 (34)	2955 (34)	272 (34)

## 9. MURO DI SOSTEGNO 3,51 < H ≤ 4,00m

### 9.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni 1,20x0,50m non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurviva; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	Cls Armato	
Altezza paramento	3,50	[m]
Altezza paramento libero	3,08	[m]

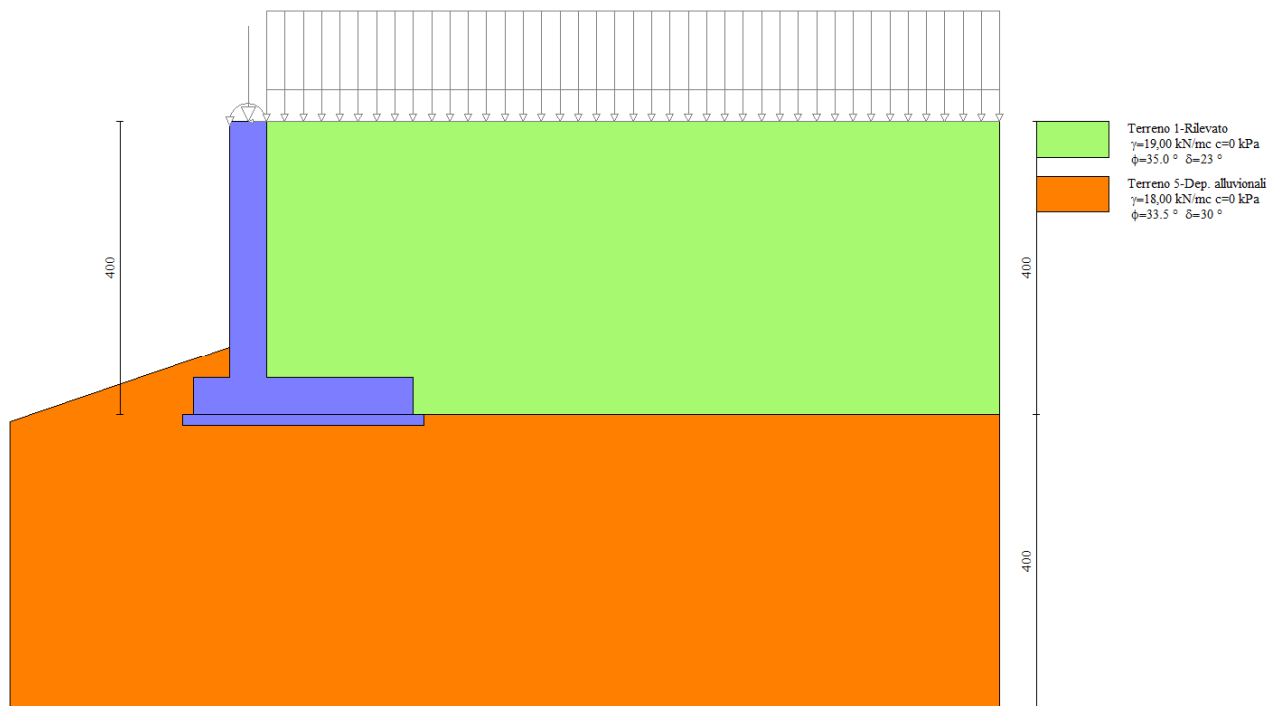
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

**Fondazione**

Materiale	Cls Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,00	[m]
Lunghezza totale	3,00	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,50	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**9.2 Stratigrafia del terreno**

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



Per quanto riguarda la morfologia del terreno, si è scelto di analizzare la sezione con inclinazione del profilo di terreno a valle più penalizzante ai fini delle verifiche geotecniche, la sezione stradale 4. Tuttavia, a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo, non è stato possibile modellare la reale conformazione di valle, caratterizzata da un primo tratto orizzontale di 0,6m e un successivo tratto inclinato di 31°, ma si è optato per l'utilizzo di un profilo di terreno equivalente, con angolo di inclinazione costante pari a 18,80°, opportunamente ottenuto confrontando i fattori di capacità portante di Vesic (utilizzati in MAX) con i fattori di Bowles, specifici per trattazioni in presenza di pendii - libro "FONDAZIONI" di Joseph E. Bowles.

Si precisa, inoltre, che tale configurazione è stata adottata solo per la verifica di capacità portante e per le verifiche di scorrimento e ribaltamento, quest'ultime indipendenti dall'inclinazione del terreno a valle. Al contrario, poiché per la verifica di stabilità globale la trattazione proposta da



Bowles non è più applicabile, si è adottata prudenzialmente la configurazione con inclinazione di 31° e assenza del tratto orizzontale, ottenendo dei coefficienti di sicurezza comunque superiori rispetto al limite di normativa.

**9.3 Condizioni di carico**

In corrispondenza della sezione di muro da verificare, è prevista l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=4m, altezza complessiva della barriera 4,85m</b>										
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o"										
		(x,y)	Sollecitazioni							
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)				
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07	0,80				
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79	1,35				
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28	0,96				
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24	0,13				
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24	-0,06				
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63	3,66				
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		<b>-</b>	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>				
<b>AZIONE ACC. VENTO</b>										
		(x,y)								
		y'' (m)		H (kN)	N (kN)	M (kNm)				
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b>	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>-</b>	<b>± 29,00</b>				
		Vento p= 2,00 kN/mq								
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b>	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>9,90</b>	<b>-</b>	<b>12,87</b>				
		ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+3,5*2)								

**Simbologia e convenzioni di segno adottate**

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

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

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

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

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

D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

**Condizione n° 1**

*Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

**Condizione n° 2**

*Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:*

*Carichi sul terreno*

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

**Condizione n° 3**

9 MURO DI SOSTEGNO 3,51<H≤4,00m

9.3 Condizioni di carico

**Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:**

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

Azione eccezionale d'urto:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	9,900	0,000	12,870				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**9.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**9.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.316		1.758			
2 - STR (A1-M1-R3)		2.682		2.626			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.039		1.944			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.429		1.751			
5 - STR (A1-M1-R3)		3.387		3.191			
<b>6 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H - V</b>	<b>1.949</b>		<b>1.960</b>			
7 - STR (A1-M1-R3)		2.739		1.838			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.578		1.900			
<b>9 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>2.476</b>		<b>1.715</b>			
10 - STR (A1-M1-R3)		3.152		2.411			
11 - STR (A1-M1-R3)		2.974		2.389			
12 - STR (A1-M1-R3)		2.860		2.653			
13 - STR (A1-M1-R3)		2.986		1.943			
14 - STR (A1-M1-R3)		2.775		2.009			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.640		1.726			
16 - STR (A1-M1-R3)		4.100		2.868			
17 - STR (A1-M1-R3)		3.830		2.820			
18 - STR (A1-M1-R3)		3.658		3.251			
19 - GEO (A2-M2-R2)					1.186		
20 - GEO (A2-M2-R2)					1.186		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.120		
22 - GEO (A2-M2-R2)					1.331		
23 - GEO (A2-M2-R2)					1.331		
<b>24 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.100</b>		
25 - EQU			2.644				
26 - EQU			3.662				
27 - EQU	H + V		3.085				
<b>28 - EQU</b>			<b>2.225</b>				
29 - EQU			4.771				
30 - EQU	H - V		2.688				
31 - ECC		3.063	3.845	2.926	1.685		

**9.6 Opzioni di calcolo**

Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro	F0		2.462	2.456

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
orizzontale					
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.389	1.500
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

#### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

#### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

#### Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

### 9.7 Verifiche geotecniche

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

#### 9.7.1 Verifica a scorrimento

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 6**.

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

#### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic           Indice della combinazione

- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- C<sub>X</sub>, C<sub>Y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- P<sub>X</sub>, P<sub>Y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>X</sub>	C <sub>Y</sub>	P <sub>X</sub>	P <sub>Y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
6	Spinta statica	43,60	23,33	40,04	17,27	2,00	-2,57
	Incremento di spinta sismica		9,81	9,01	3,88	2,00	-2,67
	Peso/Inerzia muro			8,83	81,25/-4,41	0,10	-2,67
	Peso/Inerzia terrapieno			15,89	146,20/-7,94	1,00	-1,75
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6 - STR (A1-M1-R3) H - V	148,09	0,00	0,00	--	--	148,09	75,96	<b>1.949</b>

**9.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 9** è risultata la più gravosa.

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- lc Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

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

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
9	Spinta statica	86,01	23,33	78,98	34,06	2,00	-2,37
	Peso/inerzia muro			0,00	105,63/0,00	0,10	-2,67
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	210,16/0,00	1,00	-1,75
	Risultante forze sul muro			8,73	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
9 - STR (A1-M1-R3)	376,17	645,32	460,94	<b>1.715</b>

Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante  
 i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico  
 d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa  
 g<sub>c</sub>, g<sub>q</sub>, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico  
 b<sub>c</sub>, b<sub>q</sub>, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa  
 s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione  
 p<sub>c</sub>, p<sub>q</sub>, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic  
 r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore  
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]  
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]  
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]  
 φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]  
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]  
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	N <sub>c</sub> N <sub>q</sub> N <sub>γ</sub>	i <sub>c</sub> i <sub>q</sub> i <sub>γ</sub>	d <sub>c</sub> d <sub>q</sub> d <sub>γ</sub>	g <sub>c</sub> g <sub>q</sub> g <sub>γ</sub>	b <sub>c</sub> b <sub>q</sub> b <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub> s <sub>q</sub> s <sub>γ</sub>	p <sub>c</sub> p <sub>q</sub> p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
9	40.351 27.707 38.002	0.585 0.600 0.460	1.100 1.066 1.000	0.872 0.435 0.435	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.956	0,75	2,44 2,79	18,00	33.50	0

**9.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.  
 Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 28**.

Combinazione n° 28 - EQU

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
carico permanente	1.10	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.10	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	1.00	Sfavorevole

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
28	Spinta statica	60,12	19,04	56,83	19,61	2,00	-2,57
	Peso/Inerzia muro			0,00	73,13/0,00	0,10	-2,67
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	134,22/0,00	1,00	-1,75
	Risultante forze sul muro			14,55	22,28	--	--

Dettagli verifica

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
28 - EQU	424,12	190,60	<b>2.225</b>

**9.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 24 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
24 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,80; 1,40	6,61	<b>1.100</b>

Simbologia adottata

- Le ascisse X sono considerate positive verso monte
- Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
- Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- $\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- $\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	3,89	2,40	4,67 - 0,36	72.175	29.256	0	0,0	
2	10,35	2,40	0,36	63.934	29.256	0	0,0	
3	14,87	2,40	0,36	57.429	29.256	0	0,0	
4	18,43	2,40	0,36	51.954	29.256	0	0,0	
5	21,38	2,40	0,36	47.090	29.256	0	0,0	
6	23,88	2,40	0,36	42.641	29.256	0	0,0	
7	26,02	2,40	0,36	38.493	29.256	0	0,0	
8	27,22	2,40	0,36	34.572	27.902	0	0,0	
9	30,48	2,40	0,36	30.830	27.902	0	0,0	
10	31,80	2,40	0,36	27.229	27.902	0	0,0	
11	32,93	2,40	0,36	23.741	27.902	0	0,0	
12	33,90	2,40	0,36	20.345	27.902	0	0,0	
13	33,61	2,09	0,36	17.023	27.902	0	0,0	
14	42,98	20,25	0,36	13.758	27.902	0	0,0	
15	20,44	0,00	0,36	10.539	27.902	0	0,0	
16	15,61	0,00	0,36	7.353	27.902	0	0,0	
17	13,89	0,00	0,36	4.190	27.902	0	0,0	
18	12,72	0,00	0,36	1.039	27.902	0	0,0	
19	11,43	0,00	0,36	-2.108	27.902	0	0,0	
20	10,00	0,00	0,36	-5.262	27.902	0	0,0	
21	8,44	0,00	0,36	-8.432	27.902	0	0,0	
22	6,76	0,00	0,36	-11.628	27.902	0	0,0	
23	4,99	0,00	0,36	-14.861	27.902	0	0,0	

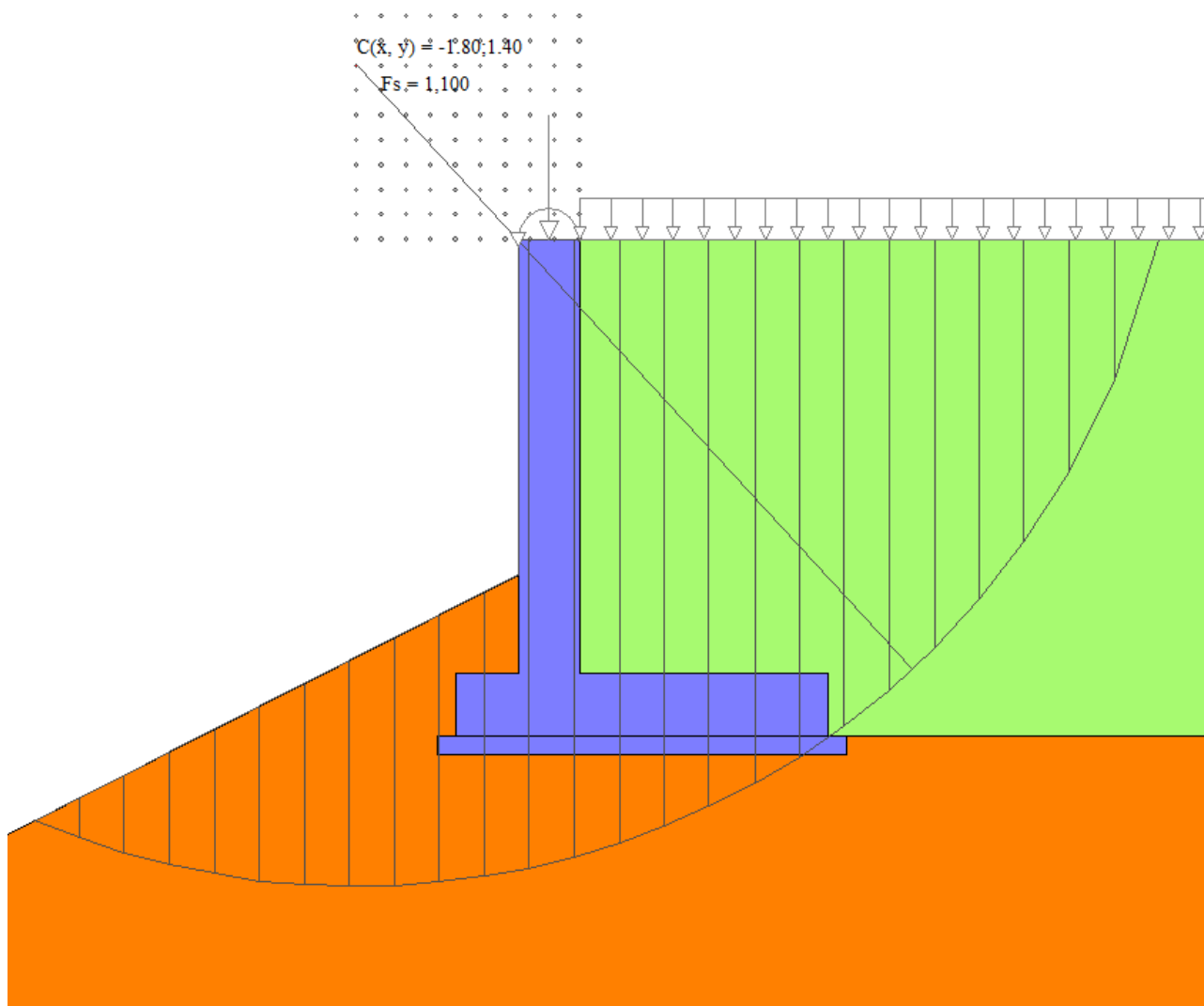
9 MURO DI SOSTEGNO 3,51<H≤4,00m

9.7 Verifiche geotecniche



n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
24	3,07	0,00	0,36	-18.144	27.902	0	0,0	
25	1,01	0,00	-4,40 - 0,36	-20.178	27.902	0	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 9.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 9.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
18	-1,70	41,50	53,95	-3,27	31,46	-52,02	84,45
36	-3,50	64,00	83,20	25,48	72,99	-34,13	158,19

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	19,76	84,72	4,60	21,57
7	0,00	0,00	0,00	-85,57	44,67	-123,77	69,73

### 9.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>fi</sub> area ferri inferiori espresso in [cmq]
- A<sub>fs</sub> area ferri superiori espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente espressa in [kN]
- Mu momento ultimi espresso in [kNm]
- Nu sforzo normale ultimo espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
18	100	50	3,39	6,03	-52,02	47,57	-71,14	47,57	1.361
36	100	50	3,39	12,06	158,19	70,07	222,66	70,08	1.410

Fondazione

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	50	6,03	12,06	21,57	0,00	105,64	0,00	5.083
7	100	50	6,03	12,06	69,73	0,00	105,64	0,00	1.522

### 9.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0)
- V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

Paramento

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
18	100	50	0,00	--	0,00	0,00	193,16	31,46	6.140
36	100	50	0,00	--	0,00	0,00	206,00	72,99	2.822

Fondazione

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
----	---	---	-----------------	------	------------------	------------------	-----------------	---	----

9 MURO DI SOSTEGNO 3,51<H≤4,00m

9.8 Verifiche strutturali

	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	50	0,00	--	0,00	0,00	207,81	-84,72	2.453
7	100	50	0,00	--	0,00	0,00	207,81	-85,57	2.428

**9.8.4 Verifiche delle tensioni SLE**

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]
- M momento agente, espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente, espressa in [kN]
- σc tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
- σfi tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
- σfs tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
18	100	50	3,39	6,03	-14,82	41,50	2529 (32)	144305 (32)	41924 (38)
36	100	50	3,39	12,06	111,65	64,00	4646 (32)	194106 (32)	46751 (32)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	15,77	0,00	791 (32)	60516 (32)	5565 (32)
7	100	50	6,03	12,06	25,82	0,00	1820 (32)	99062 (38)	89577 (32)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
18	100	50	3,39	6,03	12,47	41,50	621 (34)	17446 (34)	6981 (34)
36	100	50	3,39	12,06	46,38	64,00	1959 (34)	66866 (34)	21013 (34)

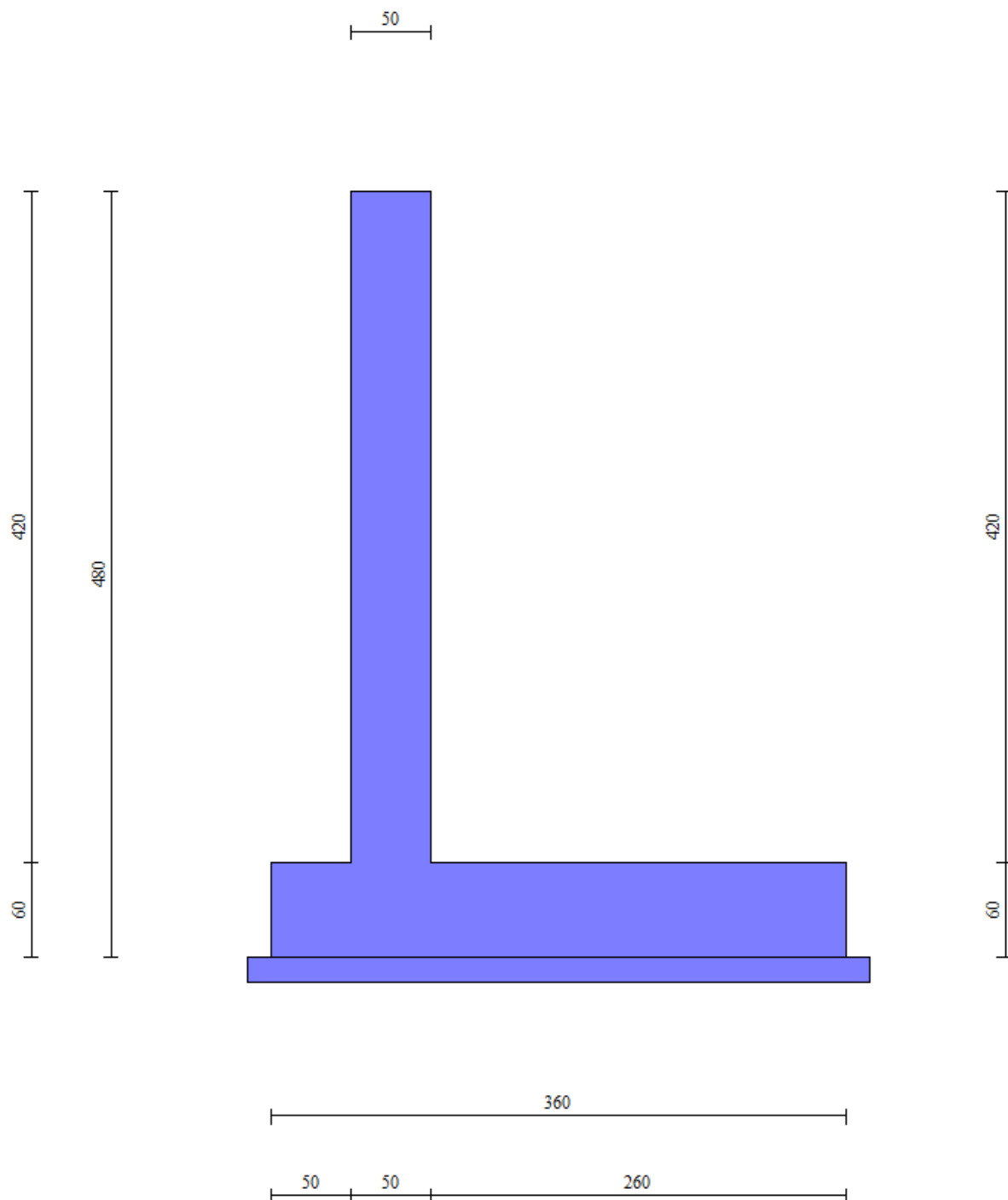
Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	50	6,03	12,06	10,45	0,00	524 (34)	40104 (34)	3688 (34)

## 10. MURO DI SOSTEGNO $4,01 < H \leq 4,70\text{m}$

### 10.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15. Come anticipato, il cordolo di dimensioni  $1,20 \times 0,50\text{m}$  non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente da sommare al peso della barriera fonoassorbente e al peso del sicurvia; per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

### Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro 30,00 [m]

#### Paramento

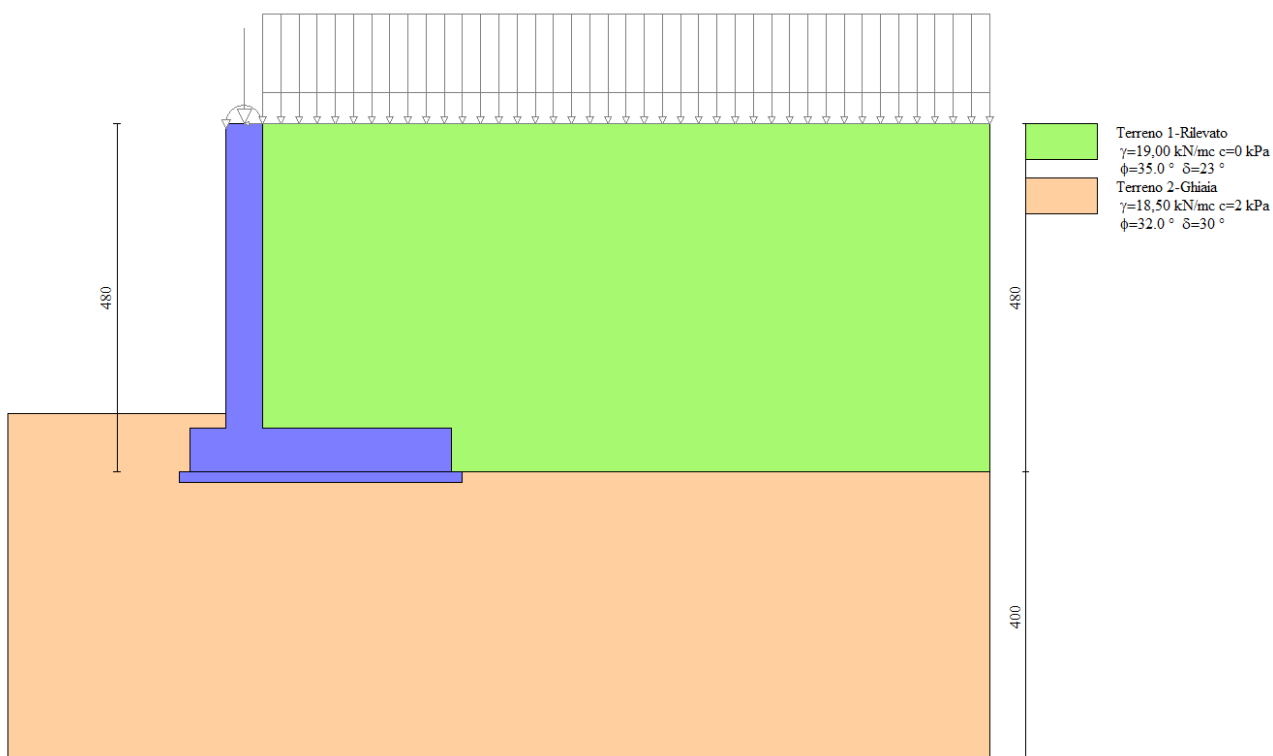
Materiale	Clis Armato	
Altezza paramento	4,20	[m]
Altezza paramento libero	4,00	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,50	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	0,00	[°]

#### Fondazione

Materiale	Clis Armato	
Lunghezza mensola di valle	0,50	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,60	[m]
Lunghezza totale	3,60	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	0,60	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

### 10.2 Stratigrafia del terreno

La stratigrafia del terreno adottata per le verifiche in MAX deriva dalla relazione geotecnica a firma del dott. Annapaola Gradizzi: "Allargamento della carreggiata sud in corrispondenza della salita di Affi tra la prog. Km 201+285 e la prog. Km 203+930". Si è considerato il deposito con caratteristiche geotecniche più scadenti.



### 10.3 Condizioni di carico

A vantaggio di sicurezza, si ipotizza l'installazione di una barriera fonoassorbente di altezza 4.85 m. Pertanto, per il calcolo delle azioni agenti nella sezione di sommità del muro si è tenuto conto di un'altezza montante di 4.50 m e di una geometria del profilo HEB180.

AZIONI IN TESTA AL MURO H=4,7m, altezza complessiva della barriera 4,85m									
riferite ad un metro di larghezza rispetto al punto "o" "									
		(x,y)	Sollecitazioni						
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)			
1.	Montante barriera antirumore (H=4,5m)	0,750	1		1,07	0,80			
2.	Pannello di base in c.a. (h=0,5m circa)	0,750	1		1,79	1,35			
3.	Pannello fonoassorbente in legno (H=4,85m)	0,750	1		1,28	0,96			
4.	Piastra acciaio e rinforzi	0,550	1		0,24	0,13			
5.	Barriera H3 adeguata per BA (ex H4b)	-0,045	1		1,24	-0,06			
6.	Cordolo 1,2 x 0,5	0,250	1		14,63	3,66			
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,338</b>		<b>-</b>	<b>20,25</b>	<b>6,84</b>			
<b>Q1 AZIONE ACC. VENTO</b> Vento p= 2,00 kN/mq									
		(x,y)							
		y'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)			
<b>Q1</b>	<b>AZIONE ACC. VENTO</b>	<b>2,99</b>	<b>1</b>	<b>± 9,70</b>	<b>-</b>	<b>± 29,00</b>			
<b>Q2 AZIONE ACC. URTO</b> ripartito fino alla base del paramento (brip = 0,5+1,30*2+4,2*2)									
<b>Q2</b>	<b>AZIONE ACC. URTO</b>	<b>1,30</b>	<b>1</b>	<b>8,70</b>	<b>-</b>	<b>11,30</b>			

#### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

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

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

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

M Momento espresso in [kNm]

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

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

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

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

D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

#### Condizione n° 1

Pesi permanenti portati del cordolo, del sicurvia e della barriera antirumore:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	0,000	20,250	6,840				

#### Condizione n° 2

Pesi permanenti non strutturali della pavimentazione:

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	6,600	6,600

#### Condizione n° 3

Carichi mobili distribuiti dovuti al traffico:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
		[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Distribuito					0,00	6,00	20,000	20,000

**Condizione n° 4**

Azione eccezionale d'urto:

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	8,700	0,000	11,300				

**Condizione n° 5**

Sollecitazione del vento positiva:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	9,700	0,000	29,00				

**Condizione n° 6**

Sollecitazione del vento negativa:

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.60 - \Psi_1=0.20 - \Psi_2=0.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y	Fx	Fy	M	Xi	Xf	Qi	Qf
			[m]	[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
1	Concentrato	Paramento	-0,25; 0,00	-9,70	0,000	-29,00				

**10.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.7* per l'elenco delle combinazioni di carico considerate nell'analisi.

**10.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati**

Di seguito, si riporta un quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza relativi alle verifiche geotecniche, con evidenziate in grigio le combinazioni più gravose. I fattori di sicurezza sono stati calcolati come rapporto tra la resistenza ultima e la risultante dei carichi agenti e, in seguito, confrontati con i coefficienti **R3** riportati nella Tabelle 6.5.I e 6.8.I del D.M. 14/01/2008.

Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.459		4.091			
2 - STR (A1-M1-R3)		2.745		5.792			
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.053		3.973			

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
4 - STR (A1-M1-R3)		2.596		4.510			
5 - STR (A1-M1-R3)		3.312		7.185			
<b>6 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H - V</b>	<b>1.958</b>		4.025			
7 - STR (A1-M1-R3)		2.935		4.145			
8 - STR (A1-M1-R3)		2.773		4.312			
<b>9 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>2.620</b>		<b>3.956</b>			
10 - STR (A1-M1-R3)		3.261		5.254			
11 - STR (A1-M1-R3)		3.086		5.234			
12 - STR (A1-M1-R3)		2.920		5.692			
13 - STR (A1-M1-R3)		3.217		4.678			
14 - STR (A1-M1-R3)		3.006		4.896			
15 - STR (A1-M1-R3)		2.807		4.354			
16 - STR (A1-M1-R3)		4.056		6.330			
17 - STR (A1-M1-R3)		3.804		6.295			
18 - STR (A1-M1-R3)		3.564		7.230			
19 - GEO (A2-M2-R2)					1.552		
20 - GEO (A2-M2-R2)					1.552		
21 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.462		
22 - GEO (A2-M2-R2)					1.790		
23 - GEO (A2-M2-R2)					1.790		
<b>24 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.440</b>		
25 - EQU			3.028				
26 - EQU			3.874				
27 - EQU	H + V		3.171				
28 - EQU			2.773				
29 - EQU			4.966				
<b>30 - EQU</b>	<b>H - V</b>		<b>2.750</b>				
31 - ECC		3.340	4.858	6.819	2.238		

**10.6 Opzioni di calcolo**

Dati sismici

Comune	Rivoli Veronese
Provincia	Verona
Regione	Veneto
Latitudine	45.571561
Longitudine	10.811929
Indice punti di interpolazione	12061 - 12062 - 11840 - 11839
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
Accelerazione al suolo	a <sub>g</sub> /g	[%]	0.210	0.085
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.462	2.456
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.281	0.257
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C 1.389	1.500



	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	10.867	5.434
Esercizio	0.180	2.739	1.369

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

#### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Mononobe-Okabe
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

#### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Vesic
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Bowles
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna

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

#### Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

### 10.7 Verifiche geotecniche

Si riportano i risultati ottenuti in MAX, considerando le combinazioni di carico più gravose.

#### 10.7.1 Verifica a scorrimento

La combinazione di carico più gravosa per quanto riguarda la verifica a scorrimento è la **COMBINAZIONE n° 6**.

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

#### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]

$P_x, P_y$  Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	$C_x$	$C_y$	$P_x$	$P_y$
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
6	Spinta statica	61,24	23,33	56,23	24,25	2,60	-3,10
	Incremento di spinta sismica		13,78	12,65	5,46	2,60	-3,20
	Peso/inerzia muro			11,57	106,50/-5,79	0,28	-3,32
	Peso/inerzia terrapieno			24,41	224,64/-12,21	1,30	-2,10
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6 - STR (A1-M1-R3) H - V	209,64	0,00	0,00	--	--	209,64	107,07	<b>1.958</b>

**10.7.2 Verifica a carico limite**

La verifica della capacità portante del complesso fondazione-terreno è finalizzata a garantire che le azioni trasmesse dall'opera di sostegno al terreno di fondazione non superino il carico limite che lo stesso può tollerare. Il carico limite del complesso terreno-struttura è determinato mediante il metodo di Vesic.

Per la verifica a carico limite la **COMBINAZIONE n° 9** è risultata la più gravosa.

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
Vento +	1.50	0.60	Sfavorevole
Carico mobile	1.50	1.00	Sfavorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

- lc Indice della combinazione
- A Tipo azione
- I Inclinazione della spinta, espressa in [°]
- V Valore dell'azione, espressa in [kN]
- $C_x, C_y$  Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
- $P_x, P_y$  Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

lc	A	V	I	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	P <sub>x</sub>	P <sub>y</sub>
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
9	Spinta statica	114,81	23,33	105,42	45,47	2,60	-2,88
	Peso/Inerzia muro			0,00	138,45/0,00	0,28	-3,32
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	307,79/0,00	1,30	-2,10
	Risultante forze sul muro			8,73	26,33	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	
9 - STR (A1-M1-R3)	518,03	2049,48	1463,92	<b>3.956</b>

Simbologia adottata

- n° Indice combinazione
  - Nc, Nq, N<sub>γ</sub> Fattori di capacità portante
  - ic, iq, i<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del carico
  - dc, dq, d<sub>γ</sub> Fattori di profondità del piano di posa
  - gc, gq, g<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del profilo topografico
  - bc, bq, b<sub>γ</sub> Fattori di inclinazione del piano di posa
  - sc, sq, s<sub>γ</sub> Fattori di forma della fondazione
  - pc, pq, p<sub>γ</sub> Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
  - r<sub>γ</sub> Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B<sub>γ</sub>N<sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore
  - D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
  - B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
  - H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
  - γ Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
  - φ Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
  - c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
- Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq N <sub>γ</sub>	ic iq i <sub>γ</sub>	dc dq d <sub>γ</sub>	gc gq g <sub>γ</sub>	bc bq b <sub>γ</sub>	sc sq s <sub>γ</sub>	pc pq p <sub>γ</sub>	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
9	35.490 23.177 30.215	0.605 0.622 0.485	1.089 1.061 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	0.936	0,80	3,05 3,25	18,50	32,00	2,5

**10.7.3 Verifica a ribaltamento**

La verifica a ribaltamento consiste nel verificare l'equilibrio alla rotazione intorno al punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

Si riportano i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa **COMBINAZIONE n° 30**.

Combinazione n° 30 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
------------	---	---	---------

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Favorevole

**Spinta e forze**

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

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

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
30	Spinta statica	76,76	19,04	72,56	25,03	2,60	-3,10
	Incremento di spinta sismica		15,11	14,29	4,93	2,60	-3,20
	Peso/inerzia muro			11,57	106,50/-5,79	0,28	-3,32
	Peso/inerzia terrapieno			24,41	224,64/-12,21	1,30	-2,10
	Risultante forze sul muro			2,20	20,25	--	--

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

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

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
30 - EQU H - V	776,31	282,26	<b>2.750</b>

**10.7.4 Verifica di stabilità globale**

La verifica a stabilità globale è di grande importanza specialmente se i terreni sono instabili o se il sovraccarico sul terrapieno è molto elevato. La verifica consiste nel ricercare tra le possibili superfici di rottura quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza.

Il metodo utilizzato dal programma consiste nel suddividere in strisce la superficie di scorrimento, supposta circolare, e individua il valore del coefficiente minimo di sicurezza su una maglia di centri posta in prossimità del muro.

Combinazione n° 24 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole
Carico pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

**Dettagli verifica**

Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
24 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,00; 1,80	7,53	1.440

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

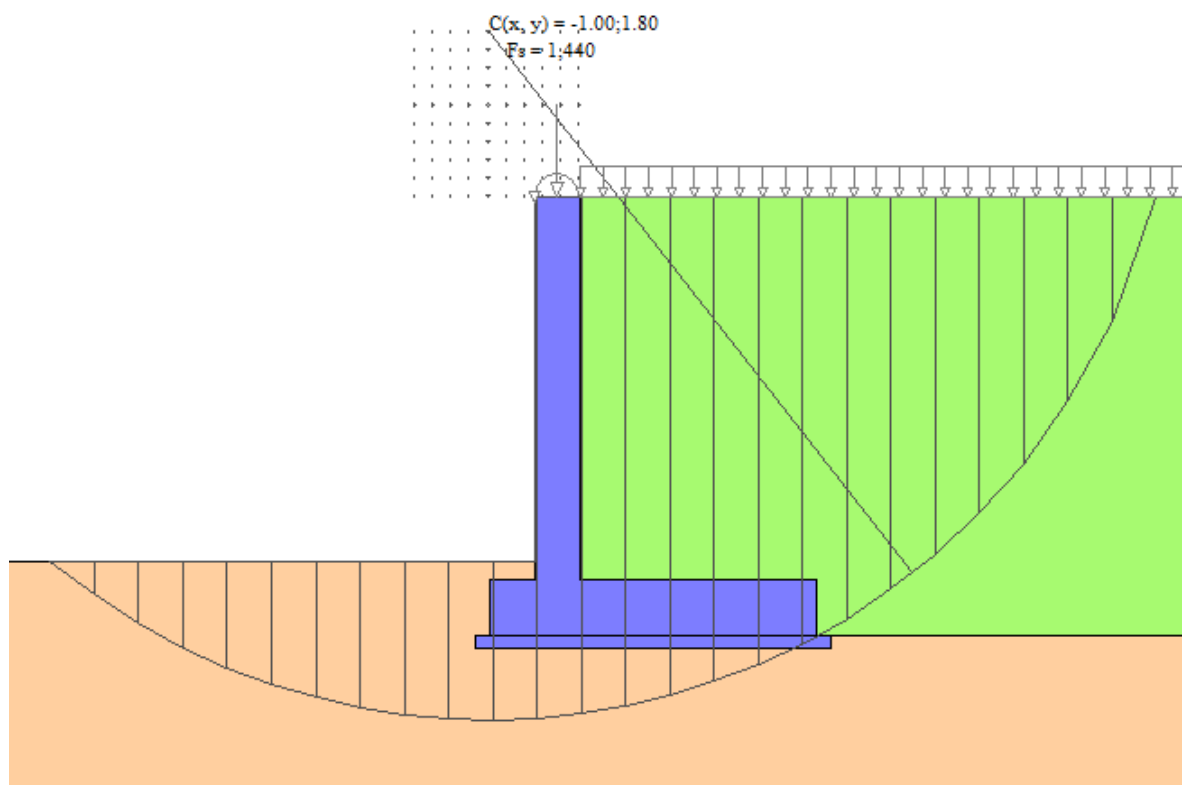
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

- W peso della striscia espresso in [kN]
- Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
- α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
- φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- b larghezza della striscia espressa in [m]
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
- Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	b	α	φ	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	6,25	3,20	6,32 - 0,49	70.304	29.256	0	0,0	
2	16,60	3,20	0,49	61.360	29.256	0	0,0	
3	23,81	3,20	0,49	54.334	29.256	0	0,0	
4	29,45	3,20	0,49	48.383	29.256	0	0,0	
5	34,06	3,20	0,49	43.072	29.256	0	0,0	
6	37,91	3,20	0,49	38.193	29.256	0	0,0	
7	41,16	3,20	0,49	33.623	29.256	0	0,0	
8	43,38	3,20	0,49	29.287	29.256	0	0,0	
9	47,90	3,20	0,49	25.129	26.560	2	0,0	
10	49,77	3,20	0,49	21.108	26.560	2	0,0	
11	51,28	3,20	0,49	17.194	26.560	2	0,0	
12	52,47	3,20	0,49	13.362	26.560	2	0,0	
13	53,36	3,20	0,49	9.590	26.560	2	0,0	
14	65,91	20,32	0,49	5.860	26.560	2	0,0	
15	17,56	0,00	0,49	2.154	26.560	2	0,0	
16	15,79	0,00	0,49	-1.542	26.560	2	0,0	
17	15,39	0,00	0,49	-5.245	26.560	2	0,0	
18	14,85	0,00	0,49	-8.970	26.560	2	0,0	
19	14,01	0,00	0,49	-12.734	26.560	2	0,0	
20	12,87	0,00	0,49	-16.555	26.560	2	0,0	
21	11,41	0,00	0,49	-20.453	26.560	2	0,0	
22	9,61	0,00	0,49	-24.454	26.560	2	0,0	
23	7,42	0,00	0,49	-28.587	26.560	2	0,0	
24	4,76	0,00	0,49	-32.891	26.560	2	0,0	
25	1,60	0,00	-5,81 - 0,49	-36.544	26.560	2	0,0	

Inoltre, si riporta un'illustrazione del cerchio critico con la relativa suddivisione in strisce.



## 10.8 Verifiche strutturali

Nel seguito, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali per le combinazioni di carico più gravose e per entrambi gli elementi di muro, paramento e fondazione. I risultati si riferiscono alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione), la sezione d'incastro della fondazione di valle e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 10.8.1 Sollecitazioni SLU

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
22	-2,10	46,50	60,45	1,72	39,14	-52,36	95,75
43	-4,20	72,75	94,58	38,01	93,99	-10,29	216,47

Fondazione

n°	X	N <sub>min</sub>	N <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
6	-0,50	0,00	0,00	33,49	93,02	8,19	23,55
7	0,00	0,00	0,00	-100,05	37,89	-188,25	80,73

### 10.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]

- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente espressa in [kN]
- Mu momento ultimi espresso in [kNm]
- Nu sforzo normale ultimo espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
22	100	50	3,39	12,06	-52,36	52,58	-72,53	52,57	1.385
43	100	50	3,39	15,46	216,47	78,83	280,90	78,83	1.298

**Fondazione**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
6	100	60	6,03	12,06	23,55	0,00	128,69	0,00	5.464
7	100	60	6,03	12,06	-188,25	0,00	-254,01	0,00	1.349

**10.8.3 Verifiche a taglio SLU**

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espresso in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0)
- V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
22	100	50	0,00	--	0,00	0,00	204,43	39,14	5.224
43	100	50	0,00	--	0,00	0,00	221,53	93,99	2.357

**Fondazione**

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
6	100	60	0,00	--	0,00	0,00	228,11	-93,02	2.452
7	100	60	0,00	--	0,00	0,00	228,11	-100,05	2.280

**10.8.4 Verifiche delle tensioni SLE**

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]
- M momento agente, espressa in [kNm]
- N sforzo normale agente, espressa in [kN]
- σ<sub>c</sub> tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
- σ<sub>fi</sub> tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
- σ<sub>fs</sub> tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

**Combinazioni SLER**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
22	100	50	3,39	12,06	56,21	46,50	2354 (32)	92370 (32)	24206 (32)
43	100	50	3,39	15,46	153,99	72,75	5829 (32)	216150 (32)	61038 (32)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 17430 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 359949 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	60	6,03	12,06	17,35	0,00	637 (32)	54295 (32)	4999 (32)
7	100	60	6,03	12,06	28,15	0,00	1824 (32)	88077 (38)	100066 (32)

**Combinazioni SLEQ**

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
22	100	50	3,39	12,06	16,69	46,50	700 (34)	16196 (34)	8173 (34)
43	100	50	3,39	15,46	72,56	72,75	2794 (34)	90861 (34)	30369 (34)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13073 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 449936 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	σc	σfi	σfs
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
6	100	60	6,03	12,06	12,37	0,00	454 (34)	38710 (34)	3564 (34)
7	100	60	6,03	12,06	-8,64	0,00	251 (34)	2513 (34)	13770 (34)