

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

Relazione di calcolo muri di sostegno sede ferroviaria 1/3

SCALA:

-

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

I N 1 M 1 1 D 2 6 C L R I 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva		Gennaio 2022	N.Carella <i>N.Carella</i>	Gennaio 2022	L.Barchi <i>LB</i>	Gennaio 2022	A.Perego Gennaio 2022

IN1M11D26CLRI0005001A.DOCX

n. Elab.: 1

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	5
3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	7
3.1	Normativa applicabile .....	7
3.2	Elaborati progettuali .....	7
4	MATERIALI .....	8
4.1	Calcestruzzo per magrone .....	8
4.2	Calcestruzzo per paramento e fondazione .....	8
4.3	Copriferro .....	8
4.4	Acciaio B450C .....	8
4.5	Limiti tensionali .....	8
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	9
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	10
7	ANALISI DEI CARICHI .....	11
7.1	Pesi propri e carichi permanenti .....	11
7.2	Spinte del terreno in fase statica .....	11
7.3	Carichi accidentali .....	11
7.4	Spinta del terreno in fase sismica .....	12
8	COMBINAZIONI DI CARICO .....	13
9	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA .....	15
9.1	Codice di calcolo .....	15
9.2	Verifica allo scorrimento .....	16
9.3	Verifica geotecnica a carico limite .....	16
9.4	Verifica a ribaltamento .....	16
9.5	Verifica di stabilità globale .....	16
9.6	Verifiche strutturali .....	17
10	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE .....	18
10.1	Muro di sottoscarpa MU01 .....	18
10.1.1	Dati generali .....	18
10.1.2	Cuneo di spinta .....	20
10.1.3	Sollecitazioni .....	21
10.1.4	Verifiche geotecniche .....	22
10.1.4.1	Verifica a scorrimento .....	22
10.1.4.2	Verifica a carico limite .....	22

10.1.4.3	Verifica a ribaltamento.....	23
10.1.4.4	Verifica di stabilità Globale .....	23
10.1.5	Verifiche strutturali.....	23
10.1.5.1	Verifiche a flessione .....	23
10.1.5.2	Verifiche a taglio.....	24
10.1.5.3	Verifiche SLE RARA (Tensioni).....	24
10.1.5.4	Verifiche SLE RARA (Fessurazioni) .....	24
10.2	Muro di sottoscarpa MU02 .....	26
10.2.1	Dati generali .....	26
10.2.2	Cuneo di spinta .....	28
10.2.3	Sollecitazioni .....	30
10.2.4	Verifiche geotecniche .....	31
10.2.4.1	Verifica a scorrimento.....	32
10.2.4.2	Verifica a carico limite .....	32
10.2.4.3	Verifica a ribaltamento.....	32
10.2.4.4	Verifica di stabilità Globale .....	32
10.2.5	Verifiche strutturali.....	32
10.2.5.1	Verifiche a flessione .....	32
10.2.5.2	Verifiche a taglio.....	33
10.2.5.3	Verifiche SLE RARA (Tensioni).....	34
10.2.5.4	Verifiche SLE RARA (Fessurazioni) .....	34

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica strutturale dei muri di sostegno, nell'ambito della progettazione definitiva del Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia.

In particolare si considerano le verifiche strutturali dei muri della tratta dalla progressiva 0+081.33 - 0+201.27 e della tratta 0+208.28 - 0+257.26

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'opera in esame è costituita da muri di sottoscarpa in c.a. su fondazione superficiale. Nel seguito se ne riportano le principali caratteristiche geometriche.

Tipologia muro	$PK_{iniziale}$	$PK_{finale}$
MU01	0+081.33	0+201.27
MU02	0+208.28	0+257.26

Tipologia muro	Paramento		Fondazione	
	Spessore $S [m]$	Altezza $H [m]$	Larghezza $B [m]$	Altezza $H [m]$
MU01	0.80	Var. 4.45 – 5.50	4.60	0.90
MU02	0.80	Var. 5.63 – 6.10	4.30	0.90

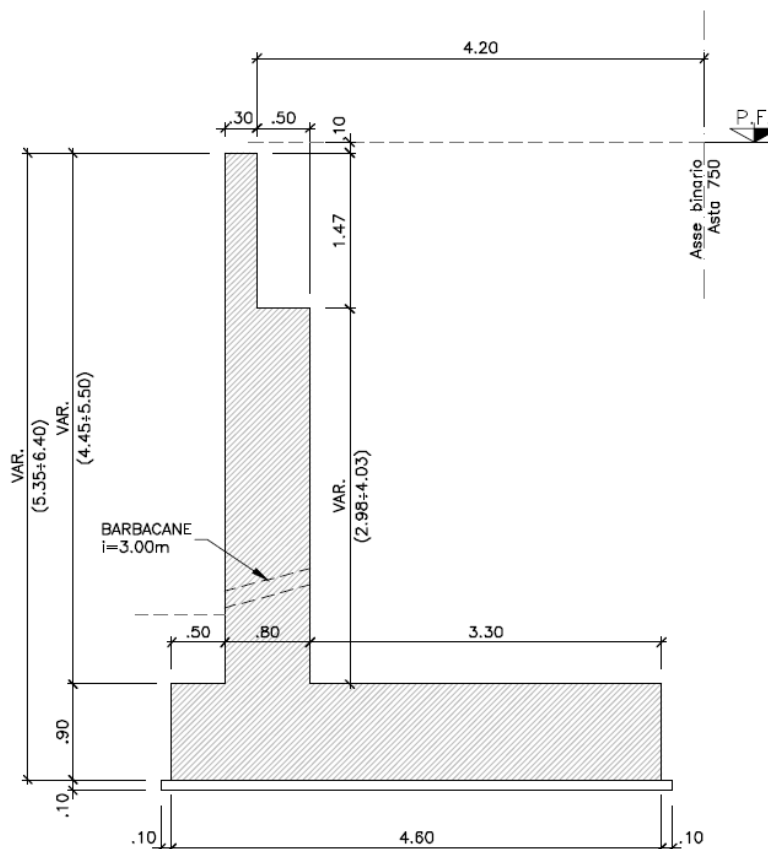


Figura 1 – Carpenteria muro MU01

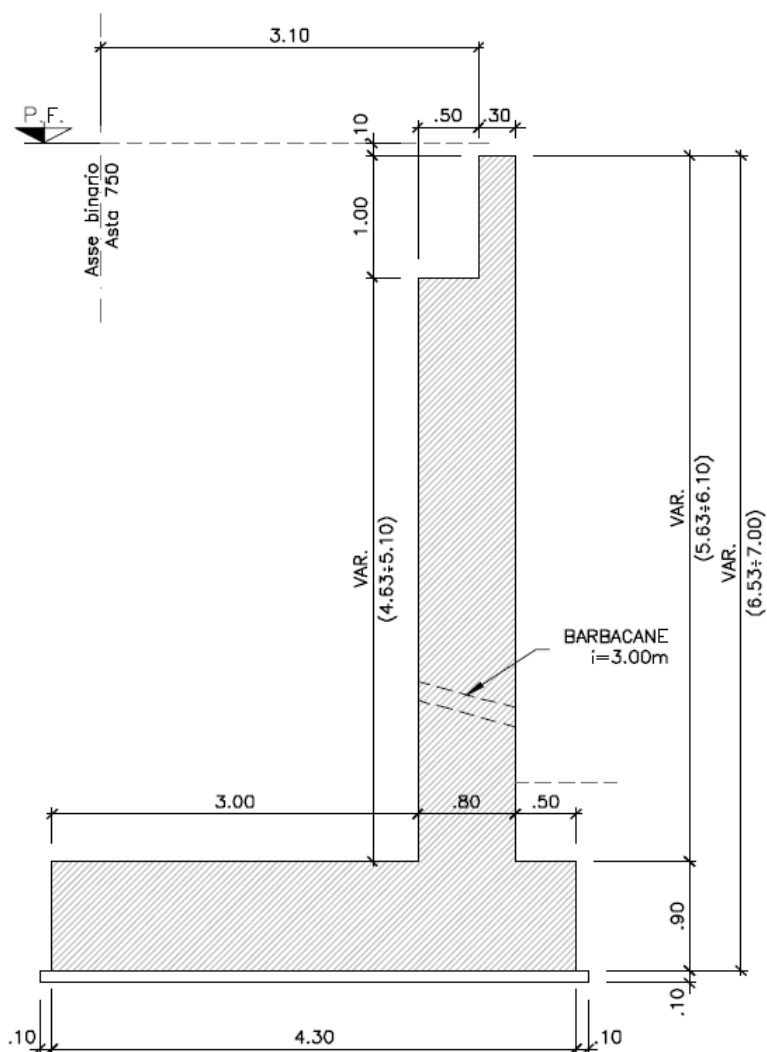



Figura 2 – Carpenteria muro MU02

	<b>LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</b>					
<b>Relazione di calcolo muri di sostegno sede ferroviaria 1/3</b>	COMMESSA IN1M	LOTTO 11	CODIFICA D 26CL	DOCUMENTO RI0005001	REV. A	PAGINE 7 di 35

### 3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normativa applicabile

- L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 “Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Regolamento della Commissione Europea N.1299/2014 del 18 novembre 2014 Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione della Commissione Europea N. 776/2019 del 16 maggio 2019;
- RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle Opere Civili”;
- RFI DTC SI SP IFS 001 E “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili”;

#### 3.2 Elaborati progettuali

- PIANTA PROSPETTO E SEZIONI
- RELAZIONE TECNICA GENERALE

## 4 MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzo per magrone

#### Conglomerato classe di resistenza **C12/15** ( $R_{ck}$ 15 MPa)

Classe di esposizione: X0

Classe di consistenza S3

### 4.2 Calcestruzzo per paramento e fondazione

#### Conglomerato classe di resistenza **C32/40** ( $R_{ck}$ 40 MPa)

Classe di esposizione XC4

Dimensione max aggregati 32 mm

Classe di consistenza S4

Copriferro minimo (FS N°I/SC/PS-OM/2298) 50 mm

### 4.3 Copriferro

Con riferimento alle NTC2018 Cap. 4.1.6.1.3, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo del copriferro deve rispettare quanto indicato in Tab. C4.1.IV (Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019).

Inoltre, secondo FS N°I/SC/PS-OM/2298 il copriferro minimo per opere in fondazione deve risultare maggiore di 40 mm.

### 4.4 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450$  MPa;Tensione di progetto:  $f_{yd} = 391.3$  MPa;Modulo Elastico  $E_s = 210'000$  MPa.

### 4.5 Limiti tensionali

Limiti tensionali allo SLE, secondo "RFI DTC SI MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili".

#### Tensioni di compressione del calcestruzzo:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara)  $0.55 f_{ck}$ ;
- Per combinazioni di carico Quasi Permanente  $0.40 f_{ck}$ ;

Nel seguito verrà presa in esame la sola combinazione di carico Caratteristica (Rara) con limite tensionale  $0.40 f_{ck}$ .

#### Tensioni di trazione nell'acciaio:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara)  $0.75 f_{yk}$ .

#### Apertura delle lesioni:

- Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2$  mm



## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

I muri di interlinea sono posizionati alla sommità del rilevato ferroviario e dunque per le caratteristiche del terreno di rinfianco e per quello di fondazione si farà riferimento ai parametri meccanici del materiale utilizzato per la sua formazione:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- $\varphi = 38^\circ$
- $c' = 0 \text{ kPa}$

La quota della falda è stata posta al p.c. naturale, quindi in posizione non influente ai fini della stabilità del muro.

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo sono riportati i parametri sismici in accordo a quanto specificato dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica.

In relazione alla tipologia strutturale e alla sua destinazione d'uso si è preso in esame il solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Nel caso in esame, per la determinazione dei parametri di pericolosità sismica da utilizzare per le Analisi, tenendo conto che l'opera oggetto di verifica nella presente relazione rappresenta una soluzione tipologica adottata in diversi tratti della linea in progetto ove è prevista la realizzazione di muri di sostegno, si è fatto riferimento all'area con la più alta sismicità.

- Vita nominale:  $V_N = 100$  anni
- Classe d'Uso III
- Coefficiente d'uso:  $C_U = 1.5$
- Periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 150$  anni
- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV
- Probabilità di superamento associata allo stato limite SLV:  $PVR = 10\%$
- Periodo di ritorno:  $T_R = -V_R / \ln(1 - PVR) = 1424$  anni
- Categoria topografica: T1, coefficiente topografico  $S_T = 1$
- Coefficiente di amplificazione di sito come definito dalla Relazione Geotecnica: trattandosi di opere a prevalente sviluppo lineare, il sottosuolo è stato suddiviso, lungo il profilo longitudinale e in base alla campagna di indagini a disposizione, in aree con profilo stratigrafico omogeneo.

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	$S_s$ [-]	$S_t$ [-]	$a_{max}$ [g]
SLV	1424	0.195	2.449	0.286	1.414	1.00	0.276

## 7 ANALISI DEI CARICHI

### 7.1 Pesì propri e carichi permanenti

- Calcestruzzo strutturale:  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$
- Rilevato:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Ballast:  $0.8 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 14.4 \text{ kN/m}^2$
- Super compattato:  $0.3 \times 20 \text{ kN/m}^3 = 6 \text{ kN/m}^2$

### 7.2 Spinte del terreno in fase statica

La spinta del terreno viene valutata dal codice di calcolo con il metodo del cuneo di tentativo, una procedura iterativa che implementa analiticamente il metodo grafico di Culmann. L'equilibrio alla traslazione di un cuneo di spinta, soggetto al peso proprio, ai carichi in superficie e alla resistenza di attrito sul piano di rottura in condizioni attive, consente di calcolare la forza che il muro deve esercitare sul cuneo di terreno. L'analisi iterativa per cunei successivi definiti da angoli sempre più grandi del piano di rottura rispetto al paramento del muro, porta all'individuazione della spinta massima in condizioni attive.

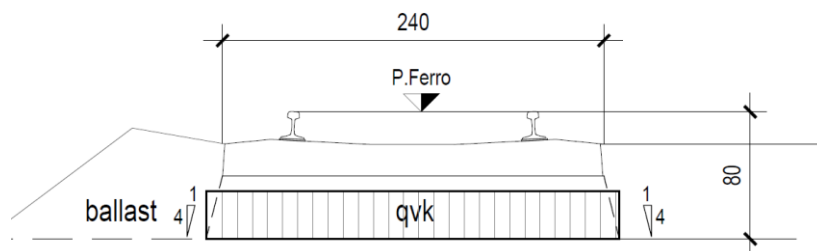
Il metodo, come i più comuni metodi di Coulomb e di Rankine, appartiene alla classe dei metodi dell'equilibrio limite, in cui viene mobilitata interamente la resistenza di attrito lungo la superficie piana di rottura che delimita il cuneo di spinta.

Il metodo però, diversamente dai precedenti, consente di calcolare la spinta per qualsiasi profilo del terreno a monte e per qualsiasi carico superficiale o concentrato; è possibile inoltre, come per il metodo di Coulomb, tenere conto dell'inclinazione del paramento e dell'attrito muro – terreno.

Con il metodo del cuneo di tentativo non viene esplicitato alcun coefficiente di spinta attiva, ma esso fornisce, per i casi in cui le condizioni siano confrontabili, gli stessi risultati dei metodi di Coulomb e Rankine.

### 7.3 Carichi accidentali

I carichi variabili associati al passaggio dei convogli, vengono schematizzati, ai fini del calcolo, con dei carichi uniformi  $q_{vk}$  applicati a  $-0.80 \text{ m}$  sotto il PF, su una larghezza complessiva pari alla dimensione della traversina, incrementata dell'estensione delle fasce di diffusione dei carichi all'interno del ballast sino alla quota considerata, secondo quanto indicato nella figura seguente (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E § 2.5.1.4.1.4):



Per la determinazione dell'entità dei carichi da considerare, si è fatto riferimento al treno di carico LM71 (RFI DTC SI CS MA IFS 001 E § 3.5.2.3.4), cui corrisponde un carico a metro lineare di binario pari a:

$$Q_{vk} = 4 \times 250 \text{ kN} / 6.4 \text{ m} \times 1.1 = 172 \text{ KN/m}$$

Si riporta dunque nel seguito la determinazione del valore del carico  $q_{vk}$  per il caso specifico:

- Ricoprimento tot. = 0,80 m (da piano ferro a intradosso ballast)
- Dimensione traversina = 2,40 m
- PF-intrad. traversina = 0,40 m (da base traversina a intradosso ballast)
- Ballast = 0,40 m (4/1) (vert./orizz)
- L trasversale = 2,60 m
- $q_{vk} = 172 \text{ kN/m} / 2.6 \text{ m} = 66.2 \text{ kN/m}^2$

#### 7.4 Spinta del terreno in fase sismica

In fase sismica, come indicato nel Manuale di Progettazione, si considera la mobilitazione della spinta attiva. In questo caso, il software calcola la spinta attiva con lo stesso metodo del cuneo di tentativo, introducendo però, tra le forze agenti sul cuneo, l'azione del sisma, valutata in modo pseudo-statico con 2 forze, rispettivamente orizzontale e verticale

$$E_h = k_h W$$

$$E_v = k_v W$$

Essendo  $W$  il peso del cuneo e  $k_h$  e  $k_v$  i coefficienti definiti al par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018.

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

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$


Dove:

$\beta$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

$\beta = 0,38$  (NTC 7.11.6.2.1)

	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO          POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI          BRESCIA</b>					
Relazione di calcolo muri di sostegno sede ferroviaria 1/3	COMMESSA IN1M	LOTTO 11	CODIFICA D 26CL	DOCUMENTO RI0005001	REV. A	PAGINE 13 di 35

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal *DM 17/01/2018*, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), in esercizio (SLE) e in condizioni sismiche (SLV).

- Combinazioni SLU per verifiche geotecniche e strutturali (A1+M1+R3);
- Combinazioni SLU per verifiche a ribaltamento e a scorrimento (EQU+M1+R3);
- Combinazione SLU per la verifica di stabilità globale (A2+M2+R2);
- Combinazione SLE Rara;
- Combinazioni SLV per verifiche globali, geotecniche e strutturali ([1]+M1+R3);
- Combinazione SLV per la verifica di stabilità globale ([1]+M1+R2).

[1] – Coefficienti di carico unitari

Di seguito si riporta un riepilogo delle Combinazioni di Carico considerate nelle analisi. In particolare per la combinazione SLE Rara si considera il gruppo di carico 1 per l'azione verticale e laterale e il gruppo di carico 4 per la verifica a fessurazione. Nel caso in esame si considera il coefficiente per le azioni verticali per treno pari a 0,8, in quanto non si verifica la condizione in cui il cuneo di spinta intercetti il secondo treno. Si riporta di seguito Tab 5.2.IV del MdP parte II sez.II.

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
<b>Gruppo 1</b> (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
<b>Gruppo.2</b> (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
<b>Gruppo 3</b> (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
<b>Gruppo 4</b>	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc..)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

*I valori fra parentesi indicati nella Tab. 5.2.IV vanno assunti quando l'azione risulta favorevole nei riguardi della verifica che si sta svolgendo."*

Relativamente al Gruppo 3 si puntualizza che il valore tra parentesi nella colonna "carico verticale" da traffico dovrà assumersi pari a 0,5 per modelli di carico tipo "treno reale" e 0,7 per modelli di carico "teorico".

*"Il gruppo 4 è da considerarsi esclusivamente per le verifiche a fessurazione. I valori indicati fra parentesi si assumeranno pari a: (0,6) per impalcati con 2 binari caricati e (0,4) per impalcati con tre o più binari caricati."*

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	1.35	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.50	--	Sfavorevole
Treno	1.45	1.00	Sfavorevole

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G2- Ballast	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
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.35	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.35	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.35	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.50	--	Sfavorevole
Treno	1.45	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.35	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.35	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.50	--	Sfavorevole
Treno	1.45	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.35	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.35	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.50	--	Sfavorevole
Treno	1.45	1.00	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
G2- Ballast	1.30	--	Sfavorevole
Treno	1.25	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
G2- Ballast	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
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.50	--	Sfavorevole
Treno	1.35	1.00	Sfavorevole

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G2- Ballast	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
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole
Treno	1.00	0.80	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G2- Ballast	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
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 16 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G2- Ballast	1.00	--	Sfavorevole
Treno GR4	1.00	0.80	Sfavorevole

## 9 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA


### 9.1 Codice di calcolo

Tutte le analisi e verifiche esposte nel presente documento sono state effettuate con l'ausilio del software di calcolo:

“MAX MURI – ver. 15.04b” (Analisi e Calcolo Muri di Sostegno)

prodotto e distribuito dalla Aztec Informatica srl, Corso Umberto I.43 – 87050 Casole Bruzio (CS) – [aztec@aztec.it](mailto:aztec@aztec.it).

Licenza: *Bonifica S.p.A. \*AIR0136G4*

	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO          POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI          BRESCIA</b>					
Relazione di calcolo muri di sostegno sede ferroviaria 1/3	COMMESSA IN1M	LOTTO 11	CODIFICA D 26CL	DOCUMENTO RI0005001	REV. A	PAGINE 16 di 35

L'analisi prende in considerazione un concio di muro di adeguata lunghezza e ad altezza costante.

“GeoStudio2018 – Geoslope”

## 9.2 Verifica allo scorrimento

La verifica a scorrimento sul piano di fondazione confronta la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a far scorrere il muro con la forza resistente di attrito sullo stesso piano. Il coefficiente di attrito viene assunto sulla base dell'angolo di attrito interno del terreno di fondazione. Non si prende in considerazione l'adesione muro – terreno.

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento deve risultare:

- $R3 \geq 1,10$  in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,00$  in condizioni sismiche (SLV)

Ai fini delle verifiche di scorrimento, si è assunto  $\delta = \phi'$ .

## 9.3 Verifica geotecnica a carico limite

Per la valutazione del carico limite di fondazioni dirette si utilizza la formula di Brinch-Hansen. Il coefficiente di sicurezza a carico limite deve risultare:

- $R3 \geq 1,40$  in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,20$  in condizioni sismiche (SLV)

## 9.4 Verifica a ribaltamento

La verifica al ribaltamento dell'opera di sostegno, prevede la valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti del meccanismo di rotazione dell'opera rispetto al vertice esterno della fondazione.

Il coefficiente di sicurezza al ribaltamento deve risultare:

- $R3 \geq 1,15$  in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,00$  in condizioni sismiche (SLV)

## 9.5 Verifica di stabilità globale

Per la verifica di stabilità globale si adotta il metodo di Bishop. Le superficie di scorrimento vengono supposte circolari e determinate in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro. Ai fini del calcolo delle forze agenti e resistenti, il corpo potenzialmente instabile viene suddiviso in strisce verticali. Si valutano i momenti stabilizzanti e instabilizzanti intorno ai centri dei cerchi di scorrimento e si determina il coefficiente di sicurezza per una serie di centri disposti su una maglia (10 centri x 10 centri) posta in prossimità della sommità del muro.

La verifica è soddisfatta se il coefficiente di sicurezza minimo non è inferiore a

- $R2 = 1,10$  in condizioni statiche (SLU con parametri M2)
- $R2 = 1,20$  in condizioni sismiche (SLV con parametri M1)



## 9.6 Verifiche strutturali

Vengono verificate in automatico, nella parete e nella fondazione, le sezioni principali di larghezza unitaria, in base al criterio del confronto delle sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente con i valori ultimi ad eccentricità costante (uguale rapporto M/N).

## 10 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE

### 10.1 Muro di sottoscarpa MU01

#### 10.1.1 Dati generali

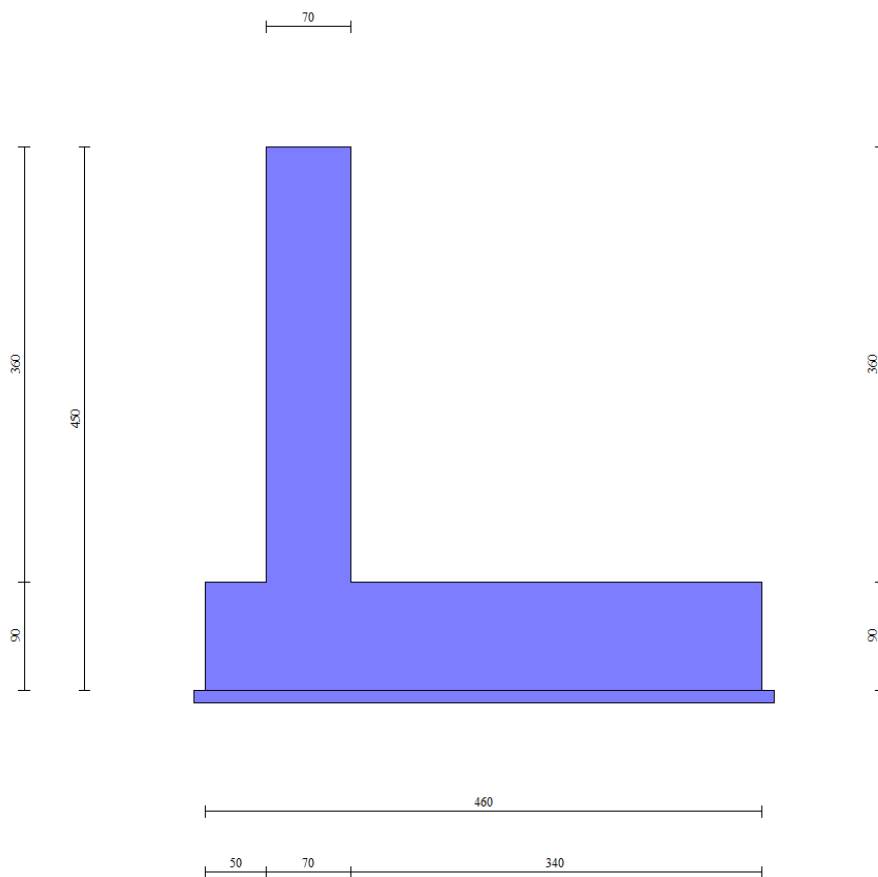


Figura 2 – sezione

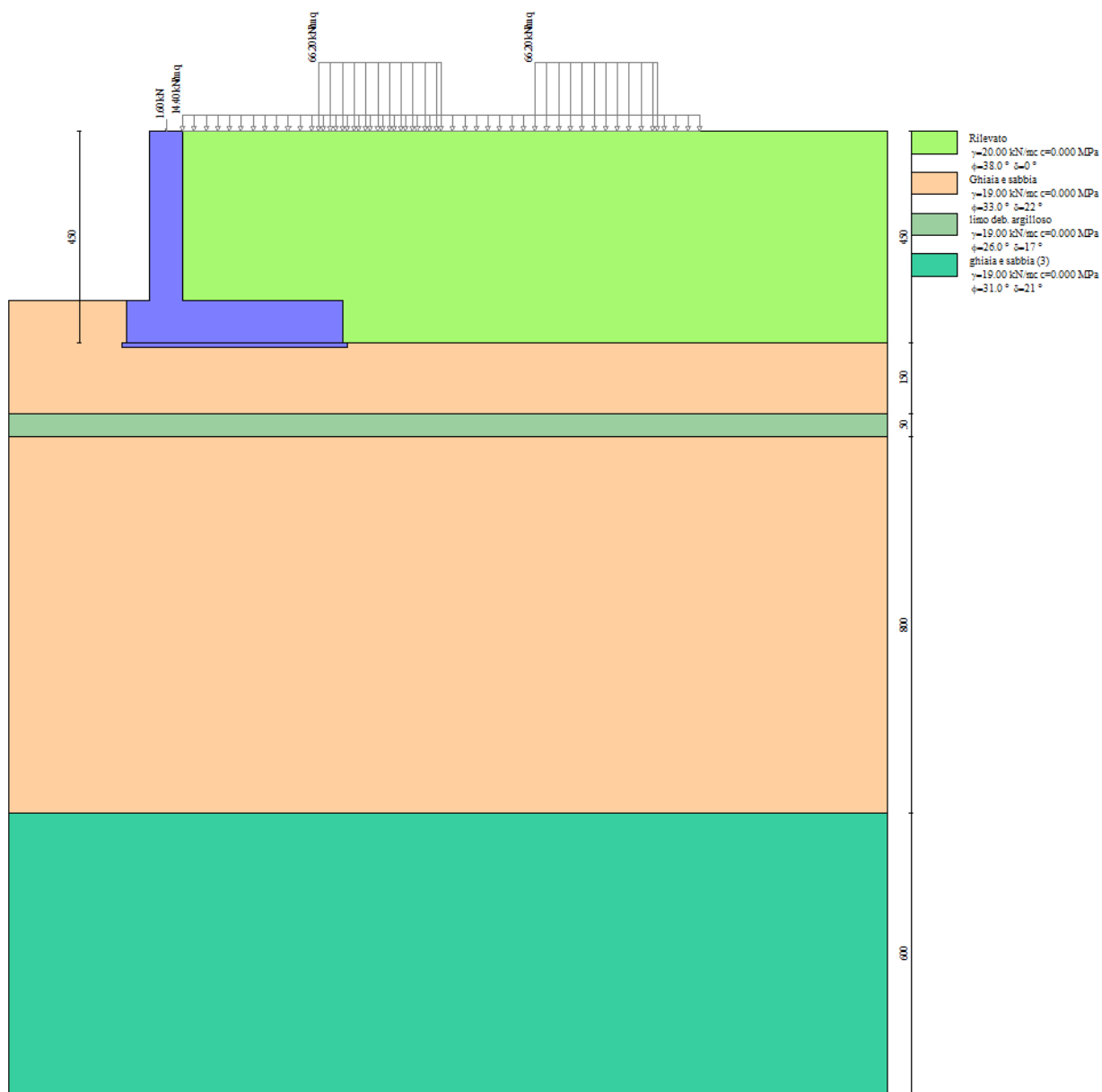


Figura 3 - carichi profilo e paramento

### 10.1.2 Cuneo di spinta

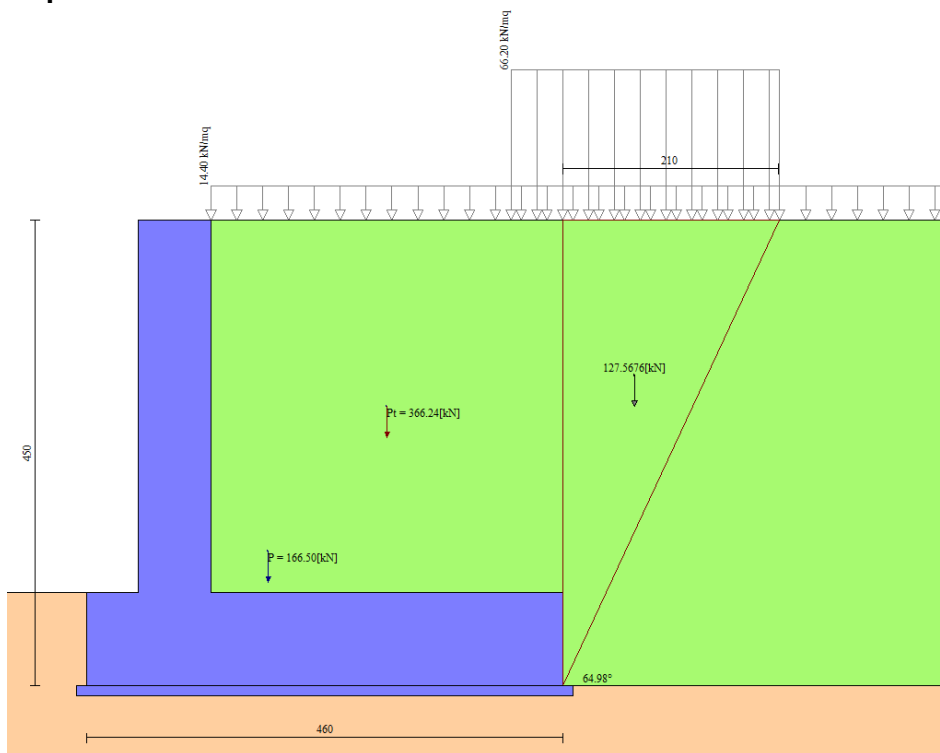


Figura 4 - Cuneo di spinta comb. STR

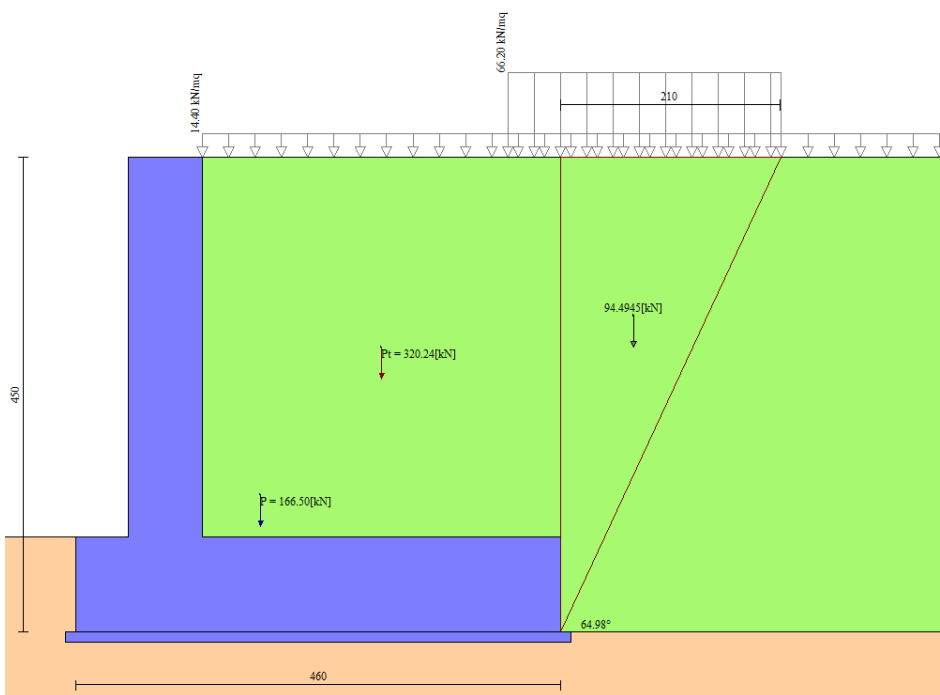


Figura 5 - comb. n. 20 SLERARA

### 10.1.3 Sollecitazioni

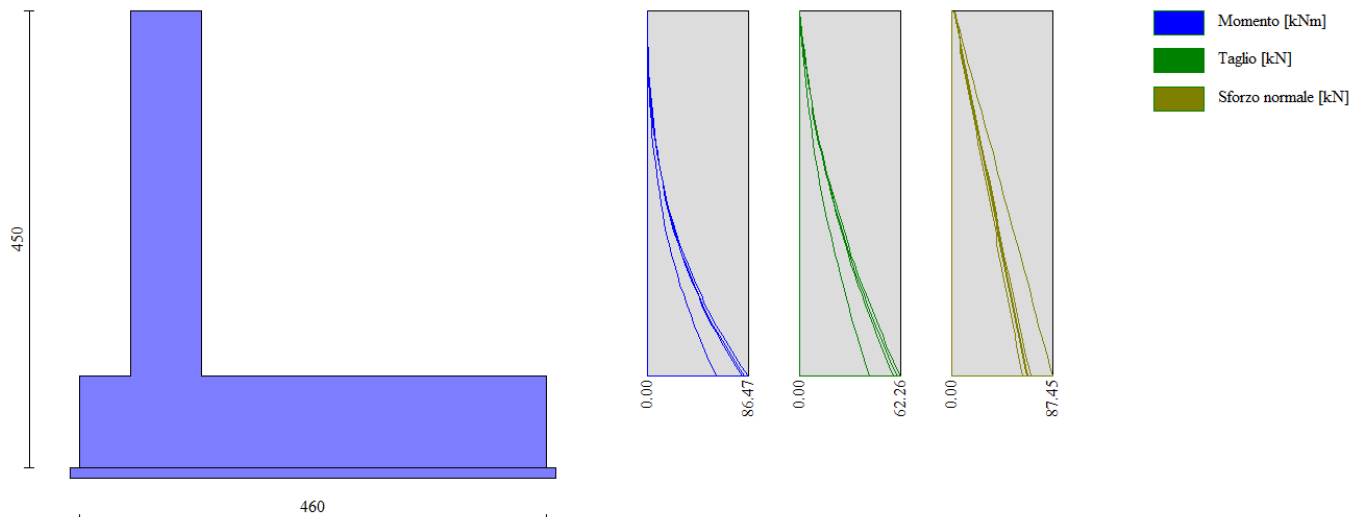


Figura 6 - sollecitazioni paramento involucro

#### Elementi calcolati a trave

##### Simbologia adottata

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

#### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0.00	1.60	2.40	0.00	0.17	0.00	0.00
2	-0.10	3.26	4.76	0.37	0.73	0.02	0.04
3	-0.20	4.92	7.12	0.78	1.35	0.07	0.15
4	-0.30	6.58	9.49	1.24	2.05	0.18	0.32
5	-0.40	8.23	11.85	1.75	2.81	0.33	0.56
6	-0.50	9.89	14.21	2.31	3.63	0.53	0.88
7	-0.60	11.55	16.57	2.91	4.52	0.79	1.29
8	-0.70	13.21	18.94	3.57	5.48	1.11	1.79
9	-0.80	14.87	21.30	4.27	6.51	1.50	2.39
10	-0.90	16.53	23.66	5.01	7.60	1.97	3.09
11	-1.00	18.18	26.03	5.81	8.76	2.51	3.91
12	-1.10	19.84	28.39	6.65	9.98	3.13	4.84
13	-1.20	21.50	30.75	7.54	11.27	3.84	5.91
14	-1.30	23.16	33.11	8.48	12.63	4.64	7.10
15	-1.40	24.82	35.48	9.46	14.06	5.54	8.43
16	-1.50	26.48	37.84	10.49	15.55	6.53	9.91
17	-1.60	28.14	40.20	11.57	17.11	7.64	11.55
18	-1.70	29.79	42.56	12.70	18.73	8.85	13.34
19	-1.80	31.45	44.93	13.88	20.42	10.18	15.30
20	-1.90	33.11	47.29	15.10	22.18	11.63	17.42
21	-2.00	34.77	49.65	16.37	24.00	13.20	19.73
22	-2.10	36.43	52.01	17.69	25.90	14.90	22.23
23	-2.20	38.09	54.38	19.05	27.85	16.74	24.91
24	-2.30	39.74	56.74	20.47	29.88	18.71	27.80
25	-2.40	41.40	59.10	21.93	31.97	20.83	30.89
26	-2.50	43.06	61.46	23.43	34.13	23.10	34.20
27	-2.60	44.72	63.82	24.99	36.35	25.52	37.72
28	-2.70	46.38	66.19	26.59	38.64	28.10	41.47
29	-2.80	48.04	68.55	28.24	41.00	30.84	45.45
30	-2.90	49.70	70.91	29.94	43.42	33.75	49.67
31	-3.00	51.35	73.27	31.69	45.91	36.83	54.14
32	-3.10	53.01	75.64	33.48	48.47	40.09	58.86
33	-3.20	54.67	78.00	35.32	51.10	43.53	63.83
34	-3.30	56.33	80.36	37.21	53.79	47.16	69.08
35	-3.40	57.99	82.72	39.15	56.54	50.97	74.59
36	-3.50	59.65	85.09	41.13	59.37	54.99	80.39
37	-3.60	61.30	87.45	43.16	62.26	59.20	86.47

#### Fondazione

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	-1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-1.10	0.00	0.00	8.47	18.28	0.42	0.92
3	-1.00	0.00	0.00	16.90	36.27	1.69	3.65
4	-0.90	0.00	0.00	25.31	53.97	3.80	8.16
5	-0.80	0.00	0.00	33.68	71.38	6.75	14.43
6	-0.70	0.00	0.00	42.03	88.50	10.54	22.43
7	0.00	0.00	0.00	-197.22	-35.01	-438.59	-69.36
8	0.10	0.00	0.00	-198.04	-34.48	-421.22	-65.89
9	0.20	0.00	0.00	-198.54	-33.91	-404.14	-62.47
10	0.30	0.00	0.00	-198.72	-33.32	-387.28	-59.10
11	0.40	0.00	0.00	-198.59	-32.70	-370.34	-55.80
12	0.50	0.00	0.00	-198.15	-32.04	-353.36	-52.57
13	0.60	0.00	0.00	-197.38	-31.36	-336.36	-49.39
14	0.70	0.00	0.00	-196.31	-30.64	-319.39	-46.29
15	0.80	0.00	0.00	-194.91	-29.90	-302.48	-43.27
16	0.90	0.00	0.00	-193.21	-29.12	-285.66	-40.32
17	1.00	0.00	0.00	-191.18	-28.32	-268.98	-37.44
18	1.10	0.00	0.00	-188.84	-27.48	-252.46	-34.65
19	1.20	0.00	0.00	-186.19	-26.62	-236.14	-31.95
20	1.30	0.00	0.00	-183.50	-25.73	-220.06	-29.33
21	1.40	0.00	0.00	-180.60	-24.80	-204.25	-26.80
22	1.50	0.00	0.00	-177.34	-23.85	-188.75	-24.37
23	1.60	0.00	0.00	-173.72	-22.86	-173.59	-22.04
24	1.70	0.00	0.00	-169.75	-21.85	-158.82	-19.80
25	1.80	0.00	0.00	-165.43	-20.80	-144.46	-17.67
26	1.90	0.00	0.00	-160.75	-19.73	-130.54	-15.64
27	2.00	0.00	0.00	-155.72	-18.62	-117.12	-13.72
28	2.10	0.00	0.00	-150.33	-17.49	-104.21	-11.92
29	2.20	0.00	0.00	-144.59	-16.32	-91.86	-10.23
30	2.30	0.00	0.00	-138.49	-15.13	-80.10	-8.65
31	2.40	0.00	0.00	-132.04	-13.90	-68.98	-7.20
32	2.50	0.00	0.00	-125.23	-12.65	-58.51	-5.87
33	2.60	0.00	0.00	-118.07	-11.36	-48.74	-4.67
34	2.70	0.00	0.00	-110.55	-10.05	-39.71	-3.60
35	2.80	0.00	0.00	-102.68	-8.70	-31.44	-2.66
36	2.90	0.00	0.00	-94.45	-7.33	-23.98	-1.86
37	3.00	0.00	0.00	-76.27	-5.92	-15.44	-1.20
38	3.10	0.00	0.00	-57.74	-4.49	-8.74	-0.68
39	3.20	0.00	0.00	-38.84	-3.02	-3.91	-0.30
40	3.30	0.00	0.00	-19.60	-1.53	-0.98	-0.08
41	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## 10.1.4 Verifiche geotecniche

	Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)			1.134		15.865	
2 - STR (A1-M1-R3)		H + V	1.509		17.471	
3 - STR (A1-M1-R3)		H - V	1.431		19.392	
4 - STR (A1-M1-R3)			1.440		12.502	
5 - STR (A1-M1-R3)			1.316		13.675	
6 - STR (A1-M1-R3)			1.258		14.307	
7 - GEO (A2-M2-R2)						1.438
8 - GEO (A2-M2-R2)		H + V				1.498
9 - GEO (A2-M2-R2)		H - V				1.462
10 - EQU (A1-M1-R3)				3.727		
11 - EQU (A1-M1-R3)		H + V		3.998		
12 - EQU (A1-M1-R3)		H - V		2.979		

### 10.1.4.1 Verifica a scorrimento

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
1 - STR (A1-M1-R3)	216.21	0.00	0.00	--	--	216.21	190.60	1.134

### 10.1.4.2 Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
----	---------------------

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

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
5	258.64	743.71	531.22	2.876

### 10.1.4.3 Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

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

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
4 - STR (A1-M1-R3)	679.09	8489.66	6064.04	12.502

### 10.1.4.4 Verifica di stabilità Globale

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
7 - GEO (A2-M2-R2)	-1.76; 1.17	7.67	1.438

### 10.1.5 Verifiche strutturali

#### 10.1.5.1 Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

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 [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
37	100	70	12.57	12.57	86.47	67.90	395.61	310.63	4.575

Si considerano: 4Φ20 + 4Φ20 armatura minima

Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
7	100	90	21.24	21.24	-438.59	0.00	-662.74	0.00	1.511

Si considerano: 4Φ26 + 4Φ26 armatura minima

### 10.1.5.2 Verifiche a taglio

#### Simbologia adottata

Is	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espressa in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Asw	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 (Asw>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 [cm]	H [cm]	Asw [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
37	100	70	0.00	--	0.00	0.00	294.30	62.26	4.727

#### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Asw [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
10	100	90	0.00	--	0.00	0.00	387.97	-198.72	1.952

### 10.1.5.3 Verifiche SLE RARA (Tensioni)

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori, espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kN]
σc	tensione di compressione nel cls, espressa in [MPa]
σfi	tensione nei ferri inferiori, espressa in [MPa]
σfs	tensione nei ferri superiori, espressa in [MPa]

#### Combinazioni SLER

##### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo	13.280	[MPa]
Tensione massima di trazione dell'acciaio	337.452	[MPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [MPa]	σfi [MPa]	σfs [MPa]
37	100	70	12.57	12.57	59.20	64.60	1.378 (13)	55.674 (13)	12.851 (13)

##### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo	13.280	[MPa]
Tensione massima di trazione dell'acciaio	337.452	[MPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [MPa]	σfi [MPa]	σfs [MPa]
7	100	90	21.24	21.24	-173.92	0.00	2.016 (13)	19.068 (13)	106.433 (13)
8	100	90	21.24	21.24	-168.17	0.00	1.949 (13)	18.437 (13)	102.913 (13)
9	100	90	21.24	21.24	-162.28	0.00	1.881 (13)	17.791 (13)	99.307 (13)
10	100	90	21.24	21.24	-156.26	0.00	1.811 (13)	17.132 (13)	95.626 (13)
11	100	90	21.24	21.24	-150.14	0.00	1.740 (13)	16.461 (13)	91.879 (13)
12	100	90	21.24	21.24	-143.93	0.00	1.668 (13)	15.779 (13)	88.078 (13)

### 10.1.5.4 Verifiche SLE RARA (Fessurazioni)



### Verifica a fessurazione

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espressa in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Af	area ferri zona tesa espresso in [cmq]
Aeff	area efficace espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
Mpf	momento di prima fessurazione espressa in [kNm]
ε	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

### Combinazioni SLER

#### Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.20$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	ε	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kNm]	[%]	[mm]	[mm]
37	100	70	12.57	1625.00	59.20	344.15	0.000000	0.00	0.000 (13)

#### Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.20$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	ε	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kNm]	[%]	[mm]	[mm]
39	100	90	21.24	1700.00	-1.86	-578.85	0.000000	0.00	0.000 (13)

## 10.2 Muro di sottoscarpa MU02

### 10.2.1 Dati generali

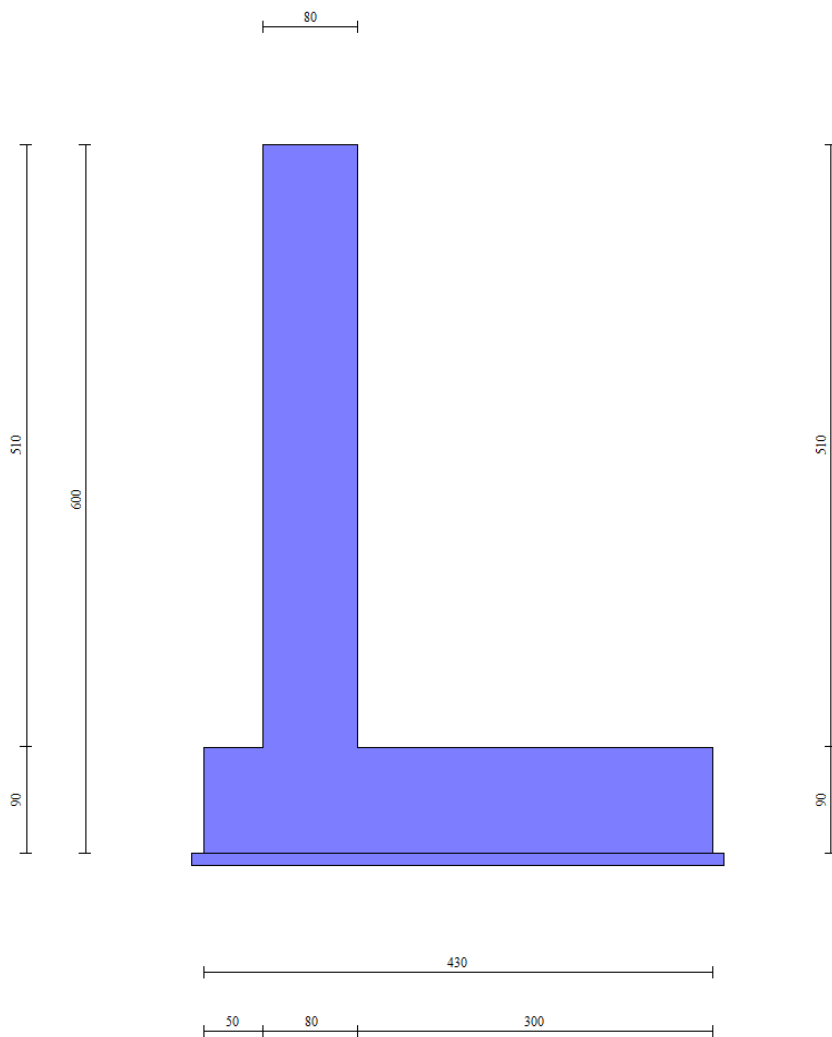


Figura 2 – sezione

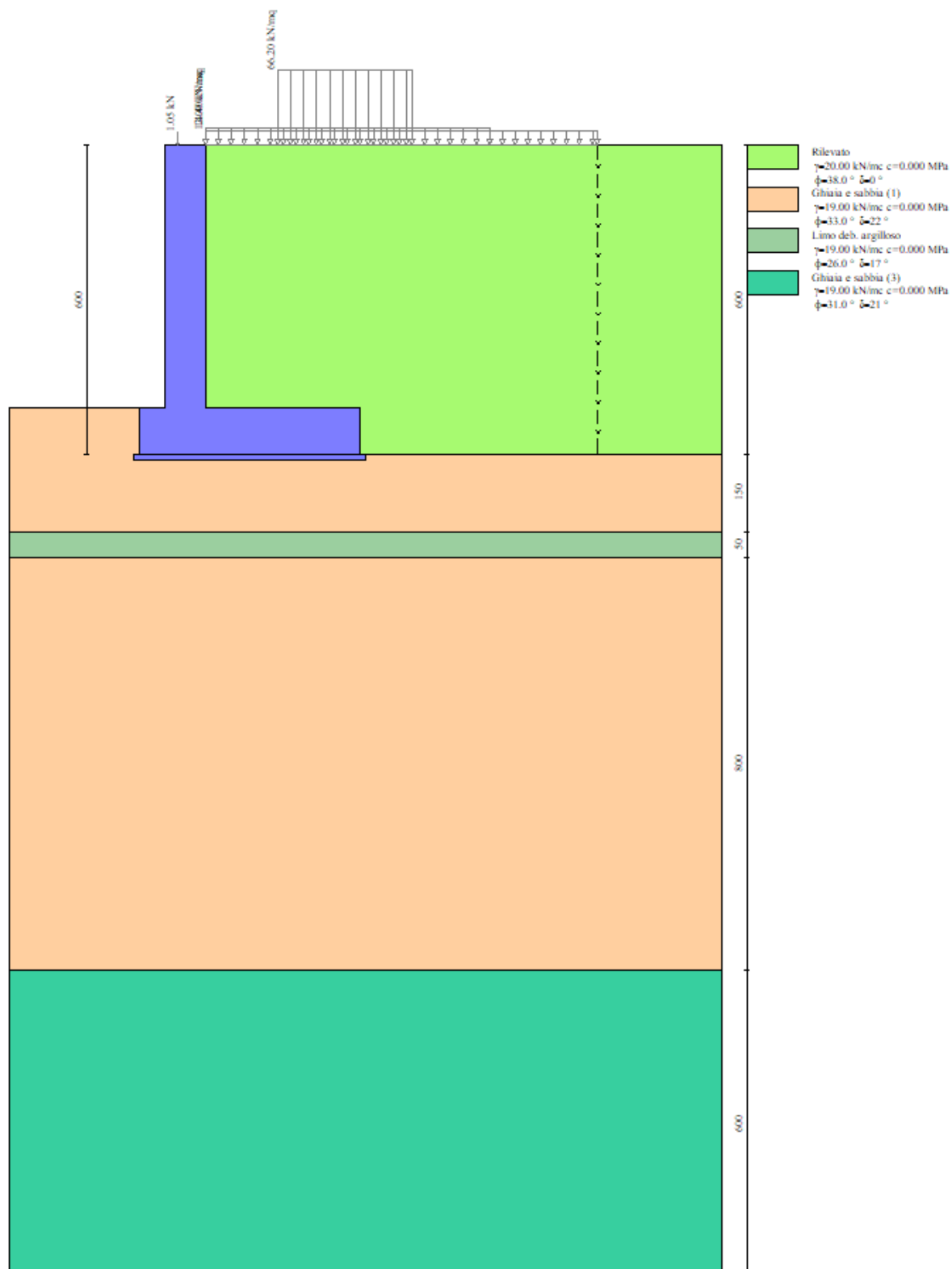


Figura 3 - carichi profilo e paramento

## 10.2.2 Cuneo di spinta

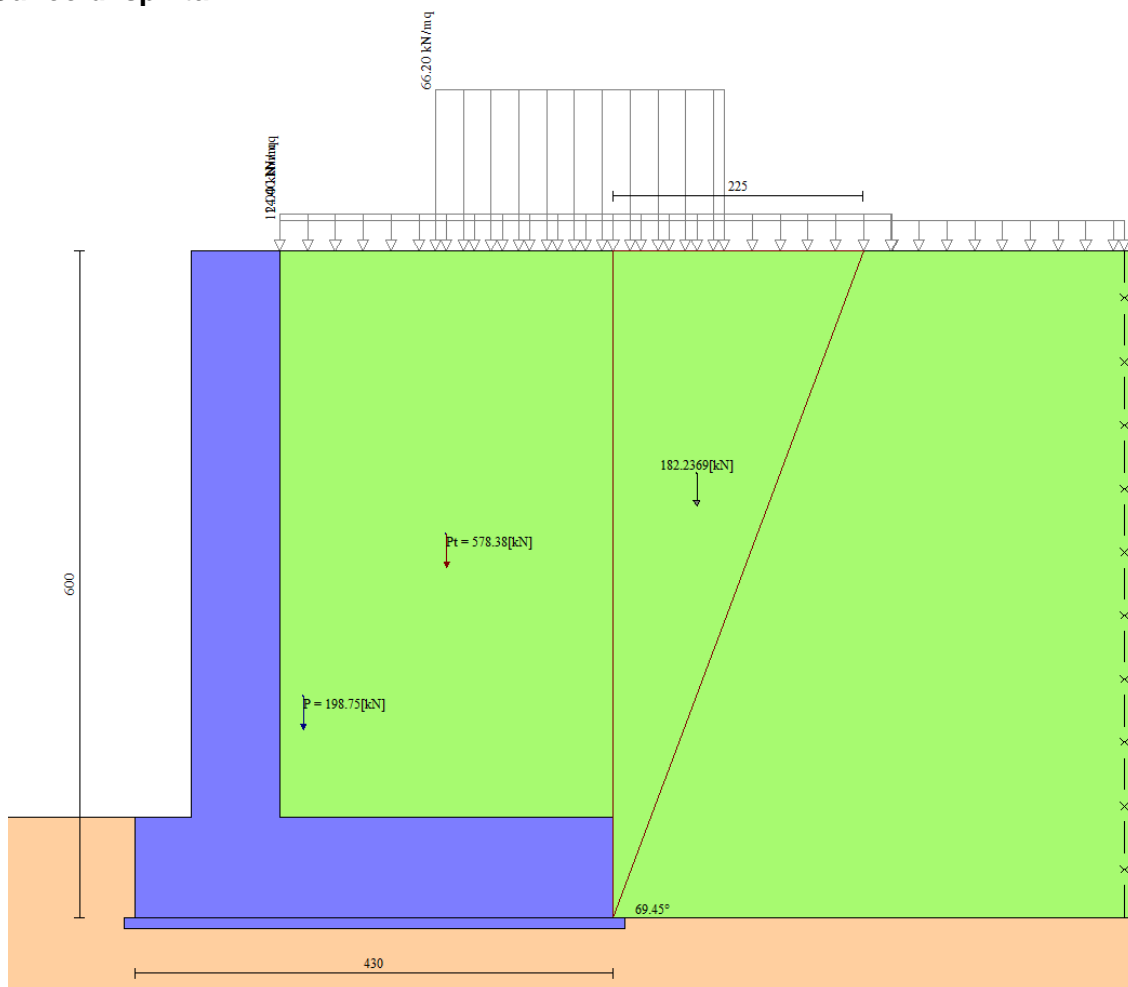


Figura 4 - Cuneo di spinta comb. STR

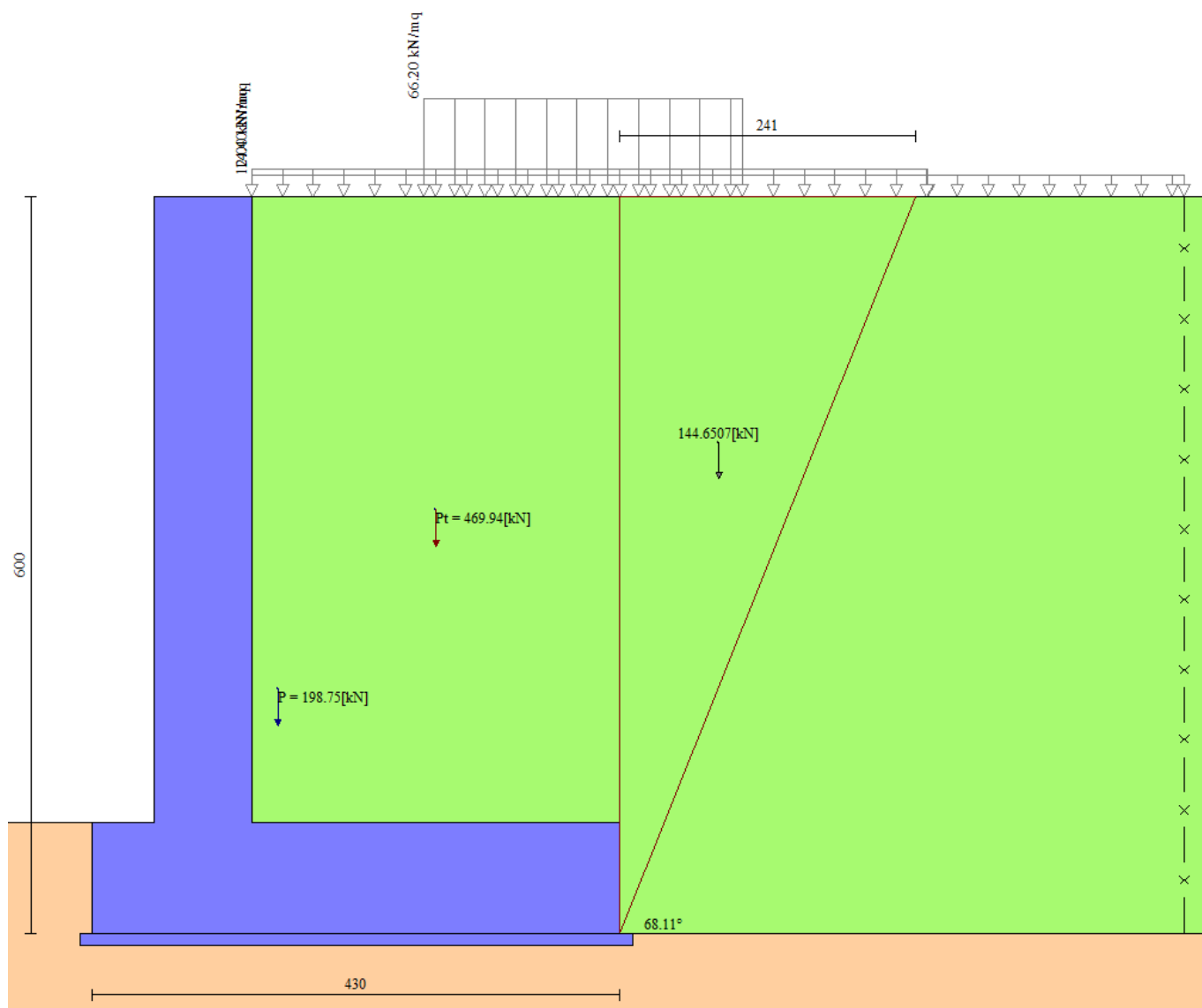


Figura 5 - comb. n. 20 SLERARA

### 10.2.3 Sollecitazioni

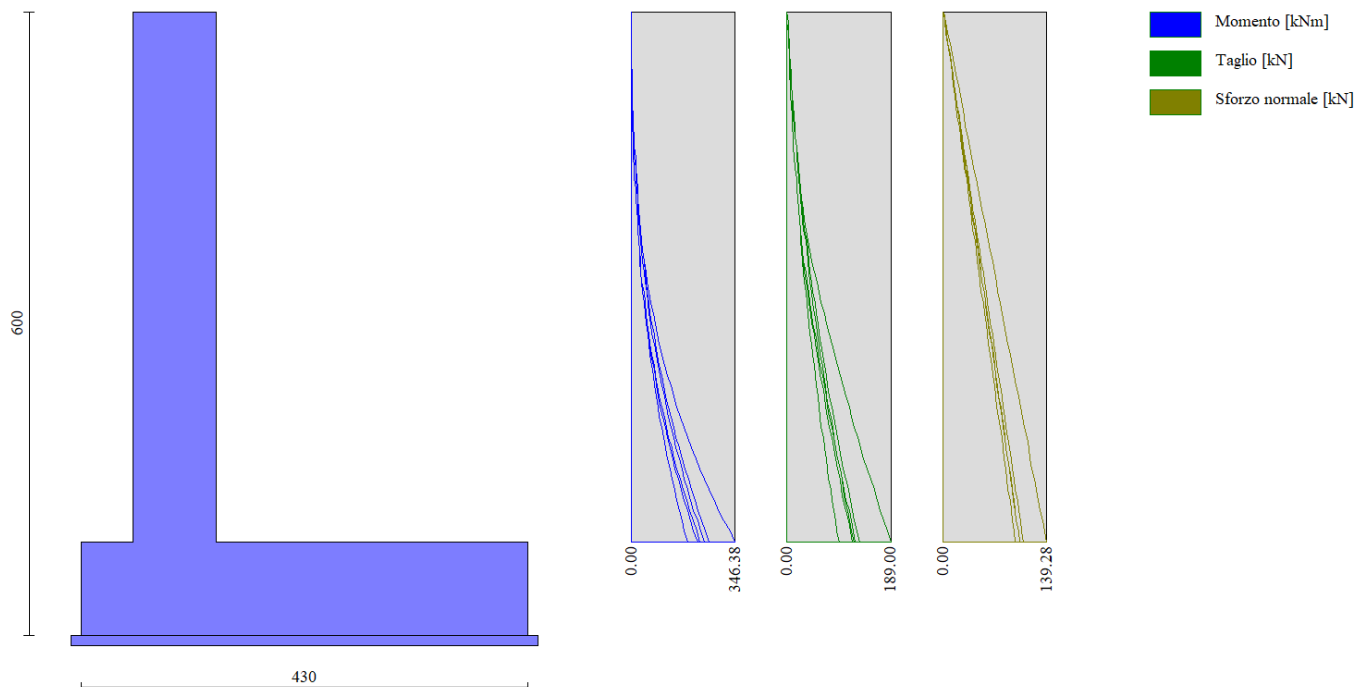


Figura 6 - sollecitazioni paramento inviluppo

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

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

#### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0.00	1.05	1.58	0.00	0.11	0.16	0.24
2	-0.10	2.95	4.28	0.65	0.98	0.19	0.28
3	-0.20	4.84	6.98	1.35	2.01	0.29	0.43
4	-0.30	6.74	9.68	2.10	3.12	0.46	0.69
5	-0.40	8.63	12.38	2.90	4.29	0.71	1.06
6	-0.50	10.53	15.08	3.74	5.52	1.04	1.55
7	-0.60	12.42	17.78	4.63	6.81	1.46	2.16
8	-0.70	14.32	20.48	5.56	8.17	1.97	2.91
9	-0.80	16.21	23.18	6.55	9.59	2.57	3.80
10	-0.90	18.11	25.88	7.58	11.08	3.28	4.83
11	-1.00	20.00	28.58	8.66	12.63	4.09	6.02
12	-1.10	21.90	31.28	9.79	14.25	5.01	7.36
13	-1.20	23.79	33.98	10.96	15.93	6.05	8.87
14	-1.30	25.69	36.67	12.19	17.68	7.21	10.55
15	-1.40	27.59	39.37	13.46	19.49	8.49	12.41
16	-1.50	29.48	42.08	14.77	21.36	9.90	14.45
17	-1.60	31.38	44.77	16.14	23.30	11.45	16.68
18	-1.70	33.27	47.48	17.55	25.30	13.13	19.11
19	-1.80	35.17	50.18	19.01	27.36	14.96	21.75
20	-1.90	37.06	52.88	20.52	29.54	16.94	24.59
21	-2.00	38.96	55.58	22.08	31.99	19.07	27.66
22	-2.10	40.85	58.27	23.68	34.75	21.35	31.00
23	-2.20	42.75	60.97	25.33	37.97	23.80	34.63
24	-2.30	44.64	63.67	27.03	41.61	26.42	38.60
25	-2.40	46.54	66.38	28.78	45.54	29.21	42.96
26	-2.50	48.43	69.08	30.57	49.71	32.18	47.72
27	-2.60	50.33	71.77	32.41	54.00	35.33	52.91
28	-2.70	52.23	74.47	34.30	58.40	38.66	58.52
29	-2.80	54.12	77.17	36.24	62.89	42.19	64.59
30	-2.90	56.02	79.88	38.22	67.47	45.91	71.10
31	-3.00	57.91	82.58	40.25	72.15	49.83	78.08
32	-3.10	59.81	85.28	42.33	76.92	53.96	85.54

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
33	-3.20	61.70	87.97	44.46	81.77	58.30	93.47
34	-3.30	63.60	90.68	46.63	86.71	62.86	101.89
35	-3.40	65.49	93.38	48.85	91.74	67.63	110.82
36	-3.50	67.39	96.08	51.12	96.85	72.63	120.24
37	-3.60	69.28	98.78	53.44	102.03	77.86	130.19
38	-3.70	71.18	101.48	55.81	107.30	83.32	140.65
39	-3.80	73.07	104.18	58.22	112.65	89.02	151.65
40	-3.90	74.97	106.88	60.68	118.08	94.96	163.19
41	-4.00	76.87	109.57	63.18	123.58	101.16	175.27
42	-4.10	78.76	112.27	65.74	129.16	107.60	187.91
43	-4.20	80.66	114.97	68.34	134.81	114.31	201.10
44	-4.30	82.55	117.68	70.99	140.54	121.27	214.87
45	-4.40	84.45	120.37	73.69	146.35	128.51	229.21
46	-4.50	86.34	123.08	76.43	152.22	136.01	244.14
47	-4.60	88.24	125.77	79.23	158.17	143.79	259.66
48	-4.70	90.13	128.48	82.07	164.20	151.86	275.78
49	-4.80	92.03	131.18	84.96	170.29	160.21	292.50
50	-4.90	93.92	133.87	87.89	176.46	168.85	309.84
51	-5.00	95.82	136.58	90.87	182.69	177.79	327.80
52	-5.10	97.71	139.28	93.90	189.00	187.03	346.38

### Fondazione

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	-1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-1.20	0.00	0.00	16.50	31.84	0.83	1.60
3	-1.10	0.00	0.00	32.76	63.09	3.29	6.35
4	-1.00	0.00	0.00	48.77	93.72	7.37	14.19
5	-0.90	0.00	0.00	64.54	123.76	13.04	25.07
6	-0.80	0.00	0.00	80.06	153.19	20.27	38.93
7	0.00	0.00	0.00	-334.65	-92.36	-646.14	-193.70
8	0.10	0.00	0.00	-337.90	-92.84	-620.18	-184.44
9	0.20	0.00	0.00	-340.52	-93.07	-593.94	-175.14
10	0.30	0.00	0.00	-342.49	-93.06	-567.89	-165.83
11	0.40	0.00	0.00	-343.82	-92.80	-541.97	-156.54
12	0.50	0.00	0.00	-344.52	-92.29	-515.84	-147.28
13	0.60	0.00	0.00	-344.57	-91.54	-489.57	-138.09
14	0.70	0.00	0.00	-343.98	-90.55	-463.23	-128.98
15	0.80	0.00	0.00	-342.75	-89.31	-436.88	-119.99
16	0.90	0.00	0.00	-340.88	-87.82	-410.60	-111.13
17	1.00	0.00	0.00	-338.37	-86.09	-384.46	-102.43
18	1.10	0.00	0.00	-335.22	-84.11	-358.53	-93.92
19	1.20	0.00	0.00	-331.63	-81.89	-332.88	-85.62
20	1.30	0.00	0.00	-327.76	-79.43	-307.59	-77.55
21	1.40	0.00	0.00	-323.18	-76.72	-282.71	-69.74
22	1.50	0.00	0.00	-308.29	-73.76	-251.13	-62.21
23	1.60	0.00	0.00	-292.70	-70.56	-221.08	-55.00
24	1.70	0.00	0.00	-276.39	-67.11	-192.62	-48.11
25	1.80	0.00	0.00	-259.38	-63.42	-165.82	-41.58
26	1.90	0.00	0.00	-241.66	-59.48	-140.77	-35.44
27	2.00	0.00	0.00	-223.23	-55.30	-117.52	-29.69
28	2.10	0.00	0.00	-204.09	-50.87	-96.14	-24.38
29	2.20	0.00	0.00	-184.25	-46.20	-76.72	-19.53
30	2.30	0.00	0.00	-163.70	-41.29	-59.32	-15.15
31	2.40	0.00	0.00	-142.44	-36.12	-44.01	-11.28
32	2.50	0.00	0.00	-120.47	-30.72	-30.85	-7.93
33	2.60	0.00	0.00	-97.79	-25.06	-19.94	-5.14
34	2.70	0.00	0.00	-74.40	-19.16	-11.32	-2.93
35	2.80	0.00	0.00	-50.31	-13.02	-5.08	-1.32
36	2.90	0.00	0.00	-25.51	-6.63	-1.28	-0.33
37	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### 10.2.4 Verifiche geotecniche

Cmb	Sismica	FS <sub>sco</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		1.401		9.779	
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.163		12.371	
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.113		13.734	
4 - STR (A1-M1-R3)		1.718		7.971	
5 - STR (A1-M1-R3)		1.593		8.597	
6 - STR (A1-M1-R3)		1.526		8.977	
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.343
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.294
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.272
10 - EQU (A1-M1-R3)			2.944		
11 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		2.285		
12 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		1.909		

### 10.2.4.1 Verifica a scorrimento

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
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	224.01	0.00	0.00	--	--	224.01	201.26	1.113

### 10.2.4.2 Verifica a carico limite

Simbologia adottata

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

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
4 - STR (A1-M1-R3)	955.37	7614.86	5439.19	7.971

### 10.2.4.3 Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
12 - EQU (A1-M1-R3) H - V	1379.16	722.54	1.909

### 10.2.4.4 Verifica di stabilità Globale

*Verifica stabilità globale muro + terreno*

Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-2.34; 0.59	8.49	1.272

## 10.2.5 Verifiche strutturali

### 10.2.5.1 Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

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 [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
52	100	80	8.04	21.24	346.38	103.58	617.51	103.58	1.783

Si considerano: 4Φ16 + 4Φ16 armatura minima

### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
7	100	90	21.24	21.24	-646.14	0.00	-662.74	0.00	1.026

Si considerano: 4Φ26 + 4Φ26 armatura minima

## 10.2.5.2 Verifiche a taglio

### Simbologia adottata

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

### Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Asw [cmq]	cotθ	VRcd [kN]	VRsd [kN]	VRd [kN]	T [kN]	FS
52	100	80	0.00	--	0.00	0.00	336.29	189.00	1.779

### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Asw [cmq]	cotθ	VRcd [kN]	VRsd [kN]	VRd [kN]	T [kN]	FS
15	100	90	0.00	--	0.00	0.00	387.97	-342.75	1.132

### 10.2.5.3 Verifiche SLE RARA (Tensioni)

#### 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 [MPa]
$\sigma_{fi}$	tensione nei ferri inferiori, espressa in [MPa]
$\sigma_{fs}$	tensione nei ferri superiori, espressa in [MPa]

#### Combinazioni SLER

##### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo	13.280	[MPa]
Tensione massima di trazione dell'acciaio	337.452	[MPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
52	100	80	8.04	21.24	230.31	103.05	3.606 (13)	139.142 (13)	36.143 (13)

##### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo	13.280	[MPa]
Tensione massima di trazione dell'acciaio	337.452	[MPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
7	100	90	21.24	21.24	-302.85	0.00	3.510 (13)	33.203 (13)	185.334 (13)
8	100	90	21.24	21.24	-292.45	0.00	3.390 (13)	32.062 (13)	178.966 (13)
9	100	90	21.24	21.24	-281.71	0.00	3.265 (13)	30.885 (13)	172.392 (13)
10	100	90	21.24	21.24	-270.67	0.00	3.137 (13)	29.675 (13)	165.638 (13)
11	100	90	21.24	21.24	-259.37	0.00	3.006 (13)	28.436 (13)	158.725 (13)
12	100	90	21.24	21.24	-247.85	0.00	2.873 (13)	27.173 (13)	151.677 (13)

### 10.2.5.4 Verifiche SLE RARA (Fessurazioni)

#### Verifica a fessurazione

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Af	area ferri zona tesa espresso in [cmq]
Aeff	area efficace espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
Mpf	momento di prima fessurazione espressa in [kNm]
$\varepsilon$	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

#### Combinazioni SLER

##### Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.20$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\varepsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kNm]	[kNm]	[%]	[mm]	[mm]
52	100	80	21.24	1700.00	230.31	464.26	0.000000	0.00	0.000 (13)

##### Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.20$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
7	100	90	21.24	1700.00	-302.85	-578.85	0.000000	0.00	0.000 (13)