


**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"

1.3.10	<p><b>RELAZIONI</b> Relazioni di calcolo Muri di controripa senza barriere antirumore</p>
--------	---

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

# Relazione di calcolo muri di controripa senza 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 .....	4
1.5 Impostazioni di analisi geotecnica e strutturale.....	5
1.6 Impostazioni di modellazione .....	8
1.7 Analisi dei carichi .....	9
1.7.1 Carichi permanenti .....	9
1.7.2 Azione sismica .....	10
1.7.3 Combinazioni di carico .....	11
1.8 Verifica delle sezioni di sommità del muro.....	13
1.8.1 Verifiche allo stato limite ultimo .....	14
1.8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio .....	15
<b>2. MURO DI CONTRORIPA <math>1,01 &lt; H \leq 2,50m</math></b>	<b>17</b>
2.1 Caratteristiche geometriche .....	17
2.2 Stratigrafia del terreno .....	18
2.3 Condizioni di carico .....	18
2.4 Combinazioni di carico.....	19
2.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	19
2.6 Opzioni di calcolo.....	20
2.1 Verifiche geotecniche .....	21
2.1.1 Verifica a scorrimento.....	21
2.1.2 Verifica a carico limite.....	22
2.1.3 Verifica a ribaltamento.....	23
2.1.4 Verifica di stabilità globale .....	24
2.2 Verifiche strutturali .....	26
2.2.1 Sollecitazioni SLU .....	26
2.2.2 Verifiche a flessione SLU.....	27
2.2.3 Verifiche a taglio SLU .....	27
2.2.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	28
<b>3. MURO DI CONTRORIPA <math>2,51 &lt; H \leq 3,75m</math></b>	<b>29</b>
3.1 Caratteristiche geometriche .....	29
3.2 Stratigrafia del terreno .....	30
3.3 Condizioni di carico .....	30
3.4 Combinazioni di carico.....	31

3.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	31
3.6 Opzioni di calcolo.....	32
3.7 Verifiche geotecniche.....	32
3.7.1 Verifica a scorrimento.....	33
3.7.2 Verifica a carico limite.....	33
3.7.3 Verifica a ribaltamento.....	35
3.7.4 Verifica di stabilità globale.....	36
3.8 Verifiche strutturali.....	37
3.8.1 Sollecitazioni SLU.....	38
3.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	38
3.8.3 Verifiche a taglio SLU.....	38
3.8.4 Verifiche delle tensioni SLE.....	39
<b>4. MURO DI CONTRORIPA <math>3,76 &lt; H \leq 4,50</math>m</b>	<b>41</b>
4.1 Caratteristiche geometriche.....	41
4.2 Stratigrafia del terreno.....	42
4.3 Condizioni di carico.....	42
4.4 Combinazioni di carico.....	43
4.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	43
4.6 Opzioni di calcolo.....	44
4.7 Verifiche geotecniche.....	45
4.7.1 Verifica a scorrimento.....	45
4.7.2 Verifica a carico limite.....	45
4.7.3 Verifica a ribaltamento.....	47
4.7.4 Verifica di stabilità globale.....	48
4.8 Verifiche strutturali.....	50
4.8.1 Sollecitazioni SLU.....	50
4.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	50
4.8.3 Verifiche a taglio SLU.....	51
4.8.4 Verifiche delle tensioni SLE.....	51
<b>5. MURO DI CONTRORIPA <math>4,51 &lt; H \leq 5,00</math>m</b>	<b>53</b>
5.1 Caratteristiche geometriche.....	53
5.2 Stratigrafia del terreno.....	54
5.3 Condizioni di carico.....	54
5.4 Combinazioni di carico.....	55
5.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	55
5.6 Opzioni di calcolo.....	56
5.7 Verifiche geotecniche.....	57
5.7.1 Verifica a scorrimento.....	57
5.7.2 Verifica a carico limite.....	57

5.7.3 Verifica a ribaltamento.....	59
5.7.4 Verifica di stabilità globale .....	60
5.8 Verifiche strutturali .....	62
5.8.1 Sollecitazioni SLU .....	62
5.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	62
5.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	63
5.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	63

**6. MURO DI CONTRORIPA 5,01<H≤6,00m 65**

6.1 Caratteristiche geometriche .....	65
6.2 Stratigrafia del terreno .....	66
6.3 Condizioni di carico .....	66
6.4 Combinazioni di carico.....	67
6.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	67
6.6 Opzioni di calcolo.....	68
6.7 Verifiche geotecniche .....	68
6.7.1 Verifica a scorrimento.....	69
6.7.2 Verifica a carico limite.....	69
6.7.3 Verifica a ribaltamento.....	71
6.7.4 Verifica di stabilità globale .....	72
6.8 Verifiche strutturali .....	73
6.8.1 Sollecitazioni SLU .....	74
6.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	74
6.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	74
6.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	75

**7. MURO DI CONTRORIPA 6,01<H≤6,50m 77**

7.1 Caratteristiche geometriche .....	77
7.2 Stratigrafia del terreno .....	78
7.3 Condizioni di carico .....	78
7.4 Combinazioni di carico.....	79
7.5 Quadro riassuntivo dei coefficienti di sicurezza calcolati.....	79
7.6 Opzioni di calcolo.....	80
7.7 Verifiche geotecniche .....	81
7.7.1 Verifica a scorrimento.....	81
7.7.2 Verifica a carico limite.....	82
7.7.3 Verifica a ribaltamento.....	83
7.7.4 Verifica di stabilità globale .....	84
7.8 Verifiche strutturali .....	86
7.8.1 Sollecitazioni SLU .....	86
7.8.2 Verifiche a flessione SLU.....	86

7.8.3 Verifiche a taglio SLU .....	87
7.8.4 Verifiche delle tensioni SLE .....	87

## 1. PREMESSA

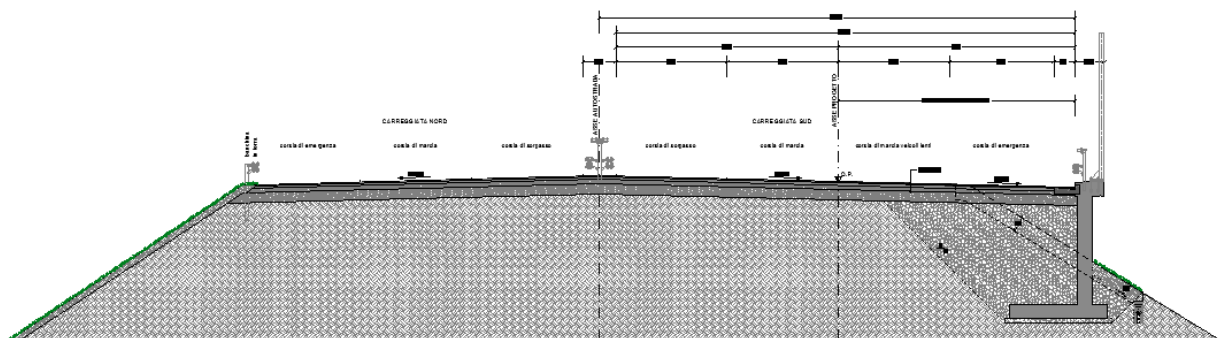
### 1.1 Descrizione dell'intervento

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".

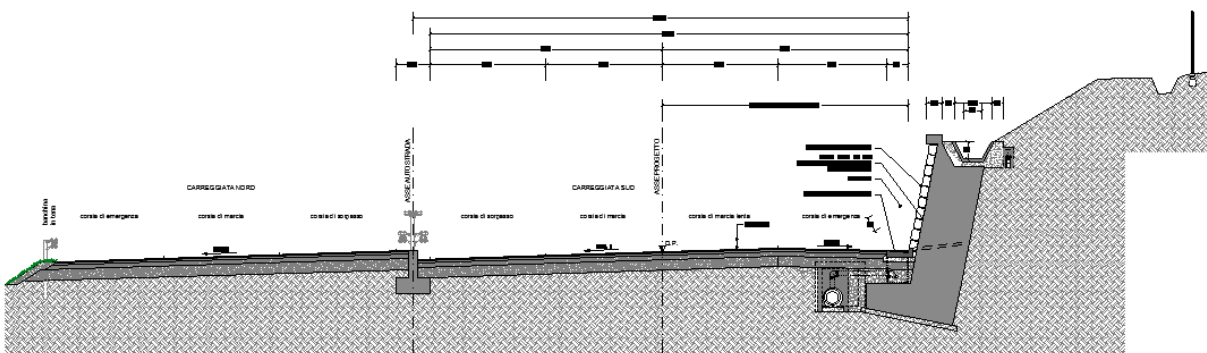
Il progetto prevede in particolare l'allargamento di 4.50 m della carreggiata sud, l'ampliamento delle opere d'arte ricomprese nel tratto citato in oggetto (il ponte sul canale S.I.M.A. e il viadotto delle Zuane) e la demolizione dei sovrappassi esistenti n° 68 e 69 seguita, in un secondo tempo, dalla 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 ai muri di controripa su cui non è prevista l'installazione di una barriera antirumore (sez. 66-79, sez. 96-118, sez. 123-173), demandando ad altre relazioni la verifica dei muri di sostegno senza barriera antirumore e dei muri di sostegno e di controripa con barriera antirumore.

Si riportano i calcoli relativamente alle seguenti altezze di muro:

- $1.01\text{m} < H \leq 2.50\text{m}$  (prima di sez.66 e sez. 79, prima di sez. 96, sez.118, sez. 123, sez. 169-173);
- $2.51\text{m} < H \leq 3.75\text{m}$  (sez. 66, sez.78-79, sez. 96, sez. 123-124, sez. 160-169);
- $3.76\text{m} < H \leq 4.50\text{m}$  (sez. 66, sez.78-79, dopo sez. 96, sez. 110-115);
- $4.51\text{m} < H \leq 5.00\text{m}$  (sez. 66, sez.78-79, sez. 96-110, sez. 124-146, sez. 152-160);
- $5.01\text{m} < H \leq 6.00\text{m}$  (sez. 66, sez.78-79, sez. 115-118, sez. 146-152);
- $6.01\text{m} < H \leq 6.50\text{m}$  (sez. 66-78).

## 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:  $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

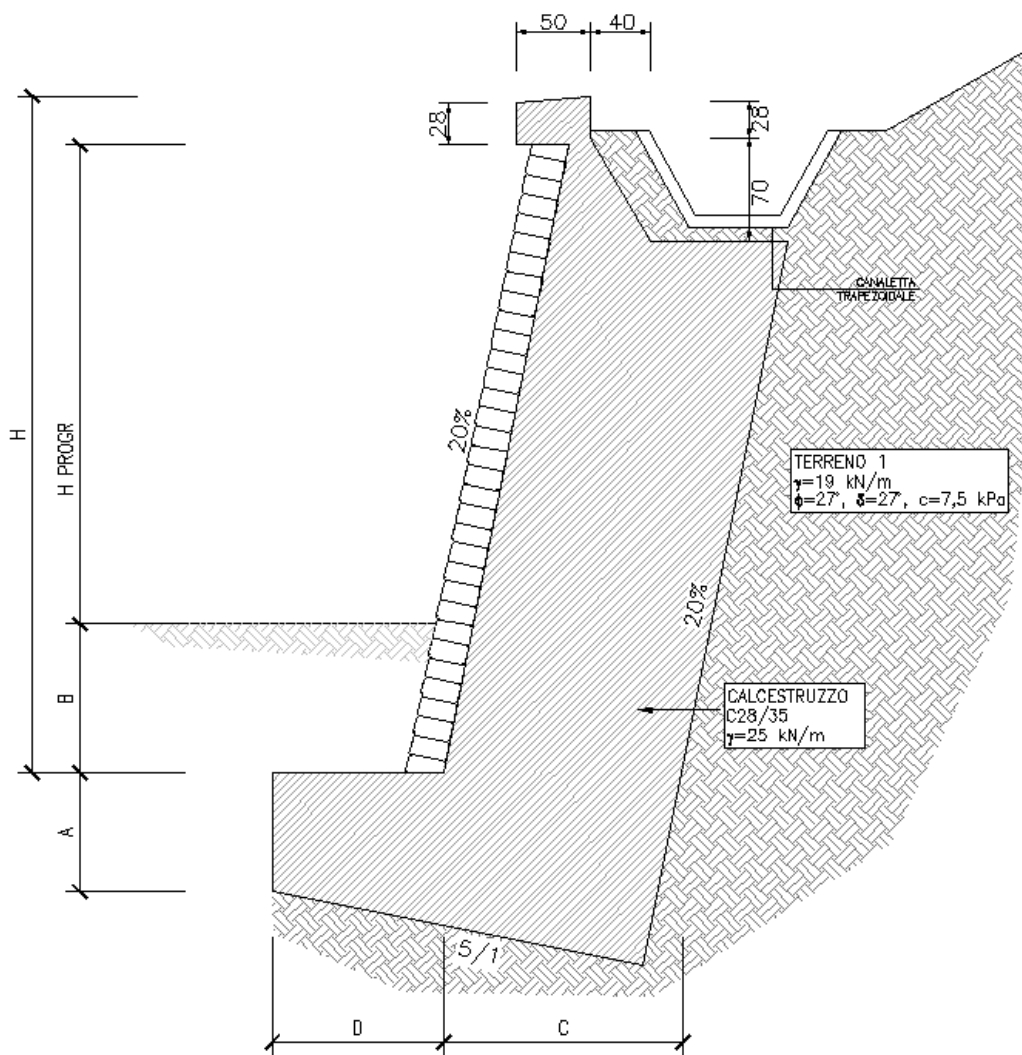
Carpenterie: acciaio tipo S 355 J2  
Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$  per  $t \leq 40 \text{ mm}$   
 $f_{tk} \geq 470 \text{ N/mm}^2$  per  $t > 40 \text{ mm}$   
Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$  per  $t \leq 40 \text{ mm}$   
 $f_{yk} \geq 335 \text{ N/mm}^2$  per  $t > 40 \text{ mm}$

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

Acciaio per sicurvia: 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 del muro di controripa.

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



## 1 PREMESSA

### 1.2 Caratteristiche dei materiali e geometria

### 1.3 Considerazioni geotecniche

Le opere in oggetto presentano lateralmente e in fondazione **terreno naturale**. Le caratteristiche geotecniche del terreno naturale presente in sito sono state ricavate 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".

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	$c = 7,5 \text{ kPa}$

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 dei muri di controripa, 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:

- 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 è considerato solo il seguente caso di combinazione delle azioni:

- carichi permanenti in assenza e presenza di sisma.

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 1.7.3* 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 Culmann che assume le stesse ipotesi della teoria di Coulomb. La differenza sostanziale è che la teoria di Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che consente

di ottenere un'espressione in forma chiusa per la spinta), il metodo di Culmann consente invece di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Per la verifica di **stabilità globale** si è adottato 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  $i_{\text{esima}}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{\text{esima}}$ ,  $c_i$  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.

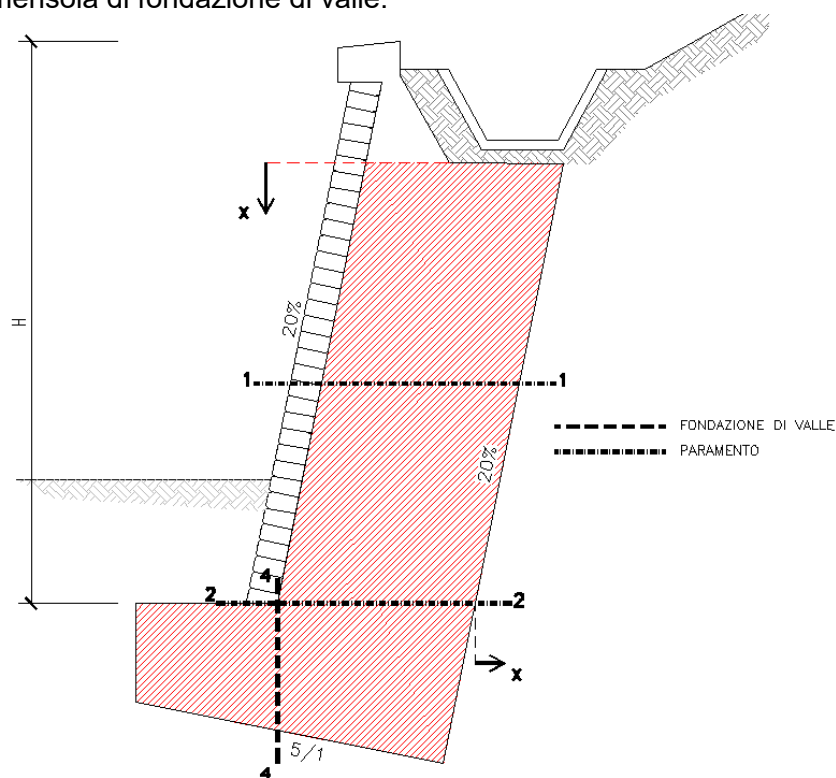
Per non appesantire troppo l'elaborato, non sono riportati i risultati della verifica a fessurazione, comunque, soddisfatta per tutte le combinazioni di carico agli SLE.

### 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 della soluzione progettuale con evidenziate le sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento e le sezioni d'incastro della mensola di fondazione di valle.



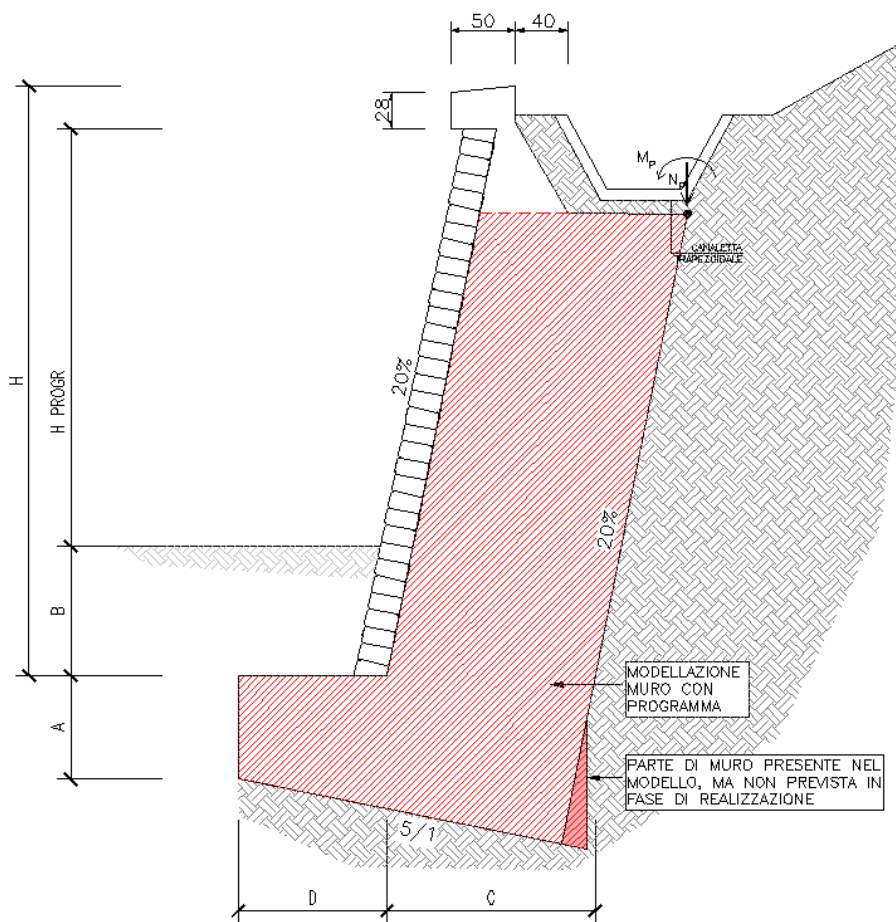
## 1.6 Impostazioni di modellazione

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

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 della stesso come carico permanente da applicare in sommità al muro. Le verifiche del cordolo saranno oggetto di specifica analisi nel *paragrafo 1.8*.

Un altro aspetto non incluso nella modellazione è la parete chiodata a tergo del muro; il software MAX non prevede, infatti, l'inserimento di tale condizione nel modello. Tuttavia, trascurarne la presenza è vantaggioso da un punto di vista della sicurezza poiché si introduce un'aliquota di spinta non effettivamente agente sull'opera.

Inoltre, si precisa che, poiché il programma di calcolo MAX non consente di annullare la mensola di fondazione di monte, non è stato possibile riprodurre la reale conformazione del muro con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Pertanto, come si osserva in figura, si è deciso di mantenere lo spessore del paramento conforme alle prescrizioni di progetto e di allungare la base di fondazione per garantire la lunghezza minima di mensola di fondazione di monte richiesta dal programma. Ai fini delle verifiche geotecniche, tale scelta comporta sicuramente una condizione più favorevole, ma più vicina alla situazione reale; tuttavia, per completezza, sono state effettuate anche le verifiche nella situazione più gravosa di lunghezza di base di fondazione pari a quella di progetto e spessore del paramento inferiore rispetto alle indicazioni progettuali, risultando comunque soddisfatte. Per non appesantire la trattazione, in relazione sono stati inseriti solo i risultati del modello con spessore paramento come da indicazioni progettuali e base di fondazione leggermente maggiore.



## 1.7 Analisi dei carichi

### 1.7.1 Carichi permanenti

I carichi permanenti strutturali sono: il peso proprio del muro ( $\gamma_{CLS} = 25.0 \text{ kN/m}^3$ ), il peso del terreno ( $\gamma_t = 18.5 \text{ kN/m}^3$ ) e la spinta dello stesso. I carichi permanenti non strutturali sono invece: il peso del cordolo e il peso della parte sommitale del muro non incluso nella modellazione. 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 comprensivo della parte di paramento non inclusa nella modellazione pesa 10.73 kN/m.

Si riportano le azioni permanenti non strutturali in testa al muro di controripa H=2,50m, considerando come punto di applicazione dei carichi il punto più a monte della sezione di sommità del paramento.

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=2,5m</b>						
riferite all'origine in MAX		(x,y)		Sollecitazioni		
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,998	1		10,73	10,71
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,999</b>		<b>-</b>	<b>10,73</b>	<b>10,71</b>

### 1.7.2 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. Il metodo di Culmann considera in automatico l'incremento di spinta sismica inserendo nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata rispetto all'orizzontale della corrispondente superficie in assenza di sima.

### 1.7.3 Combinazioni di carico

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

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

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

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

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

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

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

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

#### Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

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

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

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

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

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

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

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

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

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

Combinazione n° 10 - 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

Combinazione n° 11 - EQU H + V, \*

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

Combinazione n° 12 - 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

Combinazione n° 13 - 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

Combinazione n° 14 - 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

Combinazione n° 15 - SLEQ

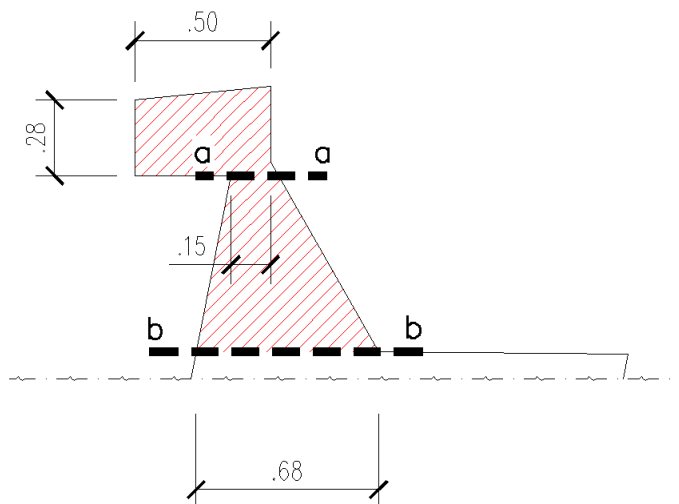
Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole

**Note**

\* Al fine di considerare le condizioni più critiche nei confronti della verifica a ribaltamento (combinazioni dalla n° 10 alla n°12), 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 nelle sezioni **a-a** e **b-b** indicate in figura.



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

### **SEZIONE a-a**

b = 100 cm  
h = 15 cm  
d = 10 cm  
As = 5φ12

### **SEZIONE b-b**

b = 100 cm  
h = 68 cm  
d = 63 cm  
As = 5φ12

#### **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.

<b>AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ.a-a - SLU</b>		(x,y)	Sollecitazioni			
		x' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,175	1,3		4,98	0,87
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,175</b>		-	<b>4,98</b>	<b>0,87</b>

<b>AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ.b-b - SLU</b>		(x,y)	Sollecitazioni			
		x' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,143	1,3		13,97	2,00
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,143</b>		-	<b>13,97</b>	<b>2,00</b>

Considerando la seguente convenzione dei segni:

#### 1 PREMESSA

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



Le verifiche a pressoflessione risultano soddisfatte come si evince dai diagrammi sottostanti.

**VERIFICA A FLESSIONE**

Azioni di calcolo

Sezione "a-a"	
$M_{sdu} =$	0,87 kNm
$N_{sdu} =$	4,98 kN
Af sup =	5φ12
Af inf =	-
h sez. =	0,15 m

Sezione "b-b"	
$M_{sdu} =$	2,00 kNm
$N_{sdu} =$	13,97 kN
Af sup =	5φ12
Af inf =	-
h sez. =	0,68 m

**Sezione "a-a"**

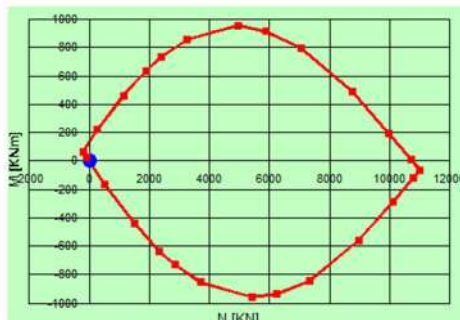
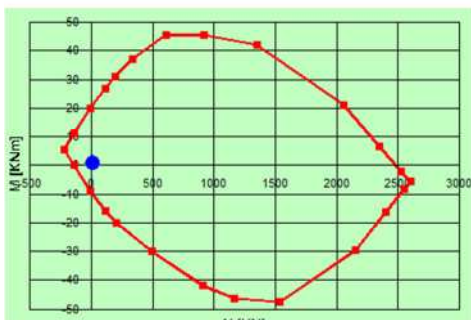
**Verifica**

x	1,959 cm
x/d	0,1959
$\varepsilon_c$	2,437 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b><math>M_{rd}</math></b>	<b>20,76 kNm</b>

**Sezione "b-b"**

**Verifica**

x	4,455 cm
x/d	0,07071
$\varepsilon_c$	0,7609 ‰
$\varepsilon_s$	10 ‰
<b><math>M_{rd}</math></b>	<b>140,4 kNm</b>



**1.8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio**

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

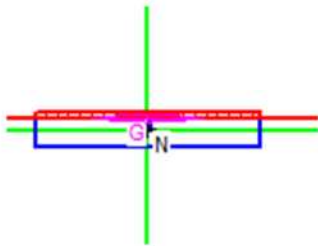
AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ.a-a - SLE						
	(x,y)	$x''$ (m)	Sollecitazioni			
			$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,175	1	-	3,83	0,67
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,175</b>			<b>3,83</b>	<b>0,67</b>

AZIONI PER VERIFICA CORDOLO SEZ.b-b - SLE						
	(x,y)	$x''$ (m)	Sollecitazioni			
			$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,143	1	-	10,74	1,54
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,143</b>			<b>10,74</b>	<b>1,54</b>

Le verifiche tensionali sono riassunte nel seguito:

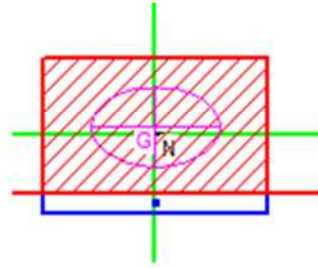
Sezione "a-a"	
$M_{sdu} =$	0,67 kNm
$N_{sdu} =$	3,83 kN
Af sup =	5φ12
Af inf =	-
h sez. =	0,15 m

$\sigma_c =$	1,121 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s =$	17,51 N/mm <sup>2</sup>



Sezione "b-b"	
$M_{sdu} =$	1,54 kNm
$N_{sdu} =$	10,74 kN
Af sup =	5φ12
Af inf =	-
h sez. =	0,68 m

$\sigma_c =$	0,036 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s =$	0,035 N/mm <sup>2</sup>

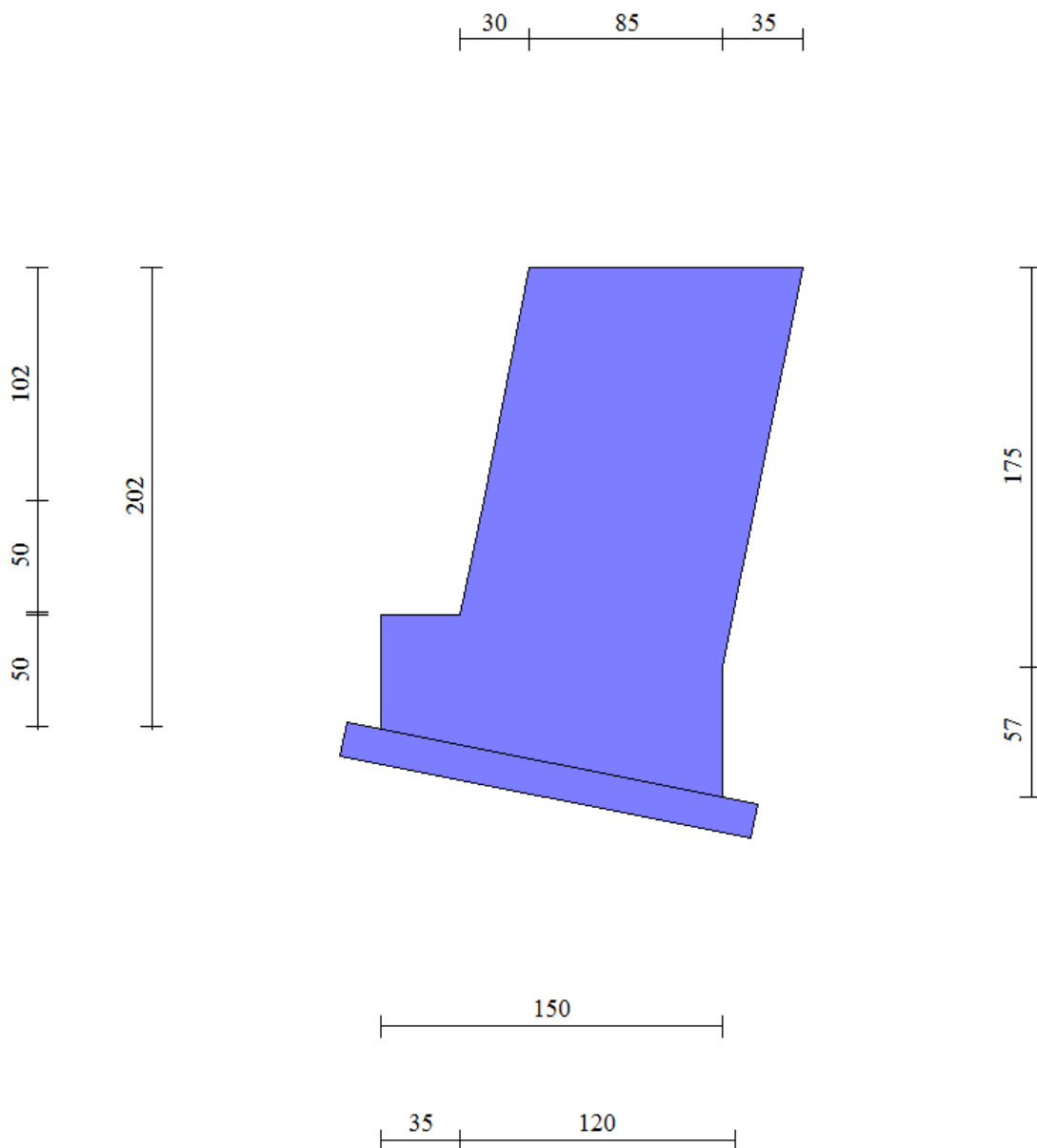


Le sezioni sono verificate:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,a-a} &= 17,510 < \sigma_s^R = 0,8f_{yk} = 360 \text{ MPa} \\ \sigma_{s,b-b} &= 0,035 < \sigma_s^R = 0,8f_{yk} = 360 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,a-a} &= 1,121 < \sigma_c^R = 0,6f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,b-b} &= 0,036 < \sigma_c^R = 0,6f_{ck} = 16,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

## 2. MURO DI CONTRORIPA $1,01 < H \leq 2,50\text{m}$

### 2.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale

C28/35

Altezza paramento

1,52

[m]

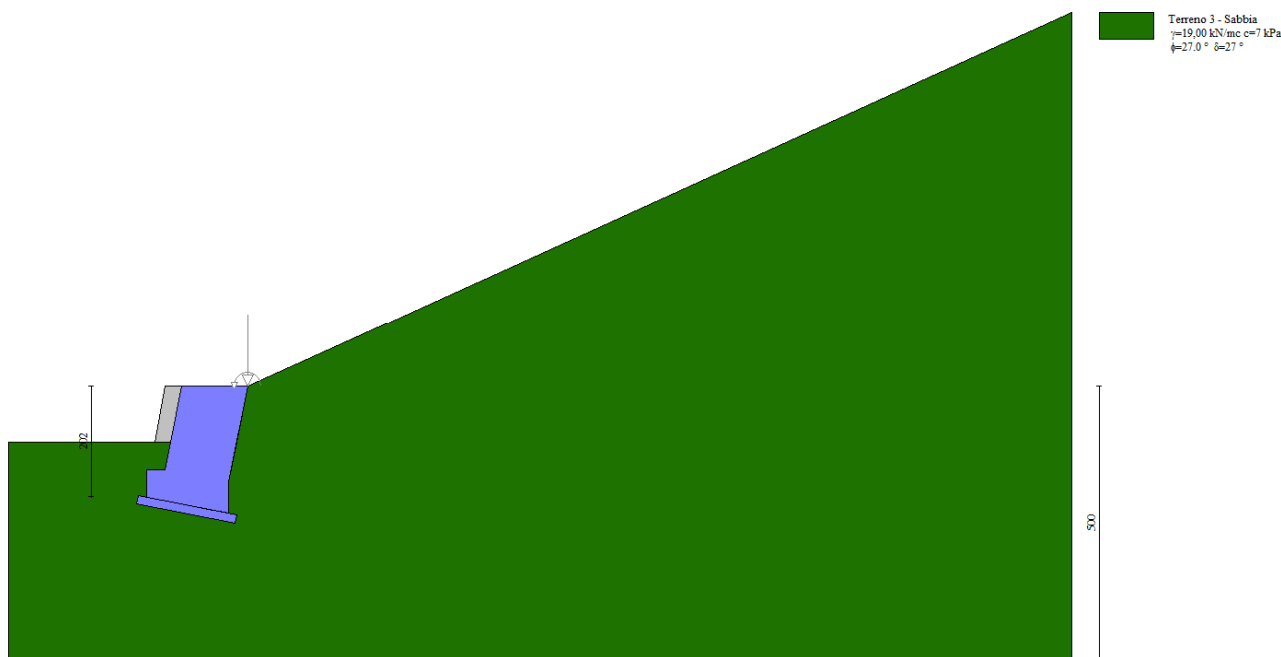
Altezza paramento libero	1,02	[m]
Spessore in sommità	1,20	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,20	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

**Fondazione**

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	0,35	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	1,55	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	0,50	[m]
Altezza valle interna	0,57	[m]
Altezza monte interna	0,57	[m]
Altezza monte esterna	0,57	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**2.2 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.



**2.3 Condizioni di carico**

AZIONI IN TESTA AL MURO H=2,5m						
riferite all'origine in MAX		(x,y)		Sollecitazioni		
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	0,998	1		10,73	10,71
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>0,999</b>		-	<b>10,73</b>	<b>10,71</b>

2 MURO DI CONTRORIPA 1,01<H≤2,50m

2.2 Stratigrafia del terreno



**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:*

*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	0,00; 0,00	0,000	10,730	10,710				

**2.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		100.000		4.612			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	100.000		7.642			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	100.000		8.394			
<b>4 - STR (A1-M1-R3)</b>		<b>100.000</b>		<b>3.610</b>			
5 - STR (A1-M1-R3)		100.000		4.612			
6 - STR (A1-M1-R3)		100.000		3.610			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.965		
<b>8 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H + V</b>				<b>1.505</b>		
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.513		

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 - EQU			7.851				
11 - EQU	H + V		4.533				
12 - EQU	H - V		3.911				

## 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	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
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
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	Culmann
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° 4**.

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	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]
4	Spinta statica	4,31	18,42	4,09	1,36	0,00	-2,00
	Peso/inerzia muro			0,00	89,48/0,00	-0,85	-1,14
	Peso/inerzia rivestimento			0,00	7,96	0,00	0,00
	Diagramma correttivo			1,06		0,00	-0,73
	Risultante forze sul muro			0,00	13,95	--	--

### 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 [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
4 - STR (A1-M1-R3)	56,74	0,00	0,00	--	--	56,74	4,09	100.000

**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° 4** è risultata la più gravosa.

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
carico permanente	1.30	--	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]
4	Spinta statica	4,31	18,42	4,09	1,36	0,00	-2,00
	Peso/inerzia muro			0,00	89,48/0,00	-0,85	-1,14
	Peso/inerzia rivestimento			0,00	7,96	0,00	0,00
	Diagramma correttivo			1,06		0,00	-0,73
	Risultante forze sul muro			0,00	13,95	--	--

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 [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
4 - STR (A1-M1-R3)	111,36	401,95	287,10	<b>3.610</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

sc, sq, sy Fattori di forma della fondazione  
 pc, pq, py Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic  
 ry Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia  $0.5B\gamma_N$ , viene moltiplicato per questo fattore  
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]  
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]  
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 $\gamma$  Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]  
 $\phi$  Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]  
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]  
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	ry	D [m]	B' H [m]	$\gamma$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	c [kPa]
4	23.942 13.199 14.470	0.681 0.706 0.591	1.253 1.192 1.000	1.000 1.000 1.000	0.923 0.809 0.809	-- -- --	-- -- --	1.000	1,00	1,05 1,29	19,00	27,00	7

### 2.1.3 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° 12**.

Combinazione n° 12 - 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

### 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]
12	Spinta statica	5,28	13,60	5,13	1,24	0,00	-1,97
	Incremento di spinta sismica		3,62	3,52	0,85	0,00	-1,56
	Peso/Inerzia muro			7,48	68,83/-3,74	-0,85	-1,14
	Peso/Inerzia rivestimento			0,00	7,96	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	
12 - EQU H - V	104,02	26,60	<b>3.911</b>

**2.1.4 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° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

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

Dettagli verifica

Simbologia adottata

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

lc	C	R	FS
	[m]	[m]	
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	0,00; 7,80	10,14	<b>1.505</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]

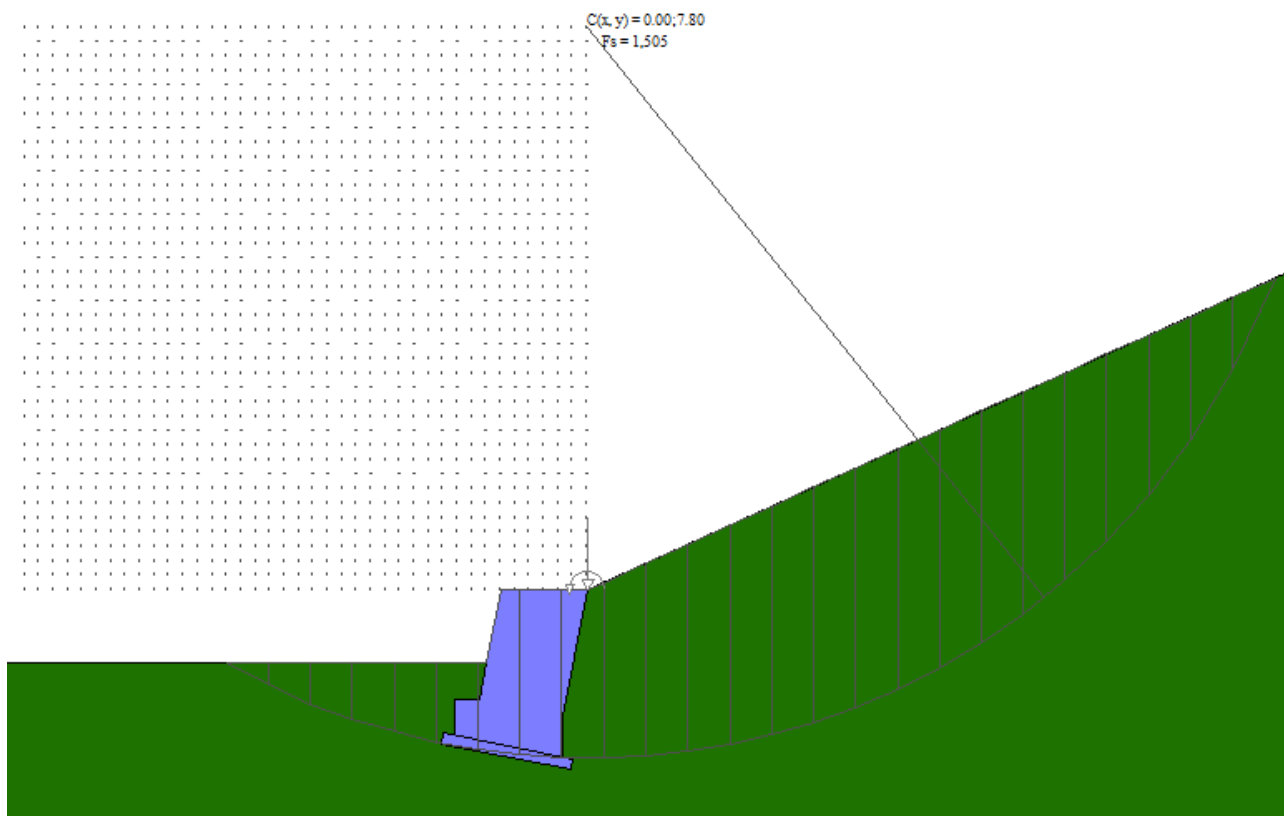
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
----	---	----	---	----------	--------	---	---	--------

2 MURO DI CONTRORIPA 1,01<H≤2,50m

2.1 Verifiche geotecniche

	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	5,62	0,00	9,53 - 0,58	65.567	22.177	6	0,0	
2	15,09	0,00	0,58	58.820	22.177	6	0,0	
3	21,74	0,00	0,58	52.915	22.177	6	0,0	
4	26,62	0,00	0,58	47.742	22.177	6	0,0	
5	30,25	0,00	0,58	43.046	22.177	6	0,0	
6	32,91	0,00	0,58	38.689	22.177	6	0,0	
7	34,79	0,00	0,58	34.585	22.177	6	0,0	
8	36,00	0,00	0,58	30.676	22.177	6	0,0	
9	36,62	0,00	0,58	26.920	22.177	6	0,0	
10	36,72	0,00	0,58	23.285	22.177	6	0,0	
11	36,34	0,00	0,58	19.748	22.177	6	0,0	
12	35,52	0,00	0,58	16.288	22.177	6	0,0	
13	34,28	0,00	0,58	12.888	22.177	6	0,0	
14	32,64	0,00	0,58	9.534	22.177	6	0,0	
15	30,62	0,00	0,58	6.212	22.177	6	0,0	
16	28,22	0,00	0,58	2.912	22.177	6	0,0	
17	27,79	10,73	0,58	-0.379	22.177	6	0,0	
18	32,81	0,00	0,58	-3.671	22.177	6	0,0	
19	26,17	0,00	0,58	-6.975	22.177	6	0,0	
20	16,39	0,00	0,58	-10.303	22.177	6	0,0	
21	11,34	0,00	0,58	-13.666	22.177	6	0,0	
22	9,57	0,00	0,58	-17.079	22.177	6	0,0	
23	7,37	0,00	0,58	-20.555	22.177	6	0,0	
24	4,73	0,00	0,58	-24.113	22.177	6	0,0	
25	1,60	0,00	-5,01 - 0,58	-27.088	22.177	6	0,0	

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



## 2.2 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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 2.2.1 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]
10	-0,88	36,48	47,43	0,25	4,02	0,38	2,40
19	-1,75	62,24	80,91	0,72	7,00	-9,94	-1,42

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]
5	-1,50	0,00	0,00	1,58	11,34	0,09	2,38



### 2.2.2 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]	
10	100	120	0,00	5,65	2,40	36,48	272,94	36,48	191.331
19	100	120	0,00	5,65	-9,94	80,91	-53,22	80,91	4.963

#### Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
5	100	57	5,65	5,65	2,38	0,00	114,33	0,00	80.819

### 2.2.3 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 '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]	
10	100	120	0,00	--	0,00	0,00	377,58	4,02	93.815
19	100	120	0,00	--	0,00	0,00	381,31	7,00	54.447

#### 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]	
5	100	57	0,00	--	0,00	0,00	207,22	-11,34	18.270

### 2.2.4 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]
10	100	120	0,00	5,65	0,38	36,48	32 (13)	423 (13)	0 (13)
19	100	120	0,00	5,65	-7,65	62,24	82 (13)	1194 (13)	0 (13)

##### 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]
5	100	57	5,65	5,65	0,09	0,00	4 (13)	323 (13)	31 (13)

#### 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]
10	100	120	0,00	5,65	0,38	36,48	32 (15)	423 (15)	0 (15)
19	100	120	0,00	5,65	-7,65	62,24	82 (15)	1194 (15)	0 (15)

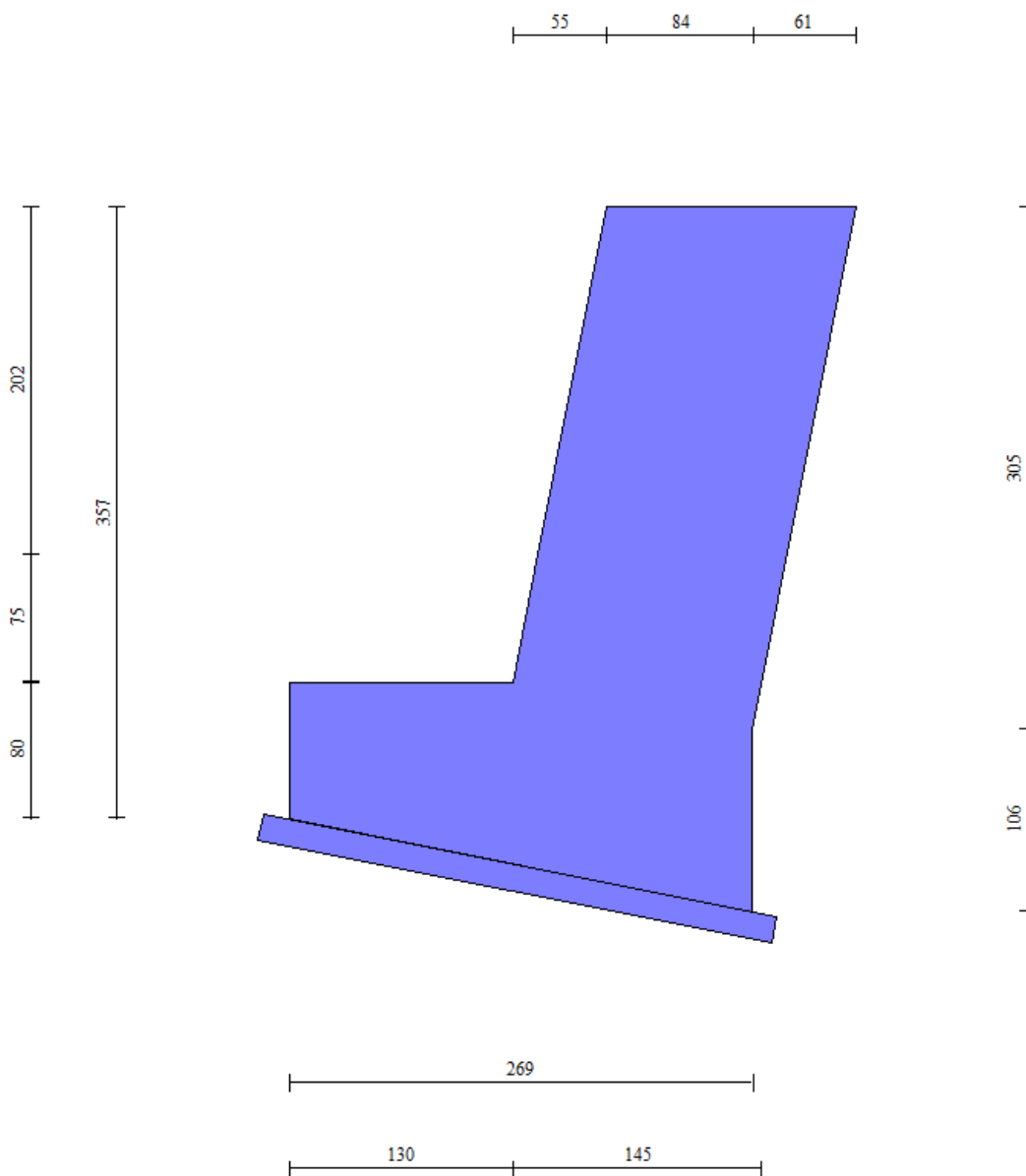
##### Fondazione

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]
5	100	57	5,65	5,65	0,09	0,00	4 (15)	323 (15)	31 (15)

### 3. MURO DI CONTRORIPA $2,51 < H \leq 3,75m$

#### 3.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale

C28/35

Altezza paramento

2,77

[m]

Altezza paramento libero	2,02	[m]
Spessore in sommità	1,45	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,45	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

**Fondazione**

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	1,30	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	2,75	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	0,80	[m]
Altezza valle interna	1,06	[m]
Altezza monte interna	1,06	[m]
Altezza monte esterna	1,06	[m]
Spessore magrone	0,15	[m]

**3.2 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.



**3.3 Condizioni di carico**

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=3,5m</b>						
riferite all'origine in MAX		(x,y)	Sollecitazioni			
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	1,198	1	-	10,73	12,85
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>1,198</b>		<b>-</b>	<b>10,73</b>	<b>12,85</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:*

*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	0,00; 0,00	0,000	10,730	12,850				

**3.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		5.956		5.245			
<b>2 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H + V</b>	<b>1.639</b>		<b>3.099</b>			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.666		3.461			
4 - STR (A1-M1-R3)		16.580		4.828			
5 - STR (A1-M1-R3)		5.956		5.245			
6 - STR (A1-M1-R3)		16.580		4.828			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.459		
<b>8 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H + V</b>				<b>1.192</b>		
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.193		
10 - EQU			6.988				
11 - EQU	H + V		2.798				
<b>12 - EQU</b>	<b>H - V</b>		<b>2.653</b>				

### 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	$a_q$	[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	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	Culmann
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° 2**.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	30,11	18,56	28,55	9,58	0,00	-3,47
	Incremento di spinta sismica		84,54	80,15	26,91	0,00	-2,77
	Peso/inerzia muro			18,40	169,30/9,20	-1,35	-2,19
	Peso/inerzia rivestimento			1,32	12,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

### 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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	131,78	0,00	0,00	--	--	131,78	129,58	1.639

### 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° 2** è risultata la più gravosa.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	30,11	18,56	28,55	9,58	0,00	-3,47
	Incremento di spinta sismica		84,54	80,15	26,91	0,00	-2,77
	Peso/Inerzia muro			18,40	169,30/9,20	-1,35	-2,19
	Peso/Inerzia rivestimento			1,32	12,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	258,64	801,45	572,46	<b>3.099</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  $0.5B\gamma N_{\gamma}$ , viene moltiplicato per questo fattore
- D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
- B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
- H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
- $\gamma$  Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
- $\phi$  Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
- c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]



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

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	ry	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/m c]	[°]	[kPa]
2	23.942 13.199 14.470	0.445 0.487 0.336	1.221 1.168 1.000	1.000 1.000 1.000	0.923 0.809 0.809	-- -- --	-- -- --	0.963	1,55	2,28 2,29	19,00	27,00	7

### 3.7.3 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° 12**.

Combinazione n° 12 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
12	Spinta statica	101,48	13,74	98,58	24,10	0,00	-3,20
	Incremento di spinta sismica		168,49	163,67	40,01	0,00	-2,77
	Peso/inerzia muro			18,40	169,30/-9,20	-1,35	-2,19
	Peso/inerzia rivestimento			1,32	12,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

### 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]	
12 - EQU H - V	617,64	232,83	<b>2.653</b>

### 3.7.4 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° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]	
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-0,40; 7,80	11,92	<b>1.192</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]

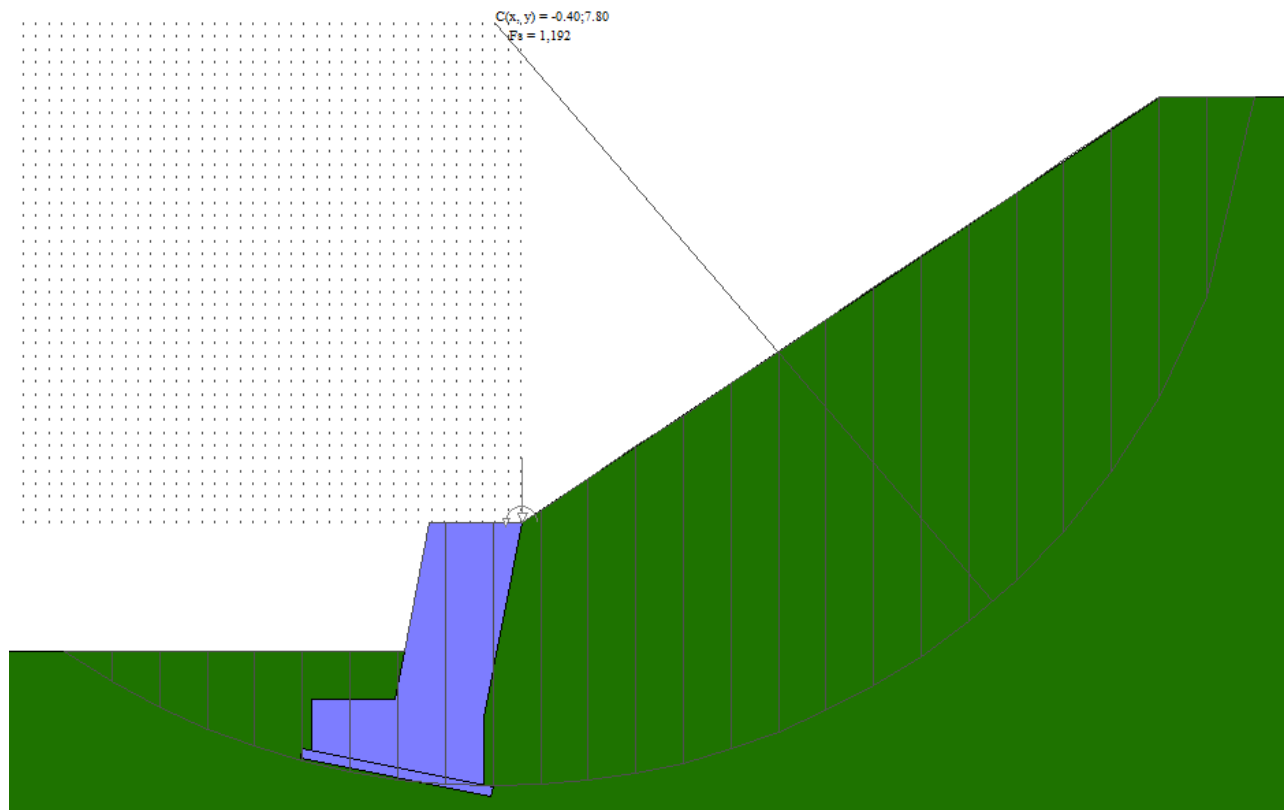
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	22,22	0,00	11,48 - 0,75	76.621	22.177	6	0,0	
2	55,69	0,00	0,75	64.814	22.177	6	0,0	
3	71,49	0,00	0,75	57.280	22.177	6	0,0	
4	79,22	0,00	0,75	51.105	22.177	6	0,0	
5	84,13	0,00	0,75	45.683	22.177	6	0,0	
6	87,05	0,00	0,75	40.749	22.177	6	0,0	
7	88,41	0,00	0,75	36.161	22.177	6	0,0	

3 MURO DI CONTRORIPA 2,51<H≤3,75m

3.7 Verifiche geotecniche

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
8	88,50	0,00	0,75	31.830	22.177	6	0,0	
9	87,51	0,00	0,75	27.695	22.177	6	0,0	
10	85,55	0,00	0,75	23.712	22.177	6	0,0	
11	82,73	0,00	0,75	19.847	22.177	6	0,0	
12	79,11	0,00	0,75	16.075	22.177	6	0,0	
13	74,74	0,00	0,75	12.374	22.177	6	0,0	
14	69,66	0,00	0,75	8.725	22.177	6	0,0	
15	63,90	0,00	0,75	5.111	22.177	6	0,0	
16	61,67	10,73	0,75	1.517	22.177	6	0,0	
17	73,71	0,00	0,75	-2.070	22.177	6	0,0	
18	58,75	0,00	0,75	-5.666	22.177	6	0,0	
19	31,62	0,00	0,75	-9.284	22.177	6	0,0	
20	28,29	0,00	0,75	-12.941	22.177	6	0,0	
21	22,60	0,00	0,75	-16.652	22.177	6	0,0	
22	19,05	0,00	0,75	-20.436	22.177	6	0,0	
23	14,69	0,00	0,75	-24.317	22.177	6	0,0	
24	9,46	0,00	0,75	-28.322	22.177	6	0,0	
25	3,24	0,00	-7,17 - 0,75	-32.003	22.177	6	0,0	

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



### 3.8 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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni

più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) e la sezione d'incastro della fondazione di monte.

### 3.8.1 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]
17	-1,57	66,67	86,67	9,82	14,87	1,65	3,51
32	-3,05	119,12	154,85	22,21	45,72	-2,97	17,49

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]
14	-2,00	0,00	0,00	21,80	64,24	5,81	39,23

### 3.8.2 Verifiche a flessione SLU

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espressa in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori espressa 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]	
17	100	145	0,00	5,65	3,51	66,67	352,79	66,67	139.223
32	100	145	0,00	5,65	17,49	119,12	388,59	119,12	23.473

Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
14	100	106	5,65	5,65	39,23	0,00	221,48	0,00	5.765

### 3.8.3 Verifiche a taglio SLU

Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espressa in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]

- $A_{sw}$  area ferri a taglio espresso in [cmq]
- $\cot\theta$  inclinazione delle bielle compresse,  $\theta$  inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- $V_{Rcd}$  resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- $V_{Rsd}$  resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- $V_{Rd}$  resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ( $A_{sw}>0.0$ )
- $V_{Rd}=\min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ .
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

**Paramento**

n°	B	H	$A_{sw}$	$\cot\theta$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rd}$	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
17	100	145	0,00	--	0,00	0,00	443,85	14,87	29.851
32	100	145	0,00	--	0,00	0,00	451,50	45,72	9.876

**Fondazione**

n°	B	H	$A_{sw}$	$\cot\theta$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rd}$	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
14	100	106	0,00	--	0,00	0,00	336,97	-64,24	5.246

**3.8.4 Verifiche delle tensioni SLE**

Simbologia adottata

- $n^\circ$  indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- $A_{fi}$  area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- $A_{fs}$  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	$A_{fi}$	$A_{fs}$	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
17	100	145	0,00	5,65	2,63	66,67	54 (13)	571 (13)	0 (13)
32	100	145	0,00	5,65	-0,99	119,12	83 (13)	1245 (13)	0 (13)

Fondazione

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

n°	B	H	$A_{fi}$	$A_{fs}$	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
14	100	106	5,65	5,65	5,81	0,00	92 (13)	10479 (13)	909 (13)

3 MURO DI CONTRORIPA 2,51<H≤3,75m

3.8 Verifiche strutturali

### 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]
17	100	145	0,00	5,65	2,63	66,67	54 (15)	571 (15)	0 (15)
32	100	145	0,00	5,65	-0,99	119,12	83 (15)	1245 (15)	0 (15)

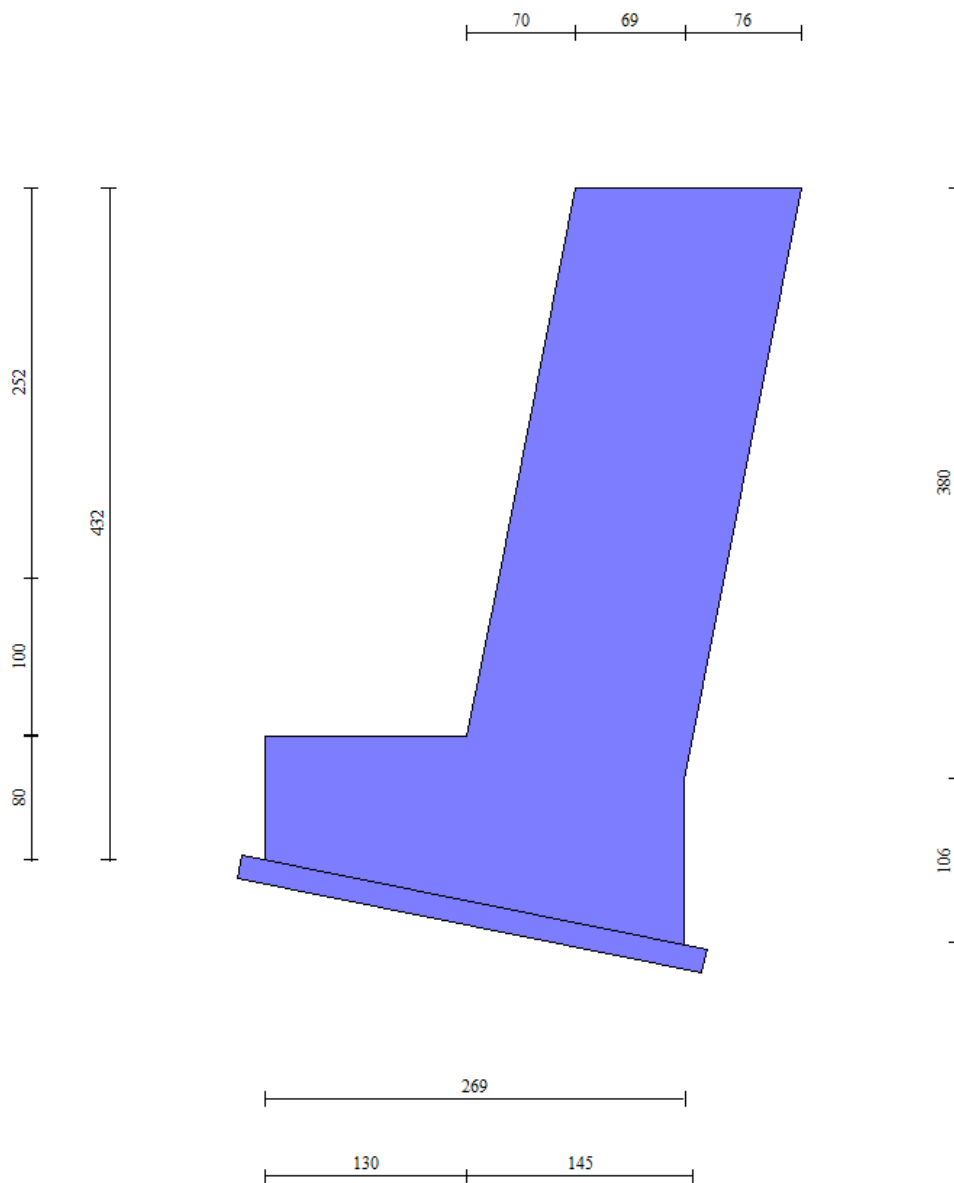
#### Fondazione

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]
14	100	106	5,65	5,65	5,81	0,00	92 (15)	10479 (15)	909 (15)

## 4. MURO DI CONTRORIPA $3,76 < H \leq 4,50\text{m}$

### 4.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	C28/35	
Altezza paramento	3,52	[m]

Altezza paramento libero	2,52	[m]
Spessore in sommità	1,45	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,45	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

**Fondazione**

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	1,30	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	2,75	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	0,80	[m]
Altezza valle interna	1,06	[m]
Altezza monte interna	1,06	[m]
Altezza monte esterna	1,06	[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**

<b>AZIONI IN TESTA AL MURO H=4,5m</b>					
riferite all'origine in MAX		(x,y)	Sollecitazioni		
		x'' (m)	γ	H (kN)	N (kN) M (kNm)
1.	Cordolo	1,398	1		10,73 15,00
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>1,399</b>		<b>-</b>	<b>10,73 15,00</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:*

*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	0,00; 0,00	0,000	10,730	15,000				

**4.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		2.827		3.724			
<b>2 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H + V</b>	<b>1.241</b>		<b>2.131</b>			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.241		2.331			
4 - STR (A1-M1-R3)		4.639		3.640			
5 - STR (A1-M1-R3)		2.827		3.724			
6 - STR (A1-M1-R3)		4.639		3.640			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.435		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.176		
<b>9 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.176</b>		
10 - EQU			3.976				
11 - EQU	H + V		2.096				

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>
12 - EQU	H - V		2.025				

#### 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	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	2.063	0.829
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
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	Culmann
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° 2**.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	60,08	18,11	57,11	18,68	0,00	-4,01
	Incremento di spinta sismica		115,41	109,69	35,88	0,00	-3,28
	Peso/inerzia muro			21,30	195,97/10,65	-1,41	-2,59
	Peso/inerzia rivestimento			1,64	15,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

### 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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	162,48	0,00	0,00	--	--	162,48	190,90	1.241

### 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° 2** è risultata la più gravosa.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	60,08	18,11	57,11	18,68	0,00	-4,01
	Incremento di spinta sismica		115,41	109,69	35,88	0,00	-3,28
	Peso/inerzia muro			21,30	195,97/10,65	-1,41	-2,59
	Peso/inerzia rivestimento			1,64	15,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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 [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	318,89	679,64	485,46	<b>2.131</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  $0.5B\gamma N_\gamma$ , viene moltiplicato per questo fattore

D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]

B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]

H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 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	ic	dc	gc	bc	sc	pc	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c	
	N <sub>q</sub>	i <sub>q</sub>	d <sub>q</sub>	g <sub>q</sub>	b <sub>q</sub>	s <sub>q</sub>	p <sub>q</sub>							
	N <sub>γ</sub>	i <sub>γ</sub>	d <sub>γ</sub>	g <sub>γ</sub>	b <sub>γ</sub>	s <sub>γ</sub>	p <sub>γ</sub>		[m]	[m]	[kN/m c]	[°]	[kPa]	
2	23.942	0.309	1.257	1.000	0.923	--	--	0.963	1,80	2,44	19,00	27.00	7	
	13.199	0.362	1.195	1.000	0.809	--	--							2,29
	14.470	0.213	1.000	1.000	0.809	--	--							

### 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° 12**.

#### Combinazione n° 12 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
12	Spinta statica	154,96	13,29	150,81	35,62	0,00	-3,66
	Incremento di spinta sismica		189,33	184,26	43,52	0,00	-3,28
	Peso/Inerzia muro			21,30	195,97/-10,65	-1,41	-2,59
	Peso/Inerzia rivestimento			1,64	15,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

#### Dettagli verifica

Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 M<sub>s</sub> Momento stabilizzante, espresso in [kNm]  
 M<sub>r</sub> 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]	
12 - EQU H - V	763,76	377,26	<b>2.025</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° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]	
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-0,80; 7,80	12,67	<b>1.176</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]

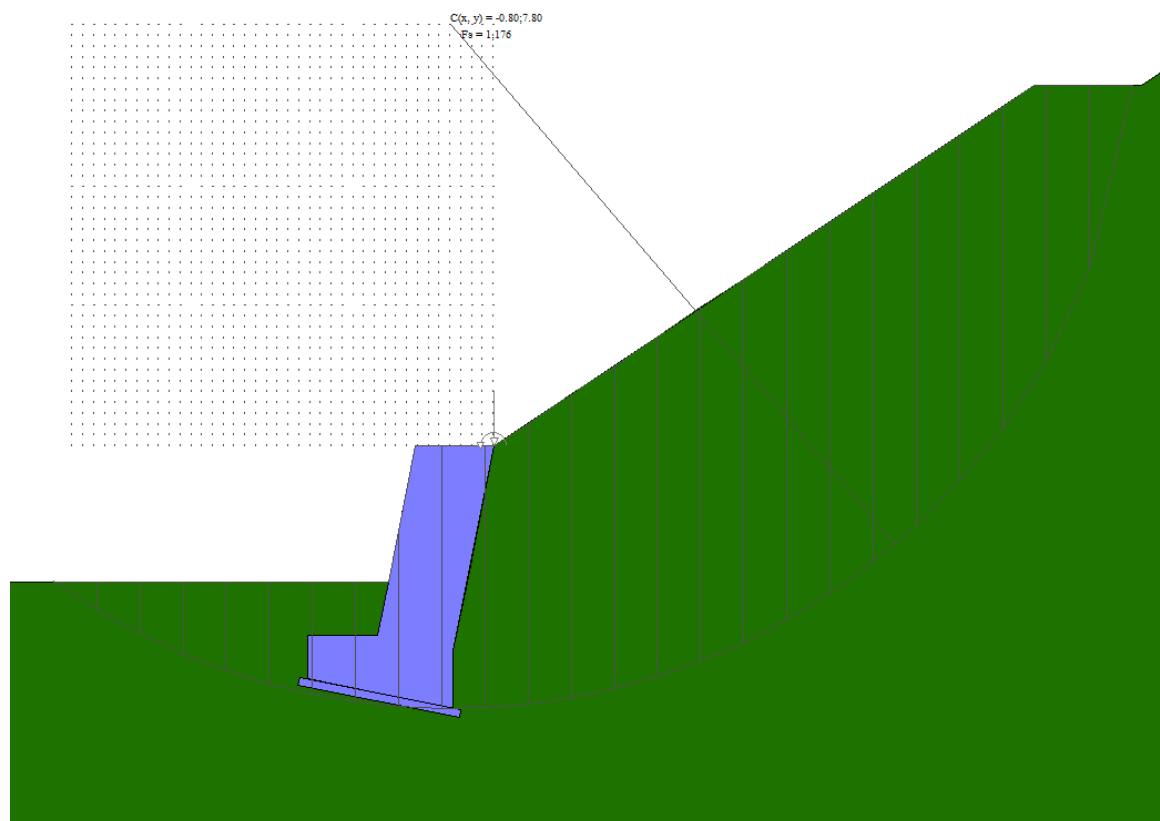
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	25,88	0,00	11,83 - 0,80	76.790	22.177	6	0,0	
2	64,66	0,00	0,80	64.770	22.177	6	0,0	
3	84,91	0,00	0,80	57.185	22.177	6	0,0	
4	94,05	0,00	0,80	50.973	22.177	6	0,0	

4 MURO DI CONTRORIPA 3,76<H≤4,50m

4.7 Verifiche geotecniche

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
5	99,63	0,00	0,80	45.519	22.177	6	0,0	
6	102,91	0,00	0,80	40.556	22.177	6	0,0	
7	104,41	0,00	0,80	35.941	22.177	6	0,0	
8	104,45	0,00	0,80	31.584	22.177	6	0,0	
9	103,23	0,00	0,80	27.423	22.177	6	0,0	
10	100,91	0,00	0,80	23.414	22.177	6	0,0	
11	97,59	0,00	0,80	19.524	22.177	6	0,0	
12	93,35	0,00	0,80	15.726	22.177	6	0,0	
13	88,25	0,00	0,80	11.998	22.177	6	0,0	
14	82,32	0,00	0,80	8.321	22.177	6	0,0	
15	76,16	10,73	0,80	4.679	22.177	6	0,0	
16	86,95	0,00	0,80	1.055	22.177	6	0,0	
17	88,46	0,00	0,80	-2.564	22.177	6	0,0	
18	42,88	0,00	0,80	-6.194	22.177	6	0,0	
19	36,72	0,00	0,80	-9.849	22.177	6	0,0	
20	30,63	0,00	0,80	-13.545	22.177	6	0,0	
21	26,88	0,00	0,80	-17.300	22.177	6	0,0	
22	22,64	0,00	0,80	-21.133	22.177	6	0,0	
23	17,45	0,00	0,80	-25.069	22.177	6	0,0	
24	11,22	0,00	0,80	-29.137	22.177	6	0,0	
25	3,83	0,00	-8,16 - 0,80	-32.817	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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) 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]
20	-1,90	78,25	101,73	8,19	24,47	-0,99	9,61
39	-3,80	145,78	189,51	35,15	92,88	-1,77	68,49

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]
15	-2,15	0,00	0,00	32,82	100,01	10,99	65,75

#### 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]	
20	100	145	0,00	5,65	-0,99	81,47	-64,31	81,47	33.193
39	100	145	0,00	5,65	68,49	145,78	406,78	145,78	6.011

Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
15	100	106	5,65	5,65	65,75	0,00	221,48	0,00	3.404



### 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]
- 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]	
20	100	145	0,00	--	0,00	0,00	445,54	24,47	18.208
39	100	145	0,00	--	0,00	0,00	455,39	92,88	4.903

#### 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]	
15	100	106	0,00	--	0,00	0,00	336,97	-100,01	3.369

### 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]
- 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]
- 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	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	100	145	0,00	5,65	4,23	78,25	66 (13)	625 (13)	0 (13)
39	100	145	0,00	5,65	4,00	145,78	113 (13)	1318 (13)	0 (13)

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]
15	100	106	5,65	5,65	10,99	0,00	173 (13)	19826 (13)	1719 (13)

**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]
20	100	145	0,00	5,65	4,23	78,25	66 (15)	625 (15)	0 (15)
39	100	145	0,00	5,65	4,00	145,78	113 (15)	1318 (15)	0 (15)

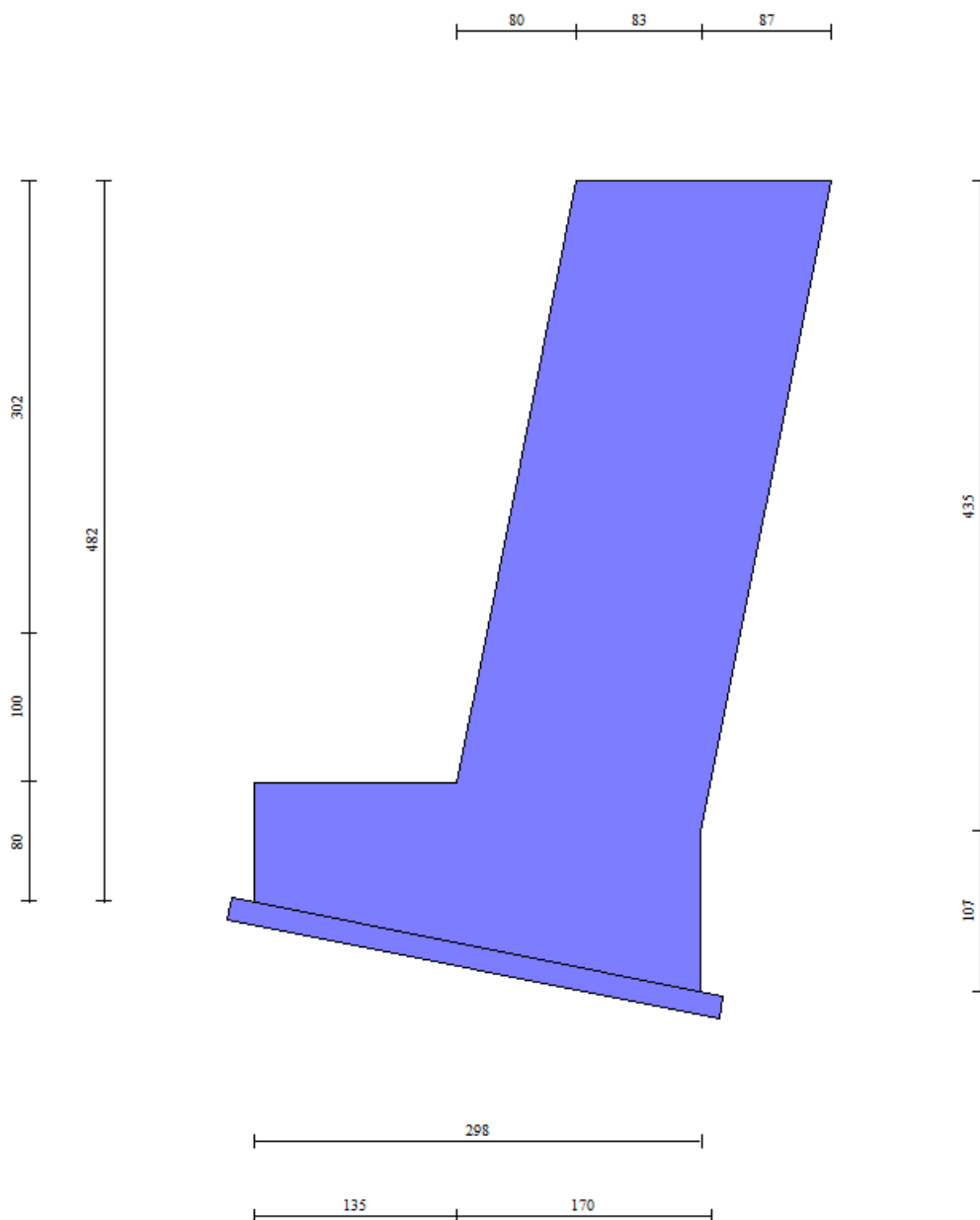
Fondazione

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]
15	100	106	5,65	5,65	10,99	0,00	173 (15)	19826 (15)	1719 (15)

## 5. MURO DI CONTRORIPA $4,51 < H \leq 5,00\text{m}$

### 5.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### *Geometria paramento e fondazione*

Paramento  
Materiale

C28/35

Altezza paramento	4,02	[m]
Altezza paramento libero	3,02	[m]
Spessore in sommità	1,70	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,70	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

**Fondazione**

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	1,35	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	3,05	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	0,80	[m]
Altezza valle interna	1,07	[m]
Altezza monte interna	1,07	[m]
Altezza monte esterna	1,07	[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**

AZIONI IN TESTA AL MURO H=5m						
riferite all'origine in MAX		(x,y) x'' (m)	Sollecitazioni			
			$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	1,498	1	-	10,73	16,07
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>1,498</b>		<b>-</b>	<b>10,73</b>	<b>16,07</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:*

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	0,00; 0,00	0,000	10,730	16,070				

**5.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		2.600		3.175			
<b>2 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H + V</b>	<b>1.405</b>		<b>2.203</b>			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.417		2.401			
4 - STR (A1-M1-R3)		4.165		3.140			
5 - STR (A1-M1-R3)		2.600		3.175			
6 - STR (A1-M1-R3)		4.165		3.140			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.410		
<b>8 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H + V</b>				<b>1.186</b>		
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.188		
10 - EQU			3.659				
11 - EQU	H + V		2.274				
<b>12 - EQU</b>	<b>H - V</b>		<b>2.201</b>				

## 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	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]		2.063	0.829
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		B	1.193	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.310	9.331	4.665
Esercizio	0.180	2.191	1.096

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

### Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Culmann
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° 2**.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	84,62	17,88	80,54	25,98	0,00	-4,35
	Incremento di spinta sismica		110,38	105,04	33,89	0,00	-3,66
	Peso/inerzia muro			23,16	248,19/11,58	-1,57	-2,85
	Peso/inerzia rivestimento			1,69	18,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,00	10,73	--	--

#### 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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	195,25	0,00	0,00	--	--	195,25	211,43	<b>1.405</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° 2** è risultata la più gravosa.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	84,62	17,88	80,54	25,98	0,00	-4,35
	Incremento di spinta sismica		110,38	105,04	33,89	0,00	-3,66
	Peso/inerzia muro			23,16	248,19/11,58	-1,57	-2,85
	Peso/inerzia rivestimento			1,69	18,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,00	10,73	--	--

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 [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	383,19	844,16	602,97	<b>2.203</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°	Nc	ic	dc	gc	bc	sc	pc	r <sub>γ</sub>	D	B' H	γ	φ	c
	N <sub>q</sub> N <sub>γ</sub>	i <sub>q</sub> i <sub>γ</sub>	d <sub>q</sub> d <sub>γ</sub>	g <sub>q</sub> g <sub>γ</sub>	b <sub>q</sub> b <sub>γ</sub>	s <sub>q</sub> s <sub>γ</sub>	p <sub>q</sub> p <sub>γ</sub>						
									[m]	[m]	[kN/m c]	[°]	[kPa]
2	23.942 13.199 14.470	0.373 0.421 0.268	1.231 1.176 1.000	1.000 1.000 1.000	0.923 0.809 0.809	-- -- --	-- -- --	0.952	1,80	2,56 2,54	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° 12**.

#### Combinazione n° 12 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
12	Spinta statica	197,97	13,06	192,85	44,73	0,00	-3,99
	Incremento di spinta sismica		170,23	165,82	38,46	0,00	-3,66
	Peso/Inerzia muro			23,16	248,19/11,58	-1,57	-2,85
	Peso/Inerzia rivestimento			1,69	18,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,00	10,73	--	--

#### Dettagli verifica

Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 M<sub>s</sub> Momento stabilizzante, espresso in [kNm]  
 M<sub>r</sub> 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]	
12 - EQU H - V	999,39	454,07	<b>2.201</b>

### 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° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]	
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-1,60; 7,80	13,25	<b>1.186</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]

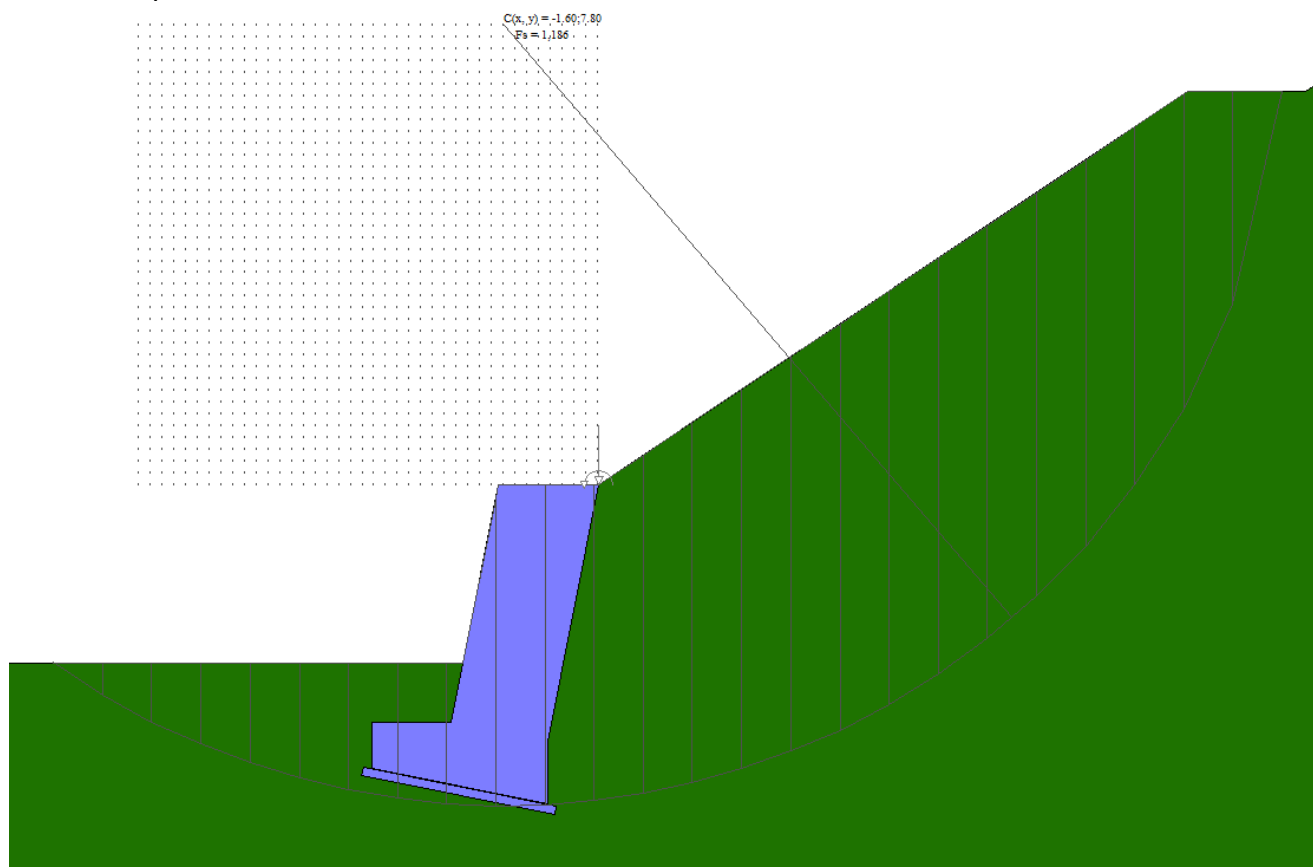
n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	28,54	0,00	11,61 - 0,83	76.944	22.177	6	0,0	
2	71,14	0,00	0,83	64.836	22.177	6	0,0	
3	90,48	0,00	0,83	57.249	22.177	6	0,0	
4	100,13	0,00	0,83	51.039	22.177	6	0,0	

5 MURO DI CONTRORIPA 4,51<H≤5,00m

5.7 Verifiche geotecniche

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
5	106,24	0,00	0,83	45.587	22.177	6	0,0	
6	109,84	0,00	0,83	40.628	22.177	6	0,0	
7	111,50	0,00	0,83	36.017	22.177	6	0,0	
8	111,57	0,00	0,83	31.664	22.177	6	0,0	
9	110,27	0,00	0,83	27.507	22.177	6	0,0	
10	107,76	0,00	0,83	23.503	22.177	6	0,0	
11	104,17	0,00	0,83	19.618	22.177	6	0,0	
12	99,58	0,00	0,83	15.825	22.177	6	0,0	
13	94,04	0,00	0,83	12.102	22.177	6	0,0	
14	87,73	10,73	0,83	8.431	22.177	6	0,0	
15	97,12	0,00	0,83	4.794	22.177	6	0,0	
16	110,63	0,00	0,83	1.177	22.177	6	0,0	
17	66,20	0,00	0,83	-2.436	22.177	6	0,0	
18	41,68	0,00	0,83	-6.058	22.177	6	0,0	
19	37,42	0,00	0,83	-9.705	22.177	6	0,0	
20	32,67	0,00	0,83	-13.392	22.177	6	0,0	
21	29,05	0,00	0,83	-17.137	22.177	6	0,0	
22	24,48	0,00	0,83	-20.959	22.177	6	0,0	
23	18,87	0,00	0,83	-24.883	22.177	6	0,0	
24	12,15	0,00	0,83	-28.936	22.177	6	0,0	
25	4,16	0,00	-9,26 - 0,83	-32.668	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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) 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]
23	-2,17	101,32	131,71	8,67	25,47	-8,52	5,49
45	-4,35	191,91	249,48	55,63	111,91	-2,46	71,04

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]
15	-2,50	0,00	0,00	39,50	100,24	14,77	65,68

#### 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 espressa 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]	
23	100	170	0,00	5,65	-8,52	104,54	-93,59	104,54	9.956
45	100	170	0,00	5,65	71,04	191,91	516,04	191,91	7.352

Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
15	100	107	5,65	5,65	65,68	0,00	223,67	0,00	3.442

### 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 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]	
23	100	170	0,00	--	0,00	0,00	509,59	25,47	20.004
45	100	170	0,00	--	0,00	0,00	522,86	111,91	4.672

#### 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]	
15	100	107	0,00	--	0,00	0,00	339,51	-100,24	3.387

### 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]
- 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]
- 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	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
23	100	170	0,00	5,65	0,91	101,32	62 (13)	851 (13)	0 (13)
45	100	170	0,00	5,65	1,79	191,91	118 (13)	1610 (13)	0 (13)

##### Fondazione

5 MURO DI CONTRORIPA 4,51<H≤5,00m

5.8 Verifiche strutturali

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]
15	100	107	5,65	5,65	14,77	0,00	229 (13)	26377 (13)	2282 (13)

**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]
23	100	170	0,00	5,65	0,91	101,32	62 (15)	851 (15)	0 (15)
45	100	170	0,00	5,65	1,79	191,91	118 (15)	1610 (15)	0 (15)

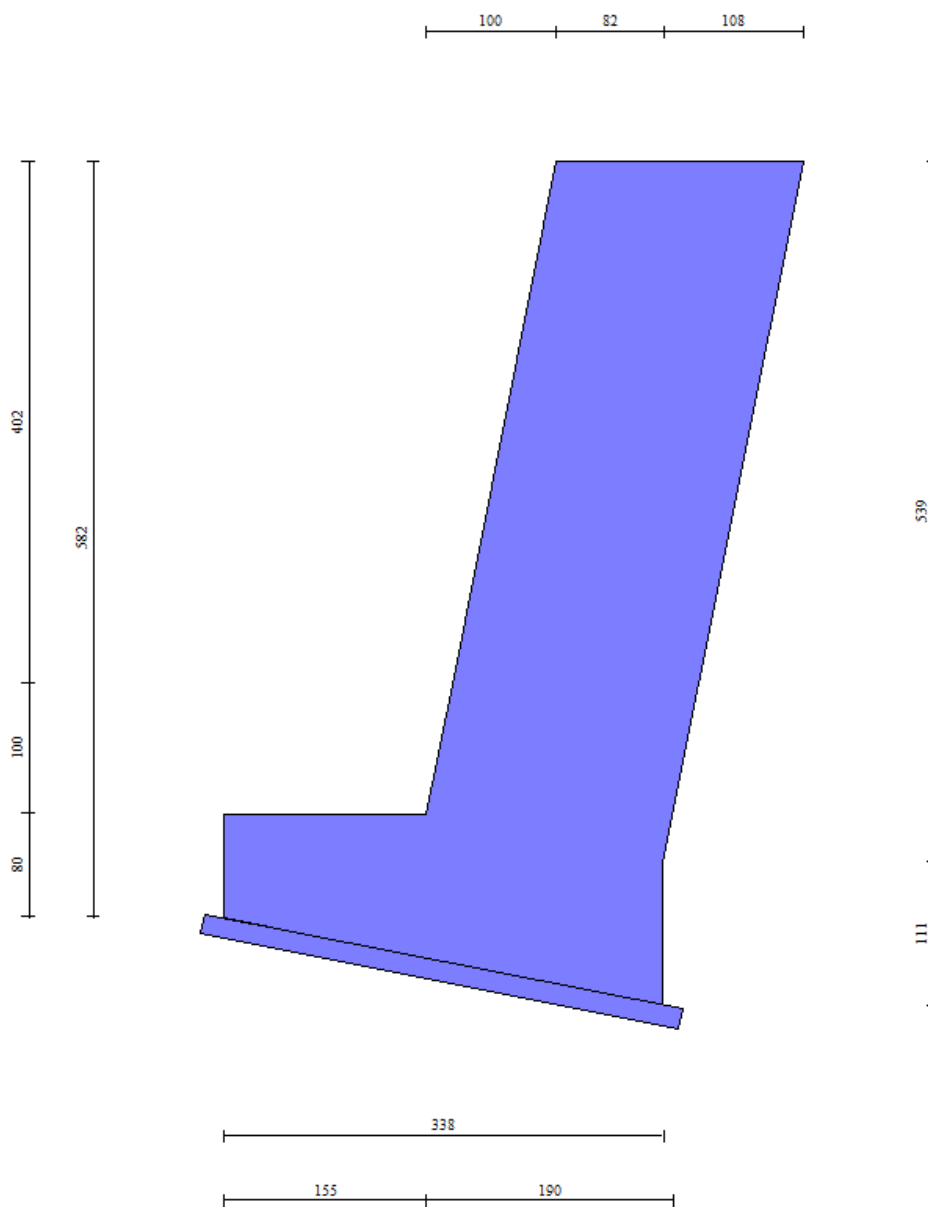
Fondazione

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]
15	100	107	5,65	5,65	14,77	0,00	229 (15)	26377 (15)	2282 (15)

## 6. MURO DI CONTRORIPA $5,01 < H \leq 6,00m$

### 6.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

##### Paramento

Materiale	C28/35	
Altezza paramento	5,02	[m]

Altezza paramento libero	4,02	[m]
Spessore in sommità	1,90	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,90	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

**Fondazione**

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	1,55	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	3,45	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	0,80	[m]
Altezza valle interna	1,11	[m]
Altezza monte interna	1,11	[m]
Altezza monte esterna	1,11	[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**

AZIONI IN TESTA AL MURO H=6m						
riferite all'origine in MAX		(x,y)	Sollecitazioni			
		$x''$ (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	1,698	1	-	10,73	18,21
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>1,698</b>		<b>-</b>	<b>10,73</b>	<b>18,21</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:*

*Carichi sul muro*

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	0,000	10,730	18,210				

**6.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		2.676		2.842			
<b>2 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H + V</b>	1.743		<b>2.499</b>			
<b>3 - STR (A1-M1-R3)</b>	<b>H - V</b>	<b>1.721</b>		2.727			
4 - STR (A1-M1-R3)		4.365		2.800			
5 - STR (A1-M1-R3)		2.676		2.842			
6 - STR (A1-M1-R3)		4.365		2.800			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.488		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.205		
<b>9 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.201</b>		
10 - EQU			3.761				
11 - EQU	H + V		2.687				
<b>12 - EQU</b>	<b>H - V</b>		<b>2.496</b>				

## 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	$a_q$	[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	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	Culmann
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° 3**.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
3	Spinta statica	119,65	17,58	114,06	36,15	0,00	-4,86
	Incremento di spinta sismica		59,99	57,19	18,12	0,00	-4,39
	Peso/Inerzia muro			35,68	328,36/-17,84	-1,78	-3,40
	Peso/Inerzia rivestimento			2,62	24,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	220,73	0,00	0,00	--	--	220,73	210,72	<b>1.721</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° 2** è risultata la più gravosa.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	119,65	17,58	114,06	36,15	0,00	-4,86
	Incremento di spinta sismica		81,24	77,44	24,54	0,00	-4,39
	Peso/Inerzia muro			35,68	328,36/17,84	-1,78	-3,40
	Peso/Inerzia rivestimento			2,62	24,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	478,46	1195,60	854,00	<b>2.499</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  $0.5B\gamma N_{\gamma}$ , viene moltiplicato per questo fattore
- D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
- B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
- H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
- $\gamma$  Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
- $\phi$  Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
- c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]

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

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	ry	D	B' H	γ	φ	c
									[m]	[m]	[kN/m c]	[°]	[kPa]
2	23.942 13.199 14.470	0.476 0.516 0.365	1.205 1.155 1.000	1.000 1.000 1.000	0.923 0.809 0.809	-- -- --	-- -- --	0.939	1,80	2,84 2,87	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° 12**.

Combinazione n° 12 - EQU H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
12	Spinta statica	188,30	12,76	183,65	41,59	0,00	-4,51
	Incremento di spinta sismica		72,65	70,85	16,05	0,00	-4,39
	Peso/inerzia muro			35,68	328,36/-17,84	-1,78	-3,40
	Peso/inerzia rivestimento			2,62	24,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

### Dettagli verifica

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

M<sub>s</sub> Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

M<sub>r</sub> 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°	M <sub>s</sub>	M <sub>r</sub>	FS
----	----------------	----------------	----

	[kNm]	[kNm]	
12 - EQU H - V	1289,85	516,67	<b>2.496</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° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]	
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-3,20; 7,80	14,46	<b>1.201</b>

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

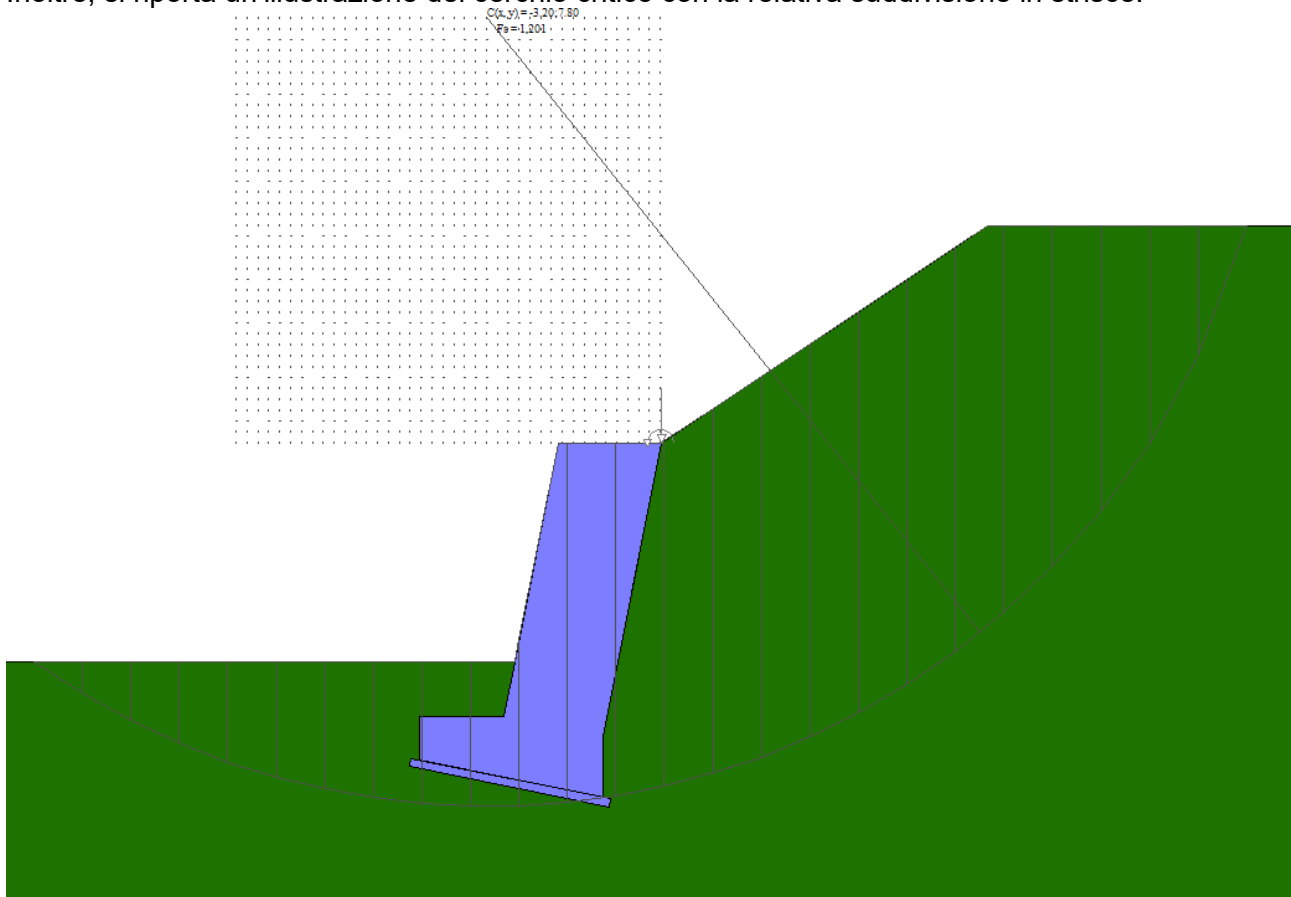
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

- 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	20,24	0,00	10,76 - 0,89	69.500	22.177	6	0,0	
2	54,14	0,00	0,89	61.020	22.177	6	0,0	
3	78,34	0,00	0,89	54.335	22.177	6	0,0	
4	97,48	0,00	0,89	48.626	22.177	6	0,0	
5	113,25	0,00	0,89	43.512	22.177	6	0,0	
6	124,31	0,00	0,89	38.805	22.177	6	0,0	
7	126,07	0,00	0,89	34.392	22.177	6	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
8	125,56	0,00	0,89	30.204	22.177	6	0,0	
9	123,60	0,00	0,89	26.187	22.177	6	0,0	
10	120,33	0,00	0,89	22.305	22.177	6	0,0	
11	115,89	0,00	0,89	18.529	22.177	6	0,0	
12	110,34	0,00	0,89	14.835	22.177	6	0,0	
13	117,87	10,73	0,89	11.204	22.177	6	0,0	
14	140,18	0,00	0,89	7.617	22.177	6	0,0	
15	111,14	0,00	0,89	4.061	22.177	6	0,0	
16	51,39	0,00	0,89	0.520	22.177	6	0,0	
17	48,77	0,00	0,89	-3.019	22.177	6	0,0	
18	43,28	0,00	0,89	-6.569	22.177	6	0,0	
19	40,85	0,00	0,89	-10.145	22.177	6	0,0	
20	37,64	0,00	0,89	-13.762	22.177	6	0,0	
21	33,41	0,00	0,89	-17.436	22.177	6	0,0	
22	28,10	0,00	0,89	-21.185	22.177	6	0,0	
23	21,64	0,00	0,89	-25.033	22.177	6	0,0	
24	13,91	0,00	0,89	-29.007	22.177	6	0,0	
25	4,77	0,00	-11,55 - 0,89	-32.693	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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) 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	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]
28	-2,69	136,16	177,01	11,09	31,12	-22,49	3,44
55	-5,39	261,59	340,07	91,30	151,45	18,43	119,20

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]
17	-2,90	0,00	0,00	59,38	124,57	27,34	91,39

**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]	
28	100	190	0,00	5,65	-22,49	139,38	-135,64	139,38	5.820
55	100	190	0,00	5,65	119,20	261,59	640,77	261,59	5.412

Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
17	100	111	5,65	5,65	91,39	0,00	232,45	0,00	2.560

**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]	
28	100	190	0,00	--	0,00	0,00	562,55	31,12	18.078
55	100	190	0,00	--	0,00	0,00	580,97	151,45	3.836

**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]	
17	100	111	0,00	--	0,00	0,00	349,65	-124,57	2.807

**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]
- 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]
- 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	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
28	100	190	0,00	5,65	-7,23	136,16	82 (13)	1227 (13)	0 (13)
55	100	190	0,00	5,65	18,43	261,59	169 (13)	1598 (13)	0 (13)

Fondazione

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

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
17	100	111	5,65	5,65	27,34	0,00	400 (13)	46953 (13)	4024 (13)

6 MURO DI CONTRORIPA 5,01<H≤6,00m

6.8 Verifiche strutturali

**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]
28	100	190	0,00	5,65	-7,23	136,16	82 (15)	1227 (15)	0 (15)
55	100	190	0,00	5,65	18,43	261,59	169 (15)	1598 (15)	0 (15)

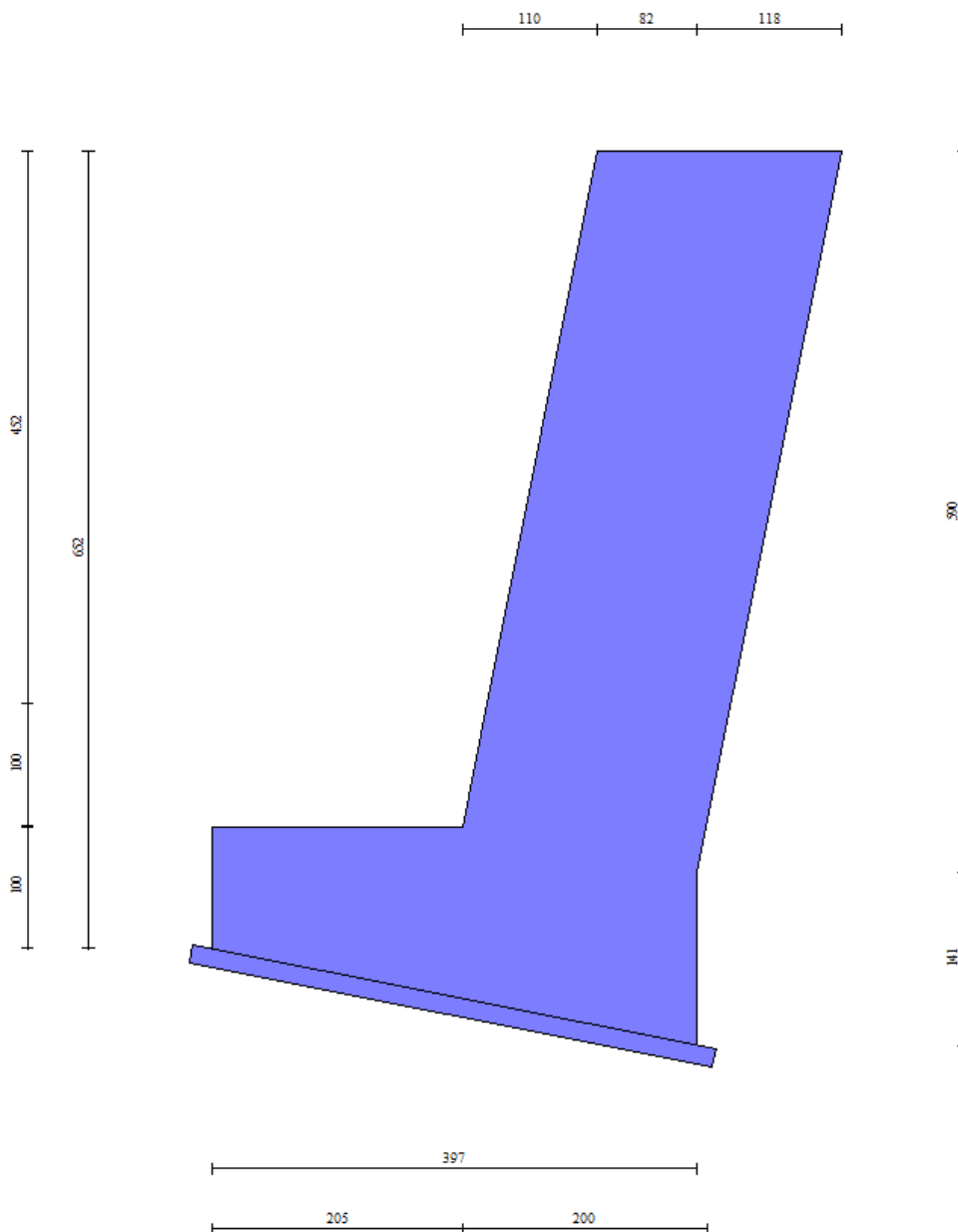
Fondazione

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]
17	100	111	5,65	5,65	27,34	0,00	400 (15)	46953 (15)	4024 (15)

## 7. MURO DI CONTRORIPA $6,01 < H \leq 6,50m$

### 7.1 Caratteristiche geometriche



In figura è rappresentata la parte di muro modellata in MAX15; come anticipato, il cordolo non è incluso nella modellazione, ma conteggiato come carico permanente. Si precisa, inoltre, che a causa di una limitazione intrinseca del programma di calcolo non è stato possibile rispettare la reale conformazione di monte del muro di controripa con inclinazione del paramento costante fino alla base di fondazione. Per i dettagli sulle verifiche strutturali del cordolo, si rimanda al *paragrafo 1.8*.

#### Geometria paramento e fondazione

Paramento  
Materiale

C28/35

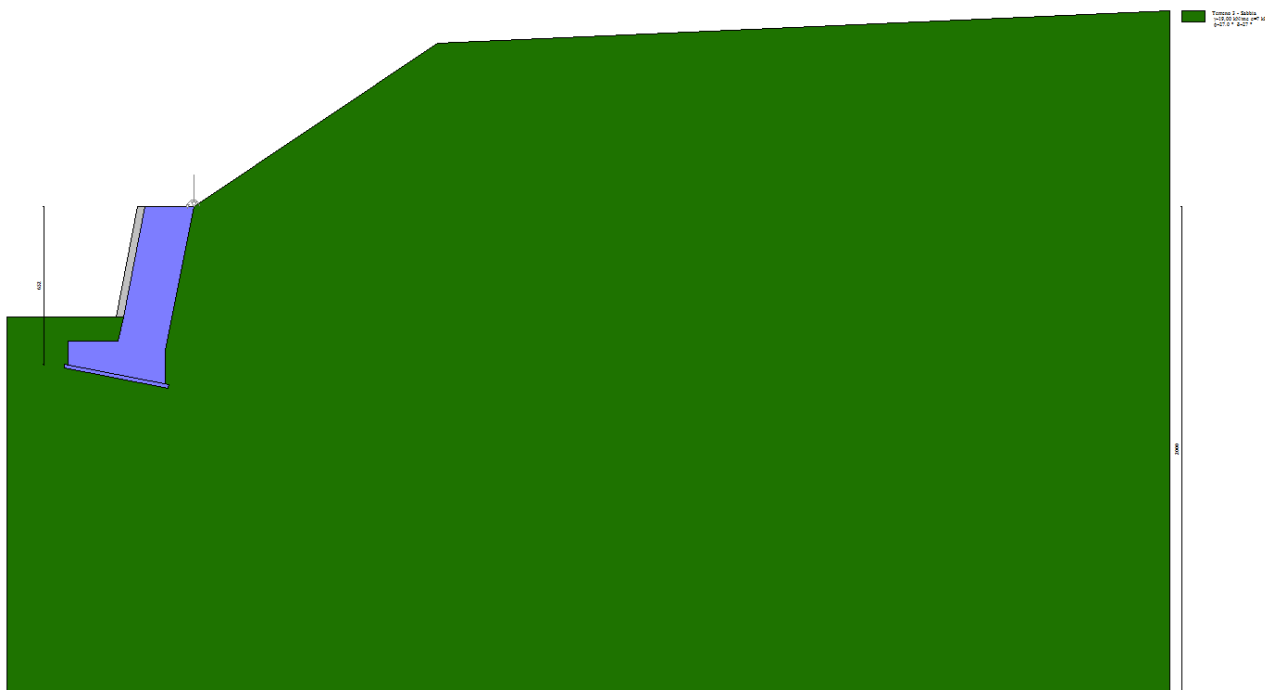
Altezza paramento	5,52	[m]
Altezza paramento libero	4,52	[m]
Spessore in sommità	2,00	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	2,00	[m]
Inclinazione paramento esterno	11,31	[°]
Inclinazione paramento interno	-11,31	[°]
Spessore rivestimento	0,30	[m]
Peso sp. rivestimento	20,0000	[kN/mc]

Fondazione

Materiale	C28/35	
Lunghezza mensola di valle	2,05	[m]
Lunghezza mensola di monte	0,00	[m]
Lunghezza totale	4,05	[m]
Inclinazione piano di posa	11,31	[°]
Altezza valle esterna	1,00	[m]
Altezza valle interna	1,41	[m]
Altezza monte interna	1,41	[m]
Altezza monte esterna	1,41	[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**

AZIONI IN TESTA AL MURO H=6,5m						
riferite all'origine in MAX		(x,y)	Sollecitazioni			
		x'' (m)	$\gamma$	H (kN)	N (kN)	M (kNm)
1.	Cordolo	1,798	1	-	10,73	19,29
<b>G1</b>	<b>AZIONE PERMANENTE</b>	<b>1,799</b>		<b>-</b>	<b>10,73</b>	<b>19,29</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:*

*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	0,000	10,730	19,290				

**7.4 Combinazioni di carico**

Si rimanda al *paragrafo 1.7.3* 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)		1.908		2.337			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.314		<b>1.890</b>			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	<b>1.294</b>		2.039			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.799		2.367			

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)		1.908		2.337			
6 - STR (A1-M1-R3)		2.799		2.367			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.342		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.112		
<b>9 - GEO (A2-M2-R2)</b>	<b>H - V</b>				<b>1.109</b>		
10 - EQU			3.127				
11 - EQU	H + V		2.353				
<b>12 - EQU</b>	<b>H - V</b>		<b>2.214</b>				

### 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	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	Culmann
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° 3**.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
3	Spinta statica	185,23	17,83	176,33	56,71	0,00	-5,47
	Incremento di spinta sismica		111,91	106,54	34,26	0,00	-4,94
	Peso/Inerzia muro			44,24	407,14/-22,12	-2,03	-3,93
	Peso/Inerzia rivestimento			2,95	27,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	289,83	0,00	0,00	--	--	289,83	331,23	1.294

### 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° 2** è risultata la più gravosa.

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	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]
2	Spinta statica	185,23	17,83	176,33	56,71	0,00	-5,47
	Incremento di spinta sismica		144,04	137,12	44,10	0,00	-4,94
	Peso/inerzia muro			44,24	407,14/22,12	-2,03	-3,93
	Peso/inerzia rivestimento			2,95	27,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

### 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]	
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	627,85	1186,34	847,38	1.890

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> 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  
 ry Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia  $0.5B\gamma N_\gamma$ , viene moltiplicato per questo fattore  
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]  
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]  
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 $\gamma$  Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]  
 $\phi$  Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]  
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]  
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Vesic).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	ry	D	B' H	$\gamma$	$\phi$	c
									[m]	[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
2	23.942 13.199 14.470	0.345 0.395 0.242	1.194 1.147 1.000	1.000 1.000 1.000	0.923 0.809 0.809	-- -- --	-- -- --	0.921	2,00	3,50 3,37	19,00	27.00	7

### 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° 12**.

#### Combinazione n° 12 - 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

#### 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]
12	Spinta statica	301,93	13,01	294,18	67,95	0,00	-5,00
	Incremento di spinta sismica		140,10	136,51	31,53	0,00	-4,94
	Peso/Inerzia muro			44,24	407,14/22,12	-2,03	-3,93

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 rivestimento			2,95	27,12	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			1,17	10,73	--	--

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]	
12 - EQU H - V	1980,20	894,28	<b>2.214</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° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
carico permanente	1.00	--	Sfavorevole

Dettagli verifica

Simbologia adottata

lc Indice/Tipo combinazione

C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]

R Raggio, espresso in [m]

FS Fattore di sicurezza

lc	C	R	FS
	[m]	[m]	
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-2,80; 7,80	15,21	<b>1.109</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]

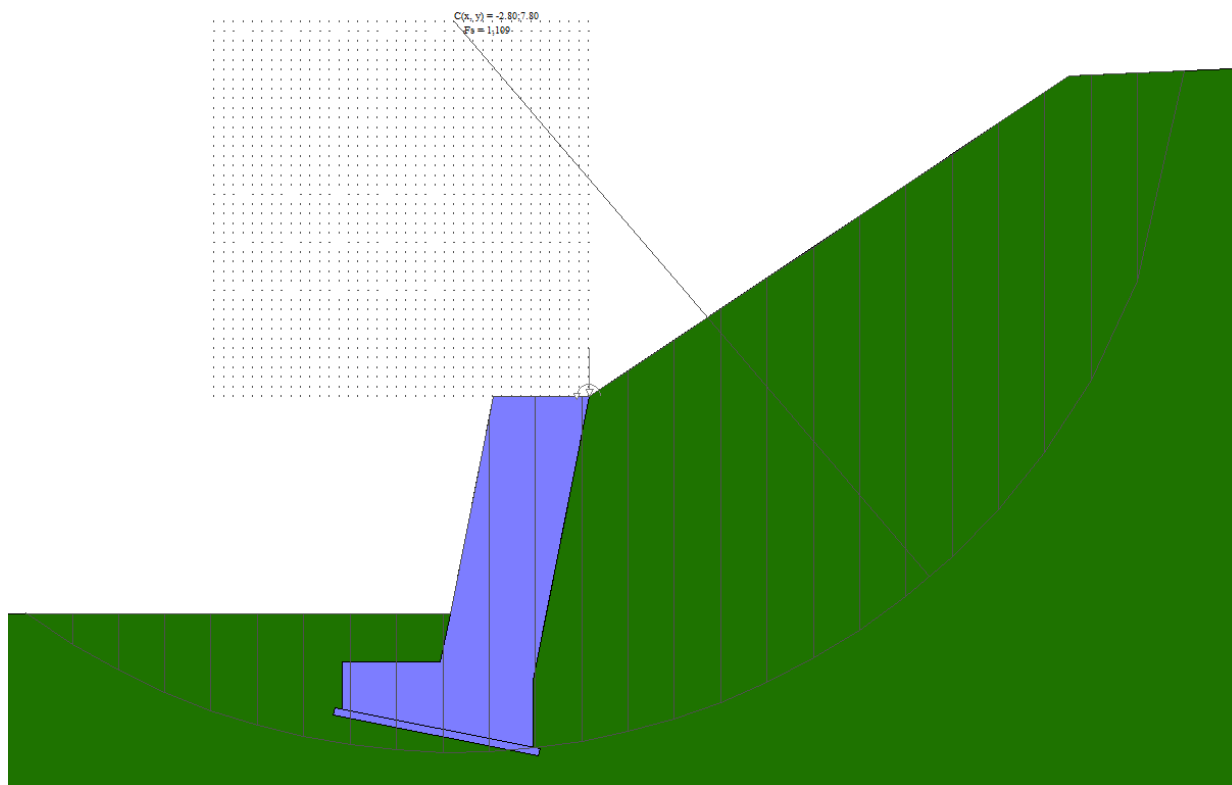
Qy carico sulla striscia espresso in [kN]

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 [kN]	Qy [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	39,69	0,00	12,39 - 0,96	77.555	22.177	6	0,0	
2	97,89	0,00	0,96	64.928	22.177	6	0,0	
3	128,24	0,00	0,96	57.273	22.177	6	0,0	
4	142,37	0,00	0,96	51.019	22.177	6	0,0	
5	150,51	0,00	0,96	45.534	22.177	6	0,0	
6	155,29	0,00	0,96	40.547	22.177	6	0,0	
7	157,47	0,00	0,96	35.910	22.177	6	0,0	
8	157,50	0,00	0,96	31.533	22.177	6	0,0	
9	155,70	0,00	0,96	27.354	22.177	6	0,0	
10	152,29	0,00	0,96	23.328	22.177	6	0,0	
11	147,43	0,00	0,96	19.422	22.177	6	0,0	
12	141,22	0,00	0,96	15.607	22.177	6	0,0	
13	134,24	10,73	0,96	11.863	22.177	6	0,0	
14	149,92	0,00	0,96	8.169	22.177	6	0,0	
15	173,56	0,00	0,96	4.510	22.177	6	0,0	
16	106,84	0,00	0,96	0.869	22.177	6	0,0	
17	59,62	0,00	0,96	-2.769	22.177	6	0,0	
18	57,13	0,00	0,96	-6.417	22.177	6	0,0	
19	49,51	0,00	0,96	-10.093	22.177	6	0,0	
20	44,80	0,00	0,96	-13.810	22.177	6	0,0	
21	39,82	0,00	0,96	-17.589	22.177	6	0,0	
22	33,54	0,00	0,96	-21.448	22.177	6	0,0	
23	25,86	0,00	0,96	-25.414	22.177	6	0,0	
24	16,65	0,00	0,96	-29.515	22.177	6	0,0	
25	5,73	0,00	-11,74 - 0,96	-33.357	22.177	6	0,0	

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. Per maggiore chiarezza, i risultati sono stati organizzati in forma tabulare, evidenziano in grigio le righe relative alle sezioni più critiche: la sezione di mezzeria del paramento, la sezione di base del paramento (all'innesto con l'elemento di fondazione) 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]
31	-2,95	155,49	202,14	10,66	46,05	-35,12	12,55
61	-5,90	300,26	390,33	118,10	227,75	25,85	238,81

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]
22	-3,10	0,00	0,00	89,80	203,76	52,07	203,08

### 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 espressa 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]	
31	100	200	0,00	5,65	-35,04	158,71	-160,98	158,71	4.496
61	100	200	0,00	5,65	238,81	300,26	711,73	300,26	2.988

**Fondazione**

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
22	100	141	5,65	5,65	203,08	0,00	298,35	0,00	1.471

**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]	
31	100	200	0,00	--	0,00	0,00	589,12	46,05	12.793
61	100	200	0,00	--	0,00	0,00	610,40	227,75	2.680

**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]	
22	100	141	0,00	--	0,00	0,00	424,33	-203,76	2.083

**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]
- $\sigma_c$  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]
31	100	200	0,00	5,65	-13,86	155,49	97 (13)	1443 (13)	0 (13)
61	100	200	0,00	5,65	25,85	300,26	190 (13)	1667 (13)	0 (13)

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]
22	100	141	5,65	5,65	52,07	0,00	522 (13)	69528 (13)	5569 (13)

**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]
31	100	200	0,00	5,65	-13,86	155,49	97 (15)	1443 (15)	0 (15)
61	100	200	0,00	5,65	25,85	300,26	190 (15)	1667 (15)	0 (15)

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]
22	100	141	5,65	5,65	52,07	0,00	522 (15)	69528 (15)	5569 (15)