

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

**RAMPA SUD CAVALCAFERROVIA STRADA COMUNALE ARQUATA
SCRIVIA-GAVI ALLA Pk 28+401**

Relazione di calcolo muro di sostegno

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing.P.P.Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	C L	I R 1 C 0 5	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	ALPINA <i>Adriano Palomba</i>	27/09/2013	COCIV <i>[Signature]</i>	27/09/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/09/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Adriano Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001-A00
-----------	---------------------------------------

INDICE

INDICE.....	3
1. INTRODUZIONE.....	4
2. NORMATIVA UTILIZZATA.....	5
3. MATERIALI E TENSIONI DI CALCOLO	6
3.1. Calcestruzzo	6
3.2. Acciaio per cemento armato	6
3.3. Durabilità e prescrizioni sui materiali	7
4. GEOMETRIA	8
5. ANALISI DEI CARICHI.....	13
6. CALCOLO E VERIFICA DEL MURO	14
6.1. Stratigrafia.....	14
6.2. Carichi applicati	15
6.3. Concio 1.....	17
6.3.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità.....	17
6.3.2. Verifiche strutturali	20
6.1. Concio 2.....	24
6.1.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità.....	24
6.1.2. Verifiche strutturali	27
6.2. Concio 3.....	31
6.2.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità.....	31
6.2.2. Verifiche strutturali	34
6.3. Concio 4.....	38
6.3.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità.....	38
6.3.2. Verifiche strutturali	41
7. ALLEGATI.....	45
7.1. Parti comuni a tutte le analisi.....	45
7.2. Concio 1.....	48
7.3. Concio 2.....	55
7.4. Concio 3.....	61
7.5. Concio 4.....	67

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 72</p>

1. INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo contiene il dimensionamento e le verifiche statiche e di stabilità del muro di sostegno lungo i binari della linea AV/AC Terzo Valico dei Giovi, all'interno della wbs IR1C.

Il muro di sostegno si trova a lato della viabilità in progetto, a valle di essa, e il suo sviluppo totale è pari a 46.80 m.

Il muro si suddivide in cinque tipologie:

Concio 1: altezza variabile da 1.10 m a 3.80 m, estensione 6.20 m;

Concio 2: altezza variabile da 4.64 m a 3.79 m, estensione 10.80 m;

Concio 3: altezza variabile da 3.59 m a 2.80 m, estensione 10.00 m;

Concio 4: altezza variabile da 2.60 m a 1.80 m, estensione 10.00 m;

Muro di recinzione: altezza variabile da 1.90 m a 1.00 m, estensione 9.80 m, fuori calcolo.

I giunti tra i conci sono sigillati da un cordone di preriempimento per giunti e da un sigillante bituminoso, e hanno una larghezza pari a 2 cm.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno Foglio 5 di 72

2. NORMATIVA UTILIZZATA

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle vigenti normative di seguito riportate:

- D.M. 09/01/1996: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- D.M. 16/01/1996: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi";
- Circ. Min. 04/07/1996 n. 156 STC: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi";
- L. 05/11/1971 n. 1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica";
- D.M. 14/02/1992: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" (valido per il metodo alle tensioni ammissibili);
- Circ. Min. 24/06/1993 n. 37406: "Istruzioni relative alle Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" (valido per il metodo alle tensioni ammissibili);
- Circ. Min. 15/10/1996 n. 252: "Istruzioni relative alle Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- L. 02/02/1974 n. 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. 16/01/1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Ordinanza n. 3274: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Circ. Min. 10/04/1997 n. 65: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica di cui al D.M: 16/01/1996";
- Asa Servizi di Ingegneria (Ferrovie dello Stato), Istruzione n. I/SC/PS-OM/2298 del 02/06/1995, Testo completo delle relative integrazioni: 13/01/1997: "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo";
- Ferrovie dello Stato - Istruzione F.S. 44/b (Testo aggiornato secondo il D.M. 16/01/1999): "Istruzioni tecniche per i manufatti sotto binario da costruire in zona sismica".

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno
	Foglio 6 di 72

3. MATERIALI E TENSIONI DI CALCOLO

3.1. Calcestruzzo

Fondazione C 25/30

Verifica di resistenza

$$\sigma_{c,amm} = 9.70 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{c0} = 0.60 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{c1} = 1.83 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fessurazione

$$w_k = 0.15 \text{ mm}$$

Elevazione C 32/40

Verifica di resistenza

$$\sigma_{c,amm} = 12.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{c0} = 0.73 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{c1} = 2.11 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fessurazione

$$w_k = 0.15 \text{ mm}$$

3.2. Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, controllato in stabilimento e che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento f_y	$\geq 450 \text{ MPa}$
Limite di rottura f_t	$\geq 540 \text{ MPa}$
Allungamento totale al carico massimo A_{gt}	$\geq 7.5\%$
Rapporto f_t/f_y	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}}/f_{ynom}$	$\leq 1,25$

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

Tensione caratteristica a rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$

Tensione ammissibile $\sigma_s = 255 \text{ N/mm}^2$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno <table border="1" data-bbox="1420 224 1532 293"> <tr> <td>Foglio 7 di 72</td> </tr> </table>	Foglio 7 di 72
Foglio 7 di 72		

3.3. Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

Fondazione	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2
Elevazione	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XF1

Nel caso in esame la struttura si trova a permanente contatto con il terreno pertanto deve essere condotta la verifica a fessurazione per la combinazione TA5. Per questa verifica si considerano, in accordo con l'Istruzione n. I/SC/PS-OM/2298 "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo", i seguenti limiti di apertura delle fessure:

- superfici in contatto permanente con il terreno (superfici esterne) $w_k = 0.10 \text{ mm}$;
- superfici non in contatto permanente con il terreno (superfici interne) $w_k = 0.10 \text{ mm}$.

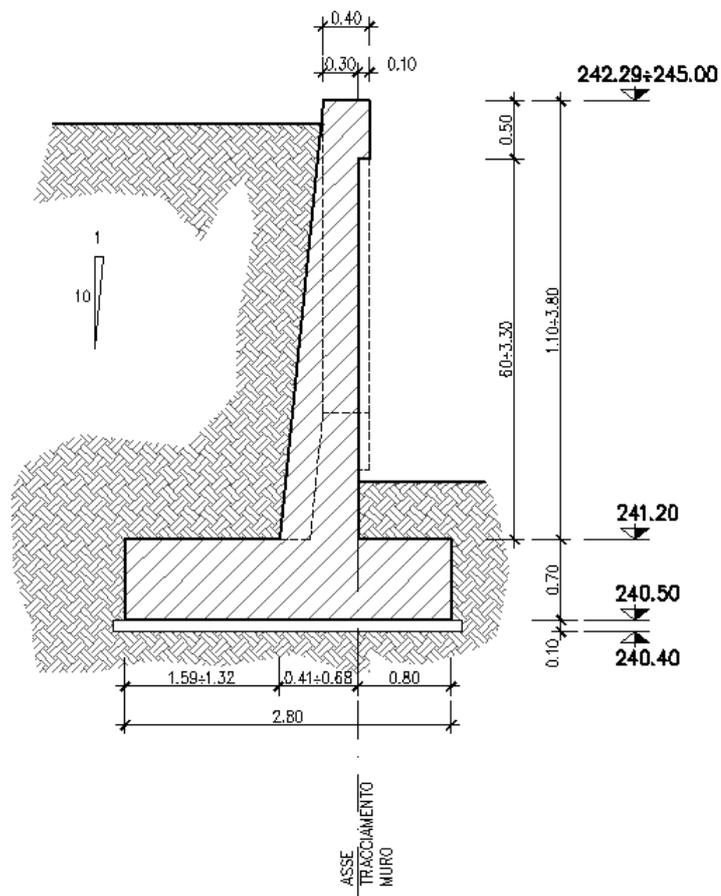
Il copriferro minimo assunto è pari a 4 cm.

L'apertura a fessure minima di 0.10 mm per le superfici esterne è portata a 0.15 mm essendo il copriferro dell'armatura trasversale (interna a quella longitudinale) pari a circa 6 cm ($c/c_{min} \leq 1.5$, con $c_{min} = 4 \text{ cm}$).

4. GEOMETRIA

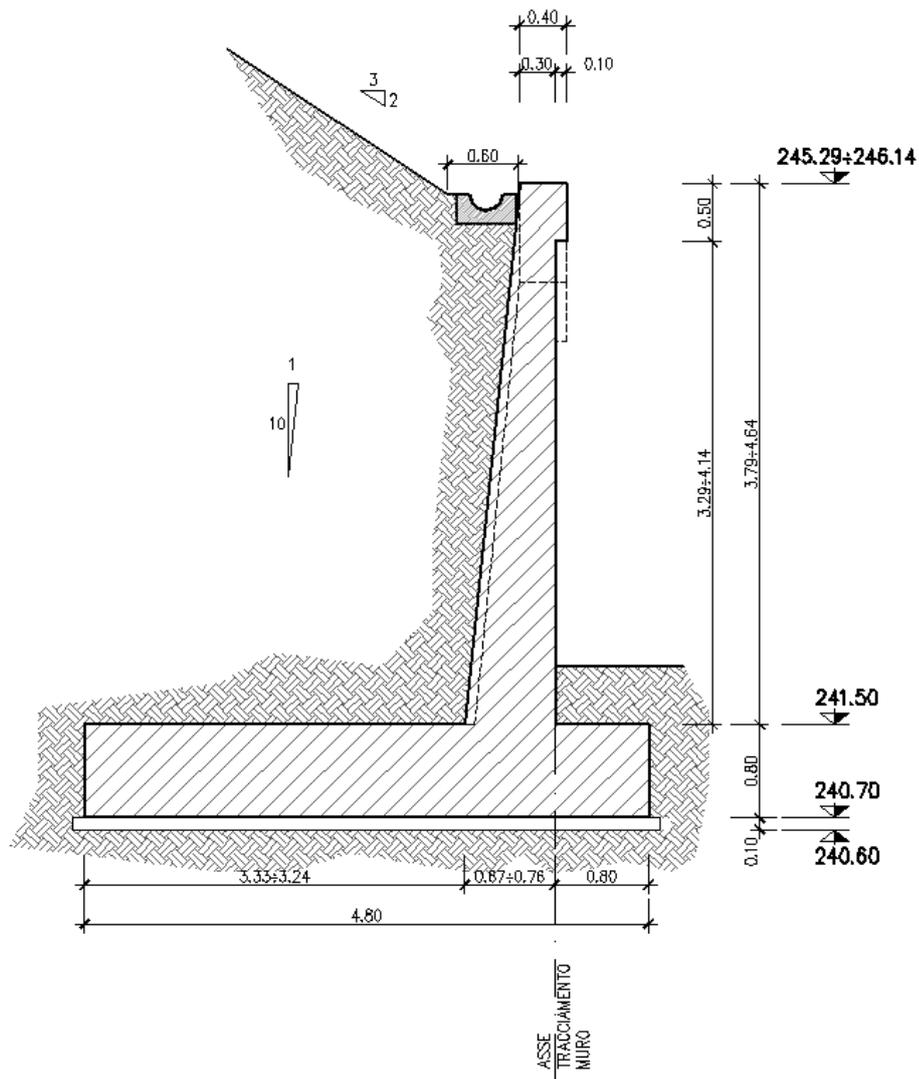
Il Concio 1 si estende per uno sviluppo di 6.20 m, con un'altezza variabile da un massimo di 3.80 m a un minimo di 1.10 m.

Si eseguono le verifiche per un'altezza di 3.80 m



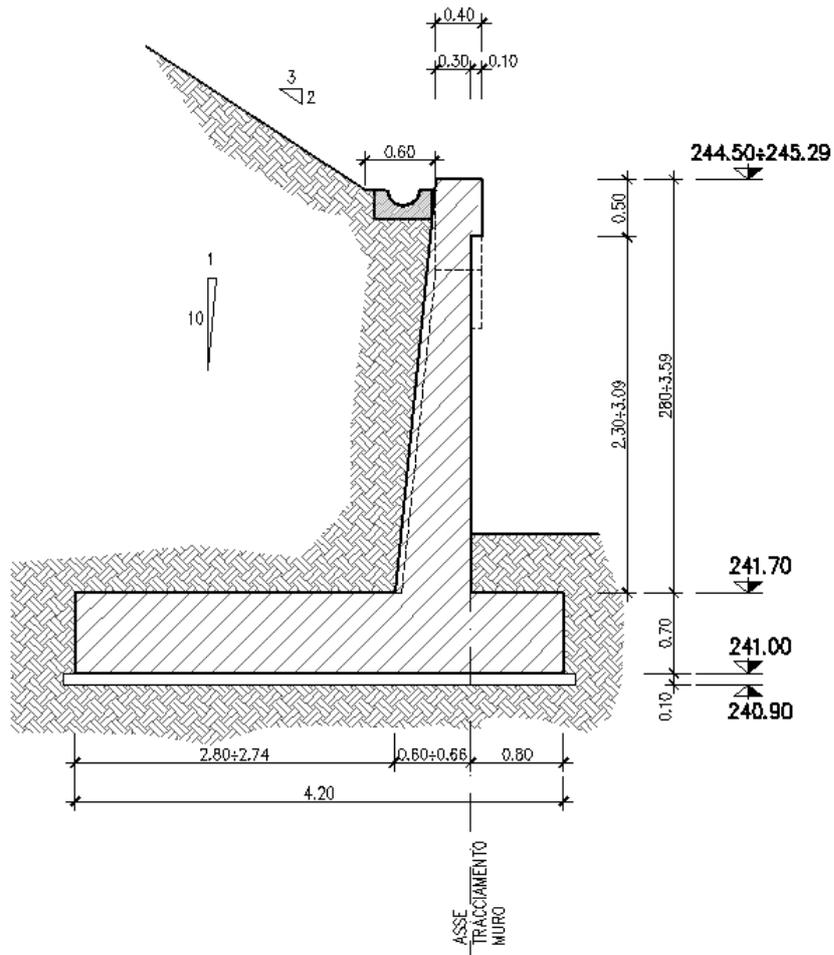
Il Concio 2 si estende per uno sviluppo di 10.80 m, con un'altezza variabile da un massimo di 4.64 m a un minimo di 3.79 m.

Si eseguono le verifiche per un'altezza di 4.50 m



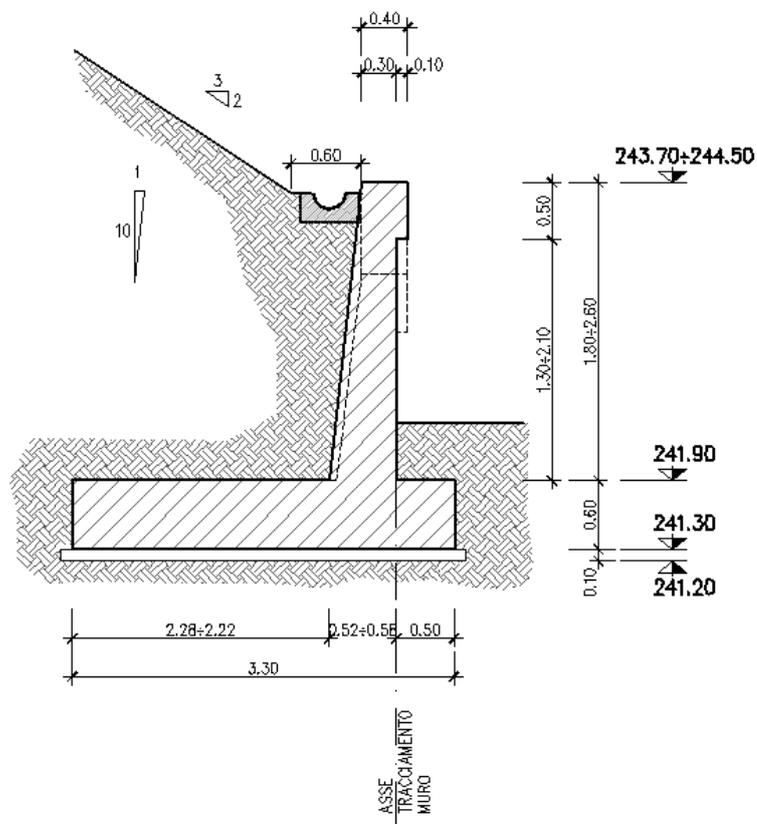
Il Concio 3 si estende per uno sviluppo di 10 m, con un'altezza variabile da un massimo di 3.59 m a un minimo di 2.80 m.

Si eseguono le verifiche per un'altezza di 3.50 m.

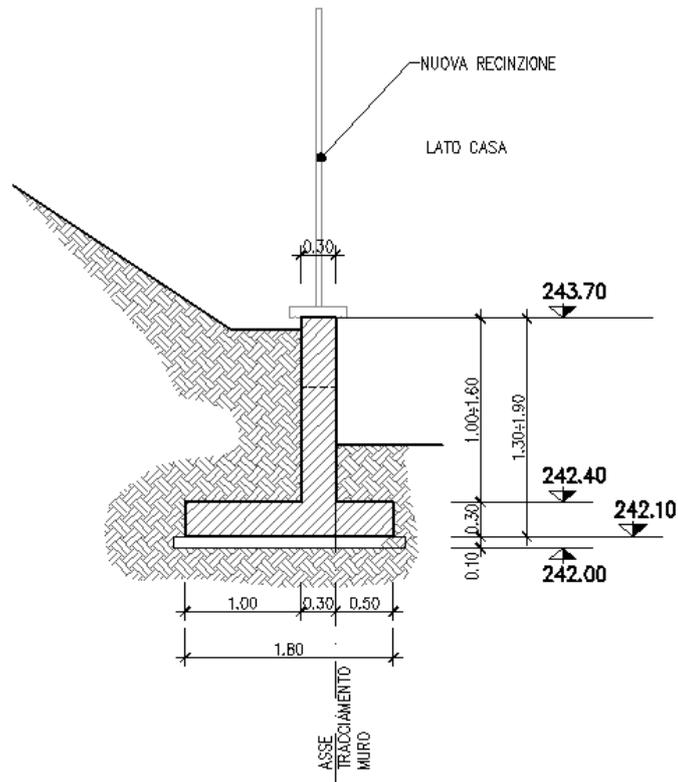


Il Concio 4 si estende per uno sviluppo di 10 m, con un'altezza variabile da un massimo di 2.60 m a un minimo di 1.80 m.

Si eseguono le verifiche per un'altezza di 2.50 m.



Il Muro di recinzione si estende per uno sviluppo di 9.80 m, con un'altezza variabile da un massimo di 1.90 m a un minimo di 1.00 m.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno
	Foglio 13 di 72

5. ANALISI DEI CARICHI

Peso proprio $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$

Carichi permanenti

Si considerano le spinte delle terre del rilevato stradale valutate con i parametri geotecnici

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

$c' = 0 \text{ kPa}$

$\phi = 35^\circ$

Sisma

Si considera un'azione sismica di terza categoria, con $K_n = 0.04$.

Carichi variabili sul rilevato

sovraccarico in esercizio $q = 20.00 \text{ kN/m}^2$

sovraccarico di manutenzione sulla scarpata $q = 1.00 \text{ kN/m}^2$

sovraccarico di manutenzione sulla banca $q = 5.00 \text{ kN/m}^2$

sovraccarico sismico $q = 0.00 \text{ kN/m}^2$

6. CALCOLO E VERIFICA DEL MURO

Per il calcolo si utilizza il programma MAX 10.0 "Analisi e calcolo dei muri di sostegno" della Aztec Informatica.

Il programma calcola le sollecitazioni nel muro e nella fondazione, gli sforzi sul terreno, verifica lo scorrimento e il ribaltamento nonché la stabilità globale dell'opera.

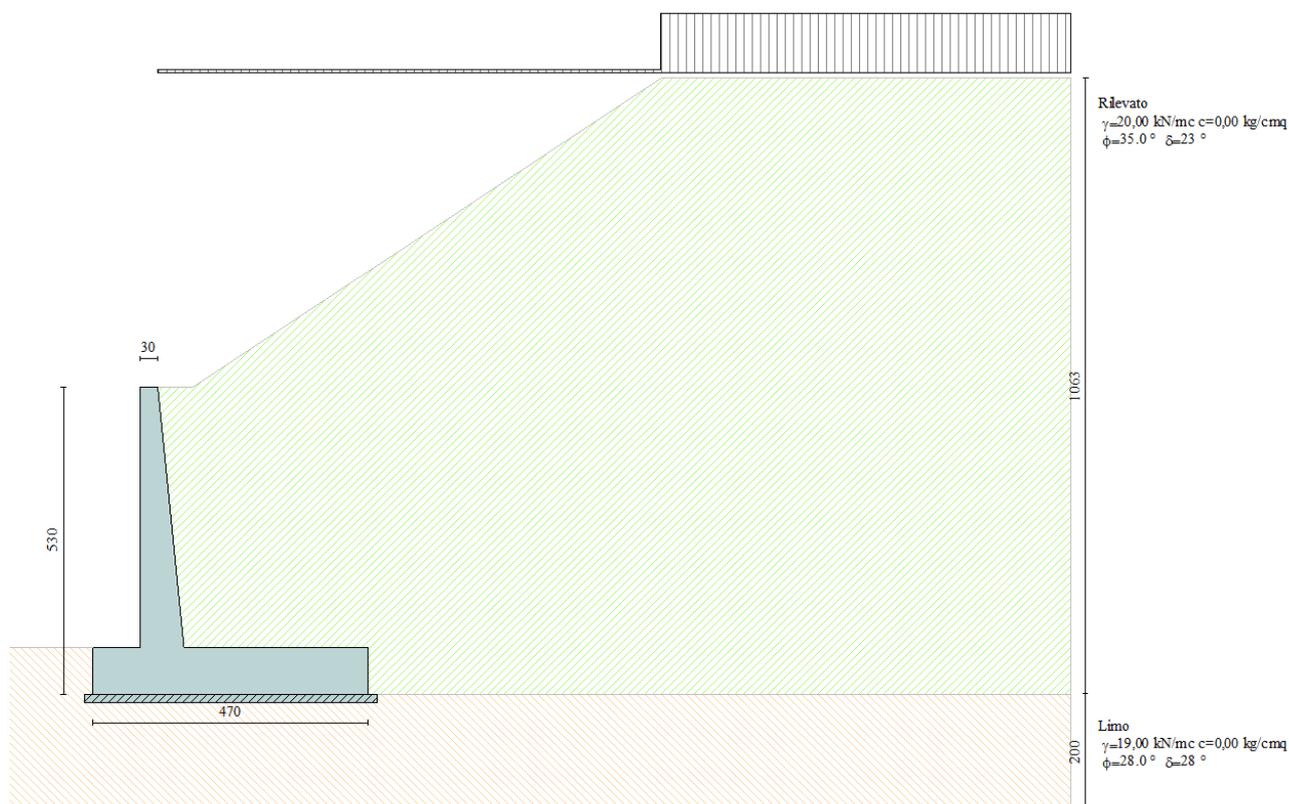
Il programma Max 10.0, una volta inserita la geometria del muro, i parametri del terreno, i carichi esterni e il coefficiente di intensità sismica svolge autonomamente il calcolo del muro per le varie verifiche di resistenza e stabilità.

Si prendono in esame due condizioni di carico

1. **condizione di esercizio** : permanenti + variabili
2. **condizione sismica** : permanenti + sisma

Di seguito si riporteranno i risultati delle sole condizioni di esercizio e sismica. Lo schema di calcolo, i dati relativi sia al muro che al terreno nonché i risultati ottenuti in termini di sollecitazioni sono riportati nelle seguenti figure e tabelle.

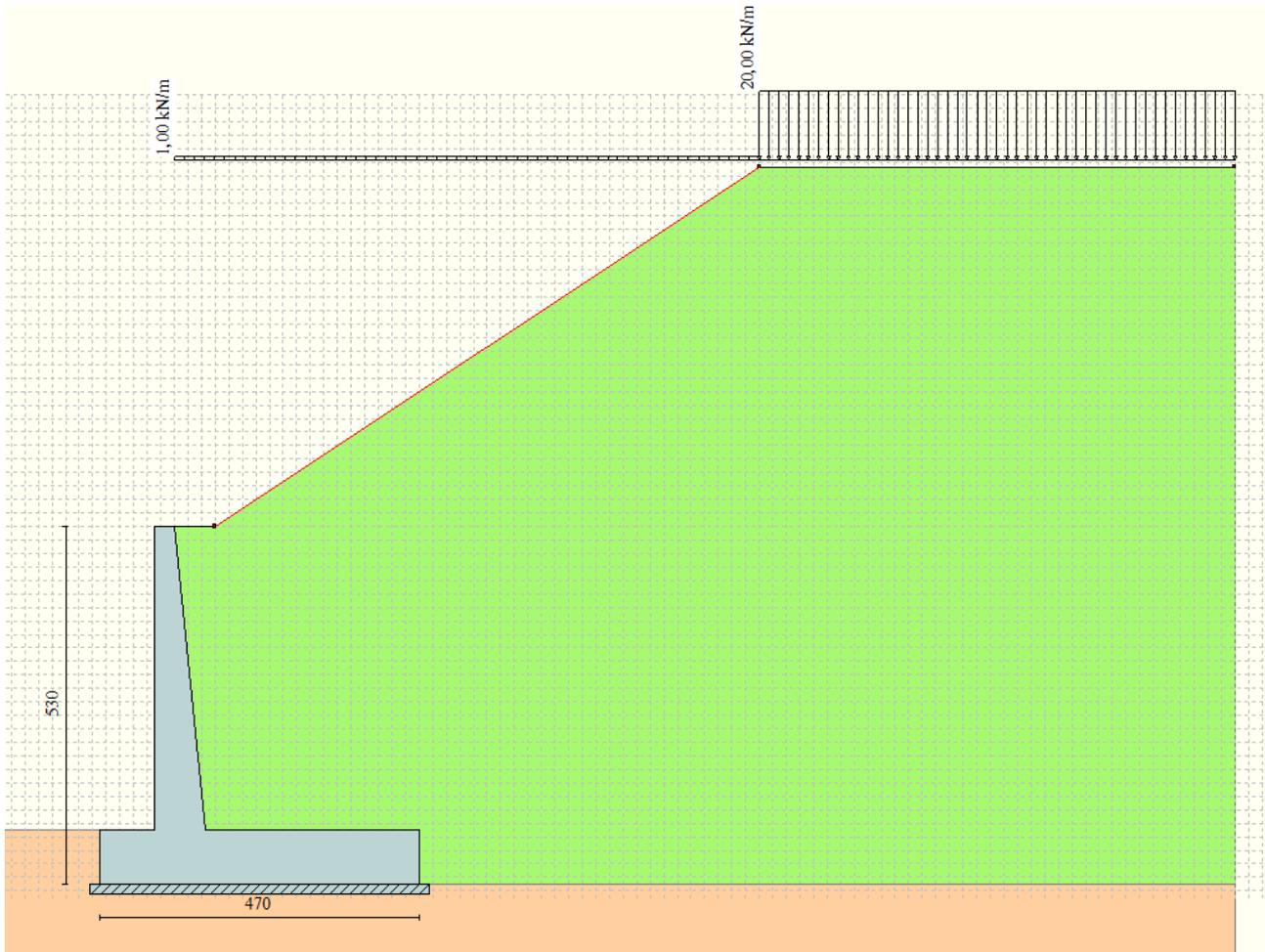
6.1. Stratigrafia



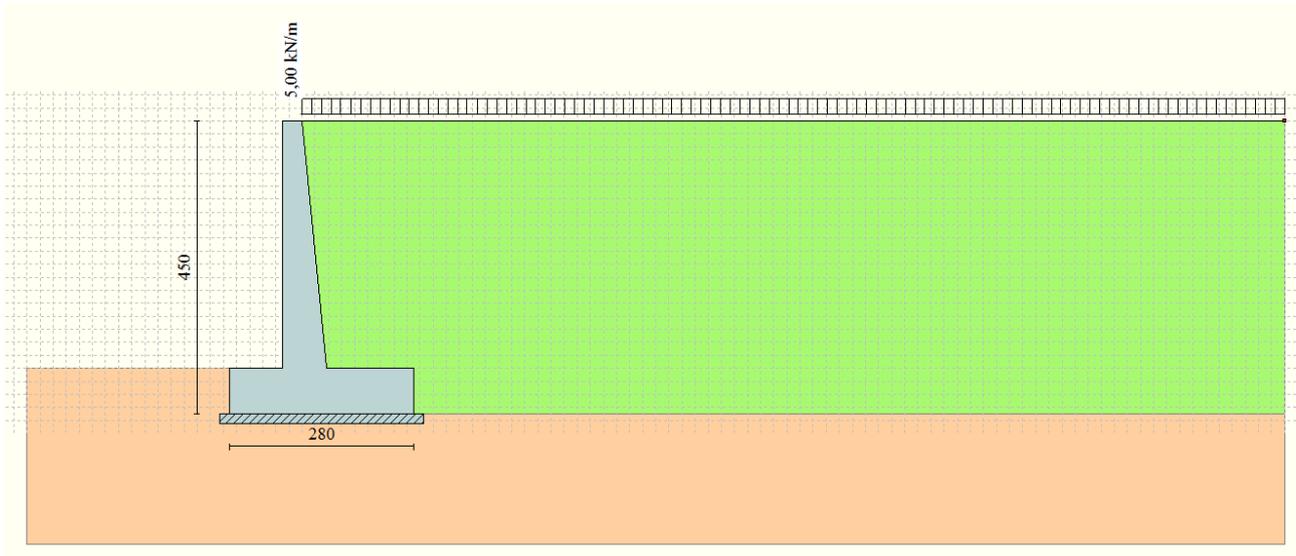
6.2. Carichi applicati

Carico variabile

Conci 2-3-4



Concio 1



6.3. Concio 1

6.3.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità

Combinazione statica

Risultati combinazione n° 1

Tensioni ammissibili			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
	CALCOLATI		RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	5,38		1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2,52		1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	6,89		2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,70		1,30

Help

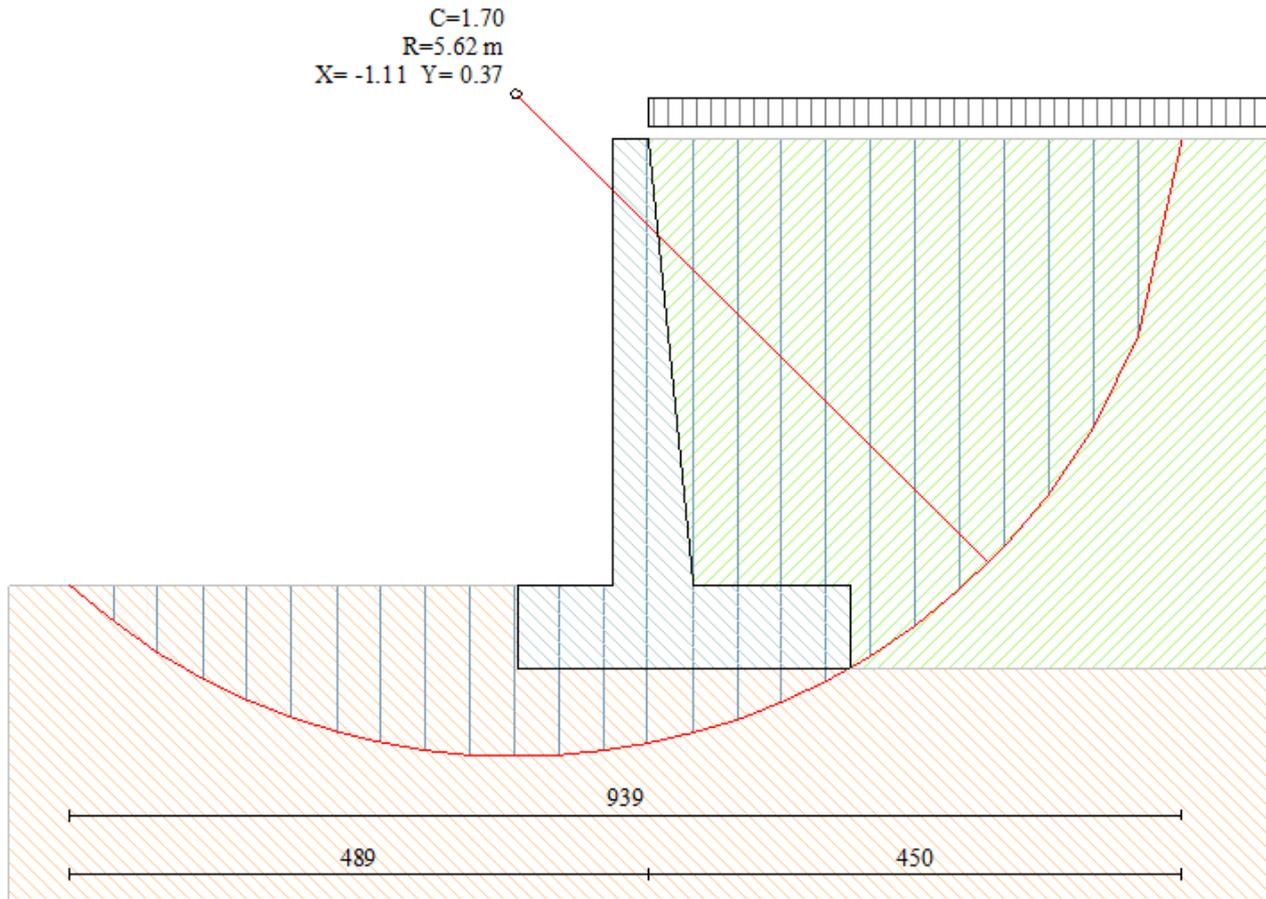
Combinazione sismica

Risultati combinazione n° 2

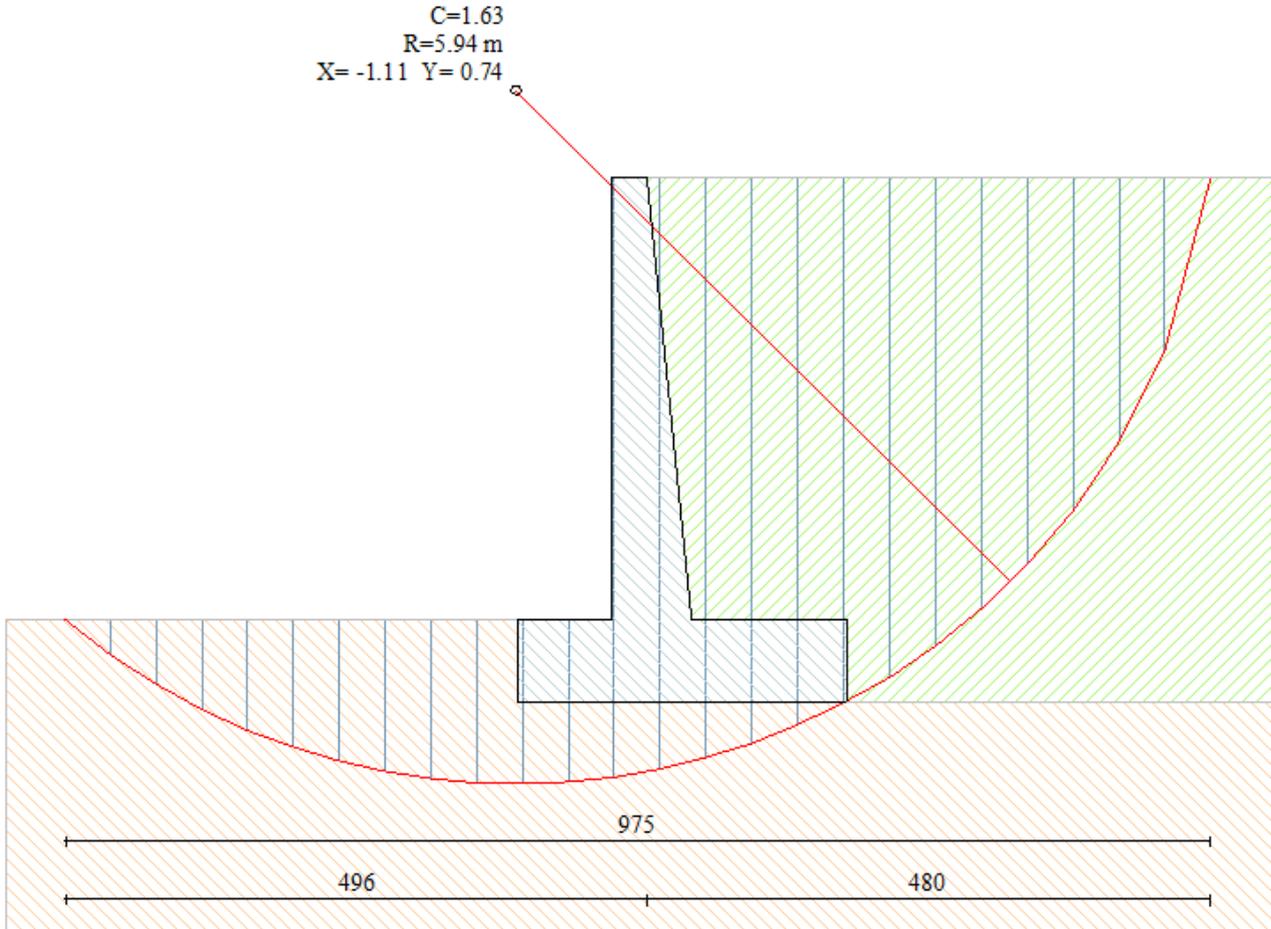
Tensioni ammissibili - Sismica			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
	CALCOLATI		RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4,17		1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2,11		1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	7,24		2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,63		1,30

Help

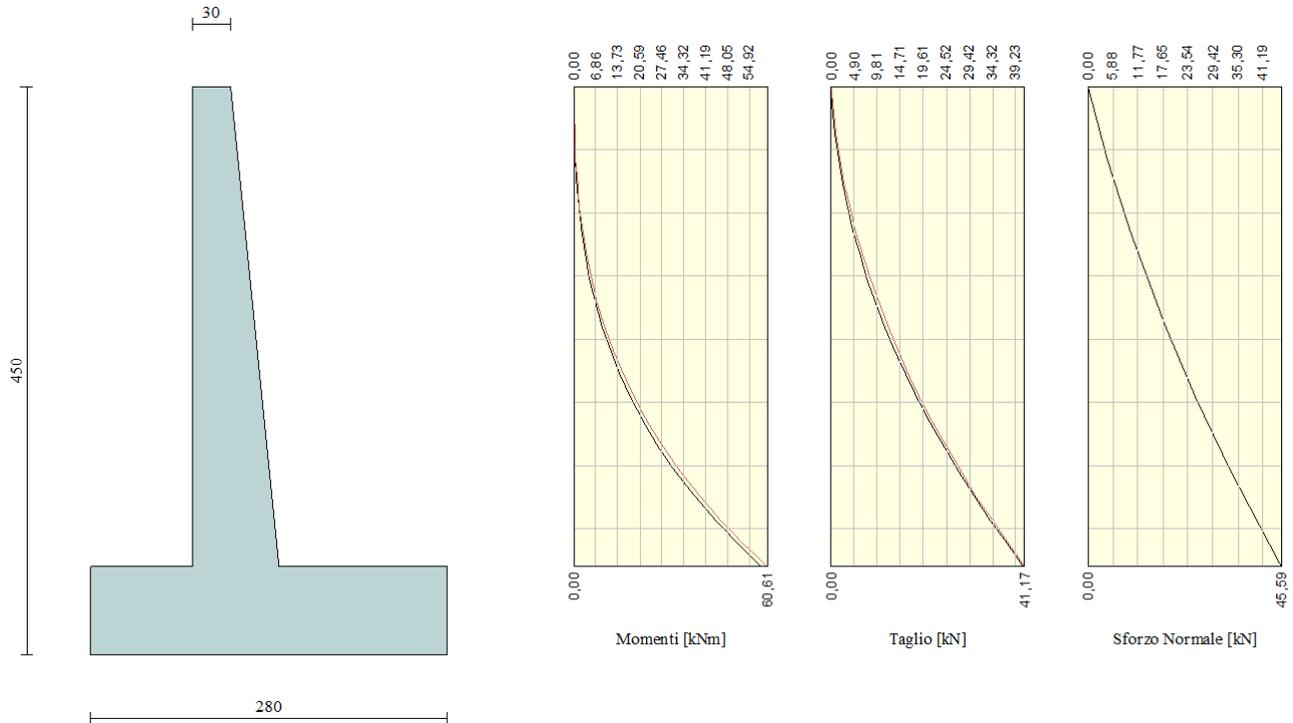
Combinazione 1 – statica



Combinazione 2 – sismica



6.3.2. Verifiche strutturali



Elevazione

$M = 60.61 \text{ kNm/m}$

$N = 45.59 \text{ kN/m}$

$T = 41.17 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 68 cm

Armatura tesa: $\phi 18/20$

Armatura compressa: $\phi 16/20$

Copriferro: 6 cm

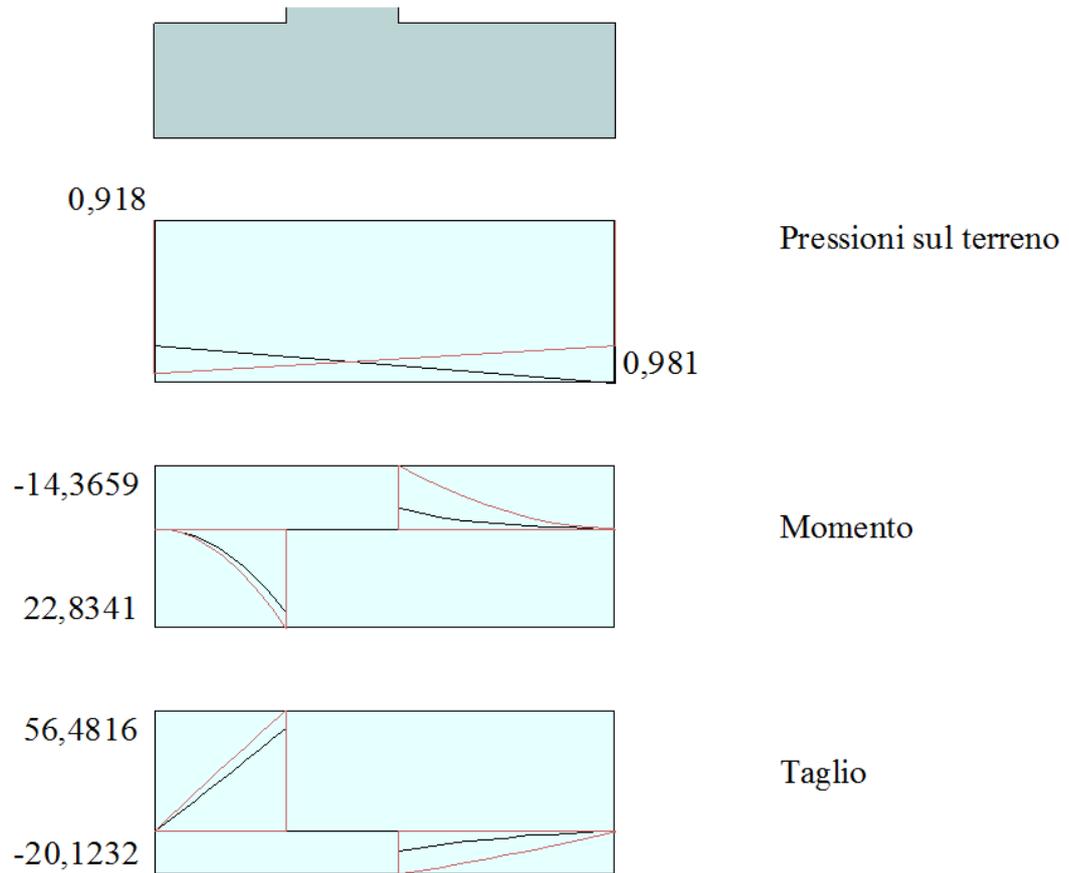
NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 21 di 72

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	15,40	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	J =	511805	cm ⁴	
eccentricità	e =	132,95	cm	
tensione cls	$\sigma_c =$	1,57	Mpa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-68,3	Mpa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		Mpa	
Verifica a fessurazione				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	15,40	cm	
eccentricità	e =	132,95	cm	
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	1,57	Mpa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	68,3	Mpa	
momento di fessurazione	M _{cr} =	293,58	kNm	
azione assiale per apertura fessure	N _{cr} =	220,83	kN	
tensione cls prima fessurazione	$\sigma_{cr} =$	7,60	Mpa	
tensione acciaio prima fessurazione	$\sigma_{sr} =$	330,8	Mpa	
		M _{cr} > M		
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,07	Mpa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

Fondazione



$M = 22.83 \text{ kNm/m}$

$T = 56.48 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 80 cm

Armatura tesa: $\phi 18/20$

Armatura compressa: $\phi 18/20$

Copriferro: 4 cm

NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	$x =$	12,97	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	$J =$	581207	cm ⁴	
tensione cls	$\sigma_c =$	0,51	MPa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-30,1	MPa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		MPa	
Verifica a fessurazione				
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	0,51	MPa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	30,1	MPa	
momento di prima fessurazione	$M_{fck} =$	200,34	kNm	
momento di apertura fessure	$M_{fctm} =$	238,50	kNm	
tensione acciaio per M_{fctm}	$\sigma_{sr} =$	314,7	MPa	
		$M_{cr} > M$	mm	
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,10	MPa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

6.1. Concio 2

6.1.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità

Combinazione statica

Risultati combinazione n° 1				
Tensioni ammissibili				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3,35			1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,55			1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	6,26			2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,41			1,30

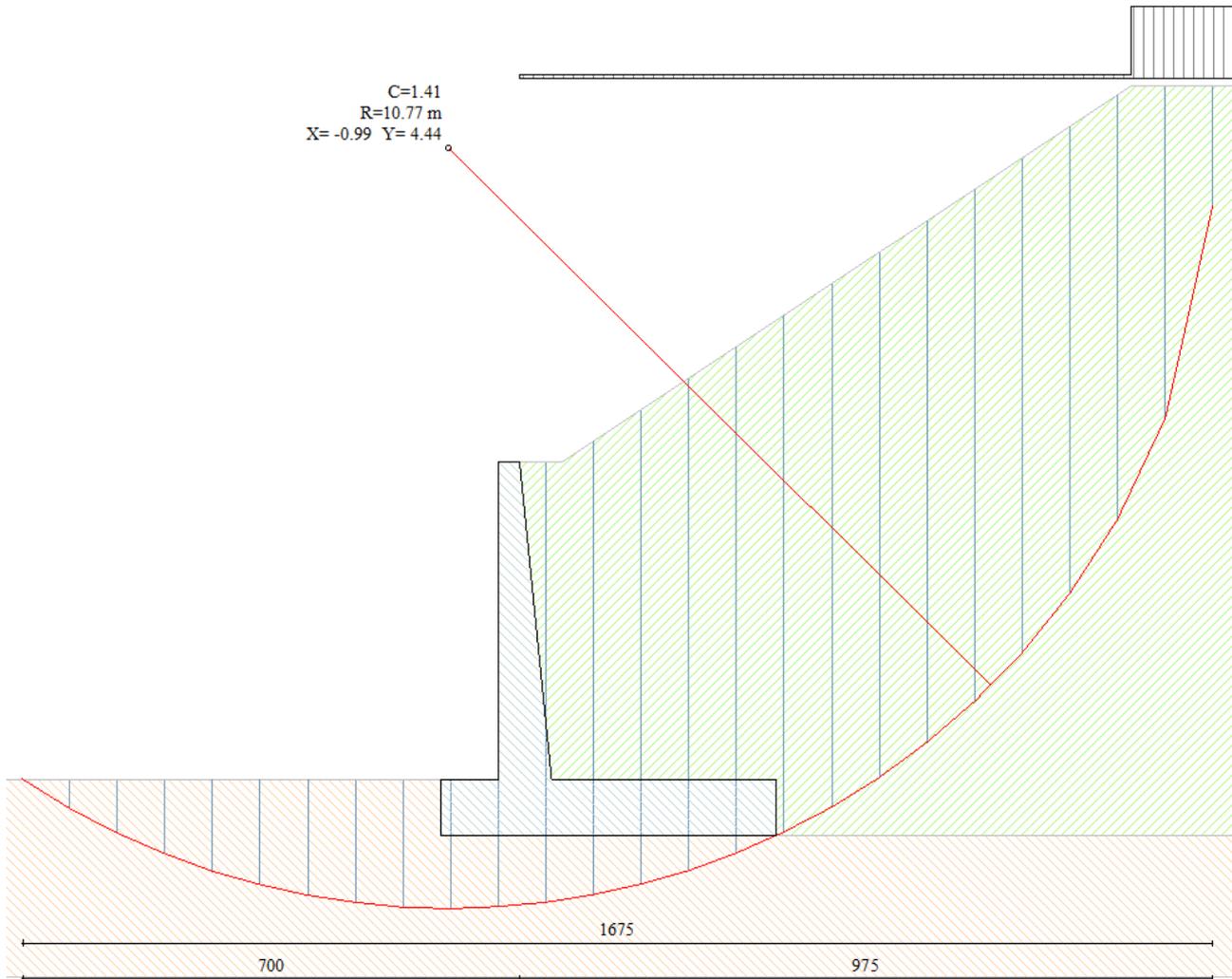
Help

Combinazione sismica

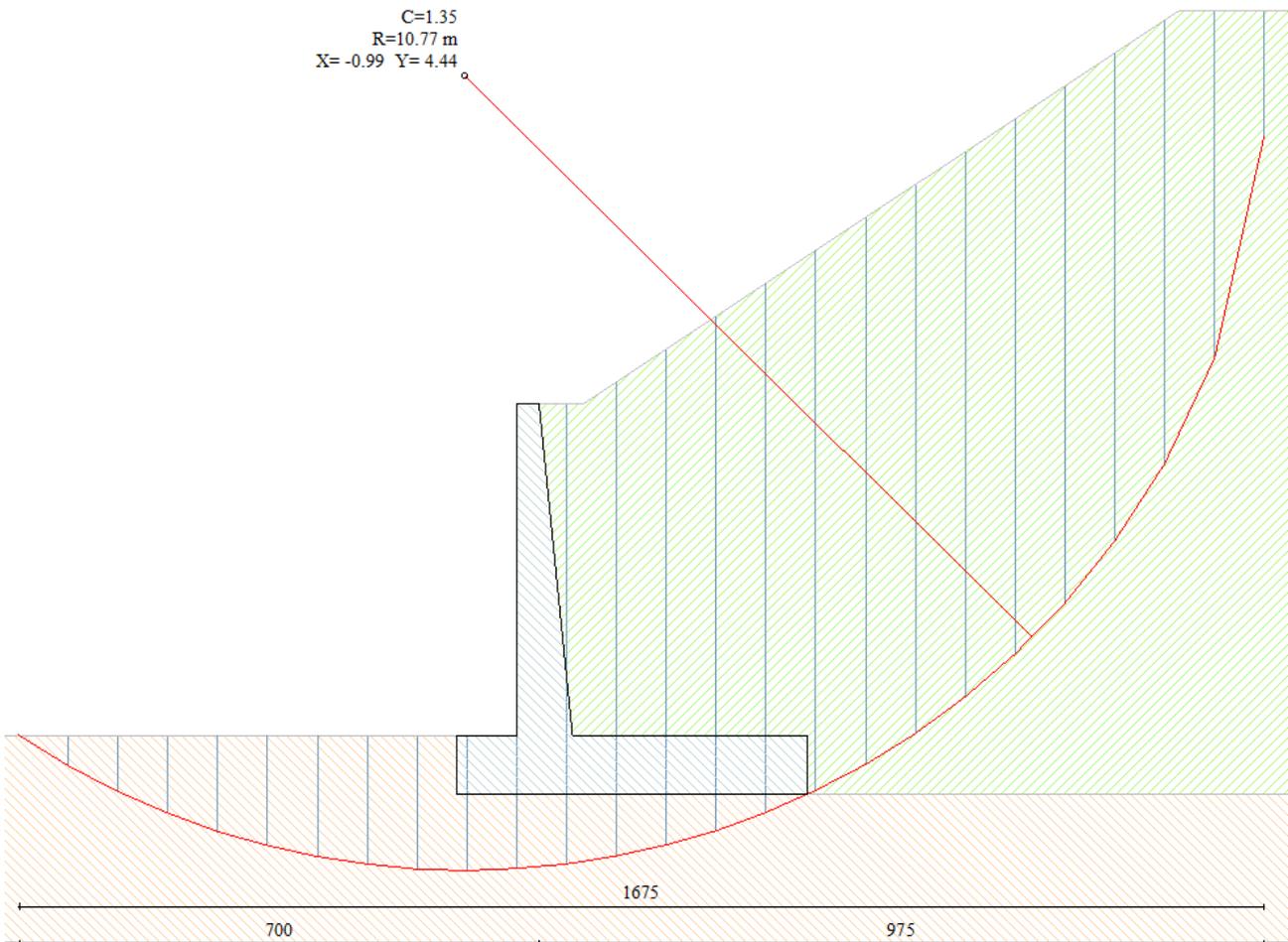
Risultati combinazione n° 2				
Tensioni ammissibili - Sismica				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2,76			1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,38			1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	5,71			2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,35			1,30

Help

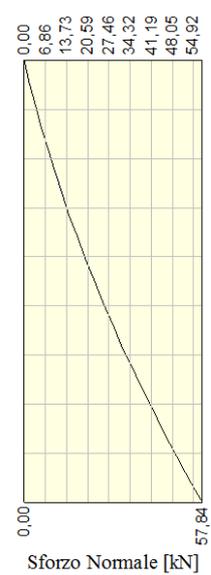
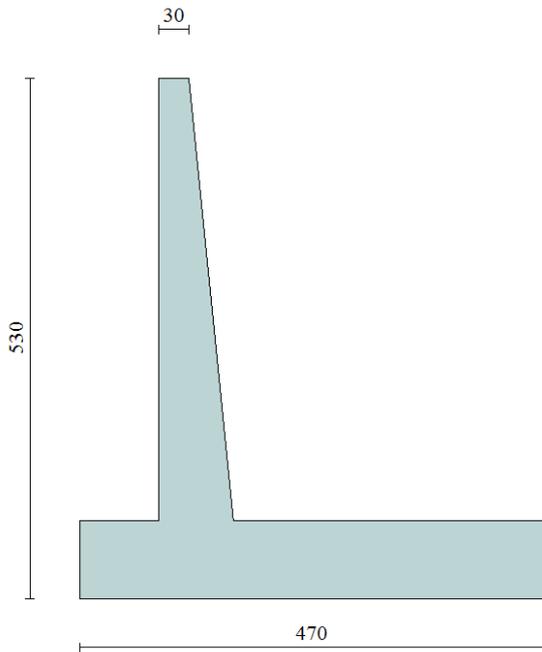
Combinazione 1 – statica



Combinazione 2 – sismica



6.1.2. Verifiche strutturali



Elevazione

$M = 229.62 \text{ kNm/m}$

$N = 57.64 \text{ kN/m}$

$T = 117.77 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 75 cm

Armatura tesa: $\phi 20/20$

Armatura compressa: $\phi 16/20$

Copriferro: 6 cm

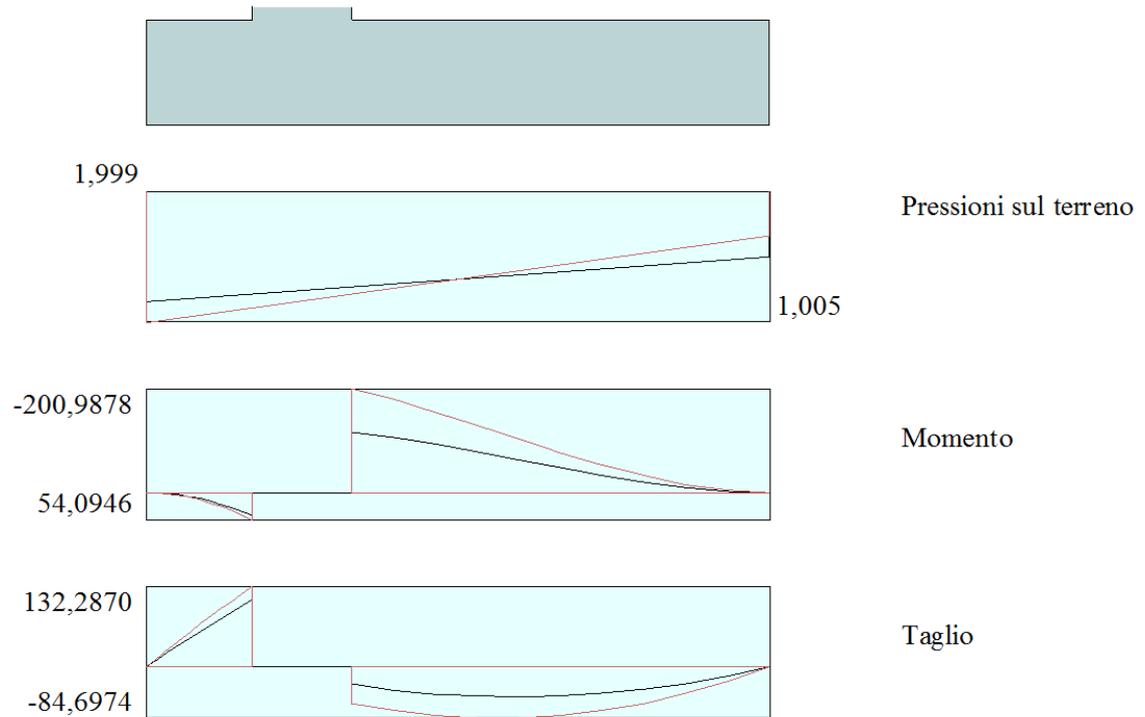
NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 28 di 72

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	16,00	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	J =	759525	cm ⁴	
eccentricità	e =	397,01	cm	
tensione cls	$\sigma_c =$	4,58	Mpa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-218,8	Mpa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		Mpa	
Verifica a fessurazione				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	16,00	cm	
eccentricità	e =	397,01	cm	
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	4,58	Mpa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	218,8	Mpa	
momento di fessurazione	M _{cr} =	339,74	kNm	
azione assiale per apertura fessure	N _{cr} =	85,58	kN	
tensione cls prima fessurazione	$\sigma_{cr} =$	6,77	Mpa	
tensione acciaio prima fessurazione	$\sigma_{sr} =$	323,7	Mpa	
		M _{cr} > M		
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,19	Mpa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

Fondazione



$M = 200.99 \text{ kNm/m}$

$T = 132.29 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 80 cm

Armatura tesa: $\phi 20/20$

Armatura compressa: $\phi 20/20$

Copriferro: 4 cm

NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 30 di 72

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	$x =$	15,27	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	$J =$	951634	cm ⁴	
tensione cls	$\sigma_c =$	3,22	MPa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-186,1	MPa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		MPa	
Verifica a fessurazione				
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	3,22	MPa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	186,1	MPa	
momento di prima fessurazione	$M_{fck} =$	265,20	kNm	
momento di apertura fessure	$M_{fctm} =$	315,71	kNm	
tensione acciaio per M_{fctm}	$\sigma_{sr} =$	292,3	MPa	
		$M_{cr} > M$	mm	
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,20	MPa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

6.2. Concio 3

6.2.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità

Combinazione statica

Risultati combinazione n° 1				
Tensioni ammissibili				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3,73			1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,53			1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	7,41			2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,47			1,30

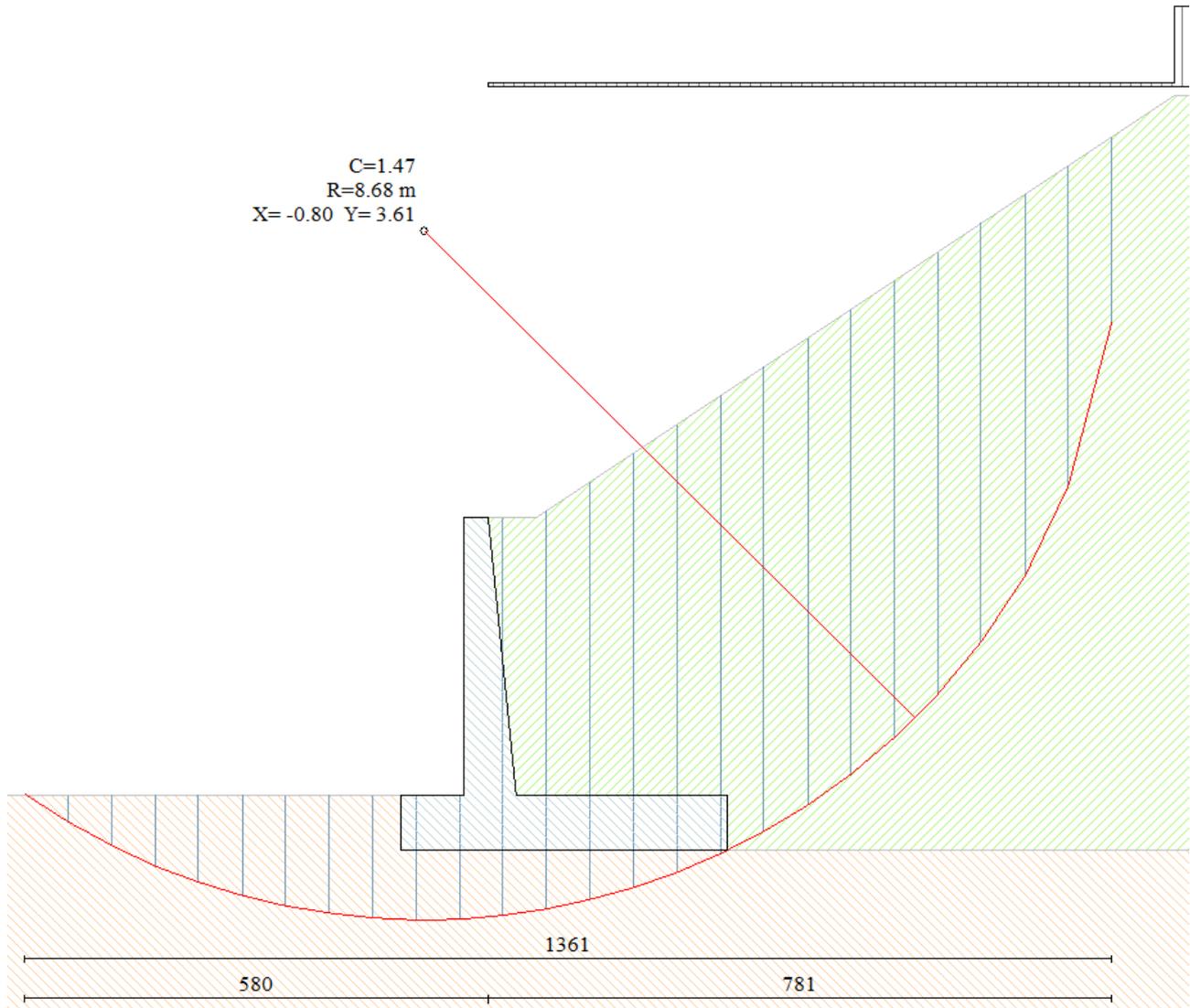
Help

Combinazione sismica

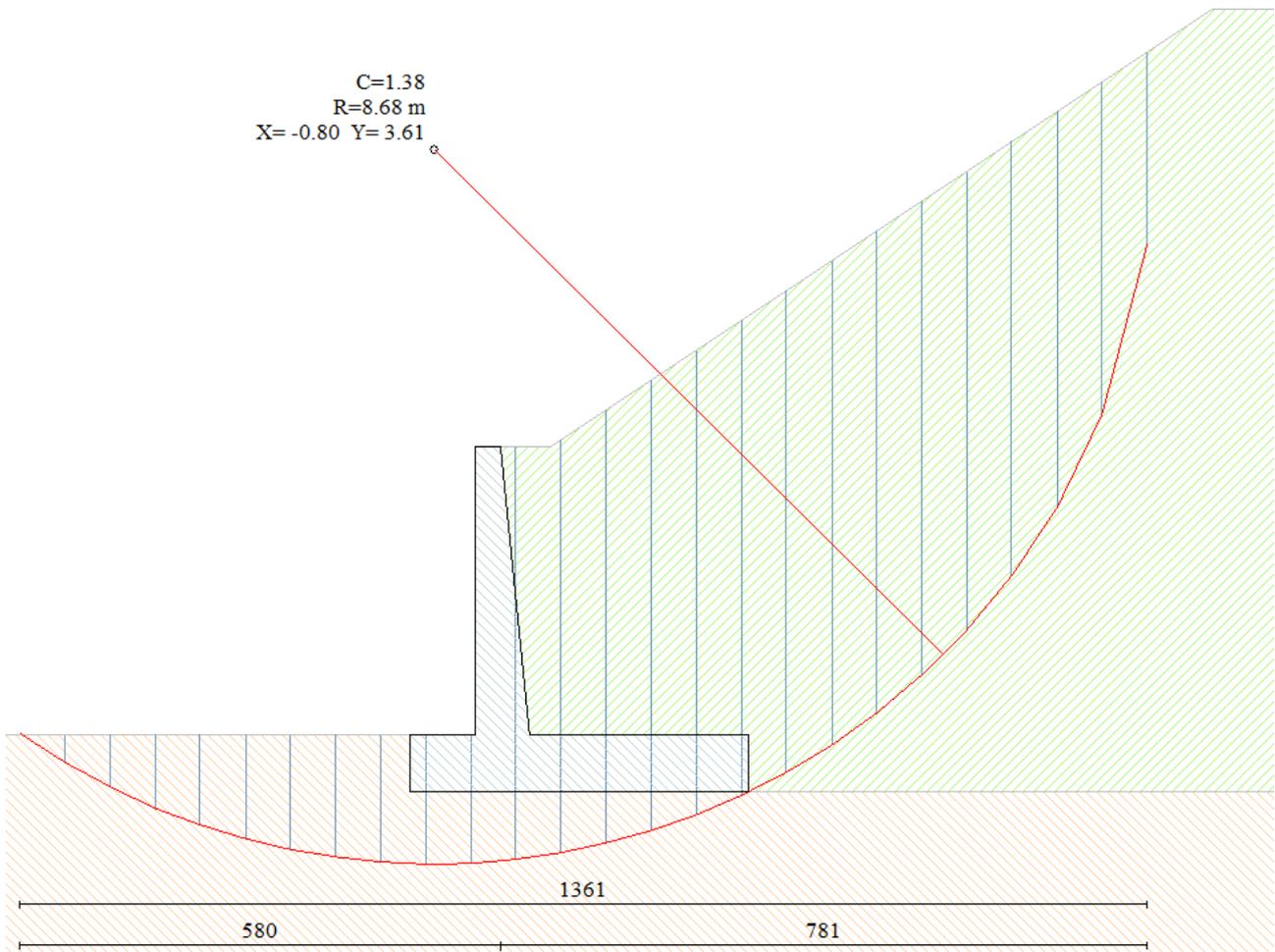
Risultati combinazione n° 2				
Tensioni ammissibili - Sismica				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3,00			1,50
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,35			1,30
Coefficiente di sicurezza a carico limite	6,77			2,00
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,38			1,30

Help

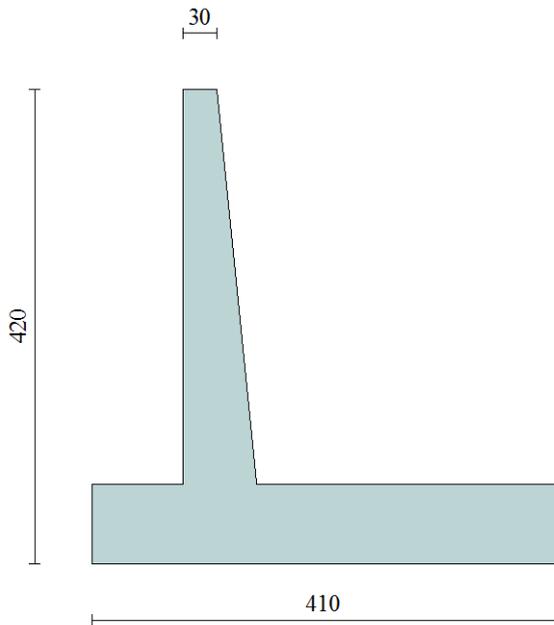
Combinazione 1 – statica



Combinazione 2 – sismica



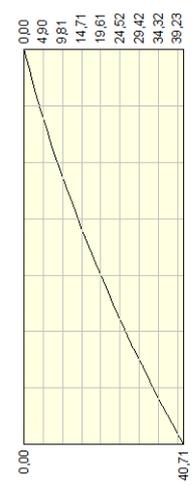
6.2.2. Verifiche strutturali



Momenti [kNm]



Taglio [kN]



Sforzo Normale [kN]

Elevazione

$M = 124.71 \text{ kNm/m}$

$N = 40.71 \text{ kN/m}$

$T = 74.73 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 65 cm

Armatura tesa: $\phi 16/20$

Armatura compressa: $\phi 16/20$

Copriferro: 6 cm

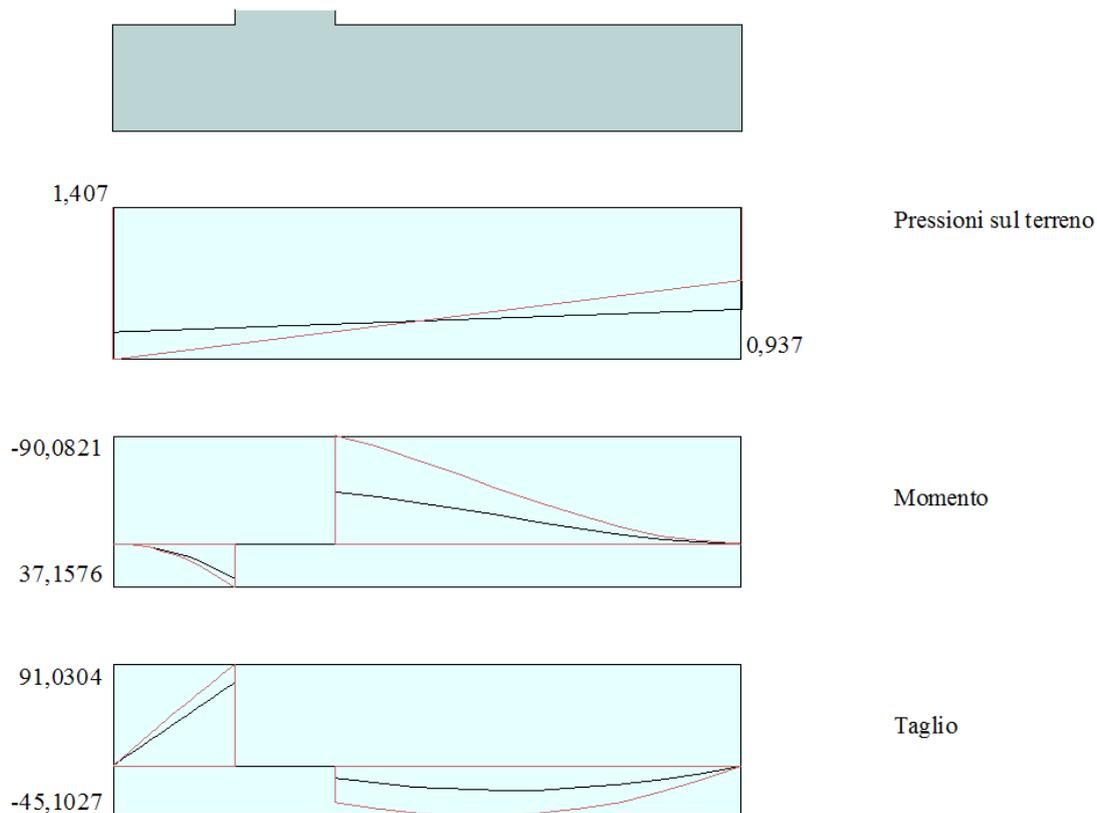
NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 35 di 72

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	12,18	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	J =	368758	cm ⁴	
eccentricità	e =	306,34	cm	
tensione cls	σ_c =	3,85	Mpa	
tensione acciaio layer 1	σ_{s1} =	-213,2	Mpa	
tensione acciaio layer 2	σ_{s2} =		Mpa	
Verifica a fessurazione				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	12,18	cm	
eccentricità	e =	306,34	cm	
tensione cls per fessurazione	σ_c =	3,85	Mpa	
tensione acciaio per fessurazione	σ_{s1} =	213,2	Mpa	
momento di fessurazione	M _{cr} =	250,64	kNm	
azione assiale per apertura fessure	N _{cr} =	81,82	kN	
tensione cls prima fessurazione	σ_{cr} =	7,73	Mpa	
tensione acciaio prima fessurazione	σ_{sr} =	428,6	Mpa	
		M _{cr} > M		
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	τ_{max} =	0,14	Mpa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

Fondazione



$M = 90.08 \text{ kNm/m}$

$T = 91.03 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 70 cm

Armatura tesa: $\phi 18/20$

Armatura compressa: $\phi 18/20$

Copriferro: 4 cm

NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	$x =$	12,97	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	$J =$	581207	cm ⁴	
tensione cls	$\sigma_c =$	2,01	MPa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-118,9	MPa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		MPa	
Verifica a fessurazione				
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	2,01	MPa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	118,9	MPa	
momento di prima fessurazione	$M_{fck} =$	200,34	kNm	
momento di apertura fessure	$M_{fctm} =$	238,50	kNm	
tensione acciaio per M_{fctm}	$\sigma_{sr} =$	314,7	MPa	
		$M_{cr} > M$	mm	
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,16	MPa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

6.3. Concio 4

6.3.1. Risultati dell'analisi e verifiche di stabilità

Combinazione statica

Risultati combinazione n° 1

Tensioni ammissibili				
Coefficienti sicurezza	Spinta Forze Risultanti			
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4,05		1,50	
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,57		1,30	
Coefficiente di sicurezza a carico limite	7,87		2,00	
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,55		1,30	

Help

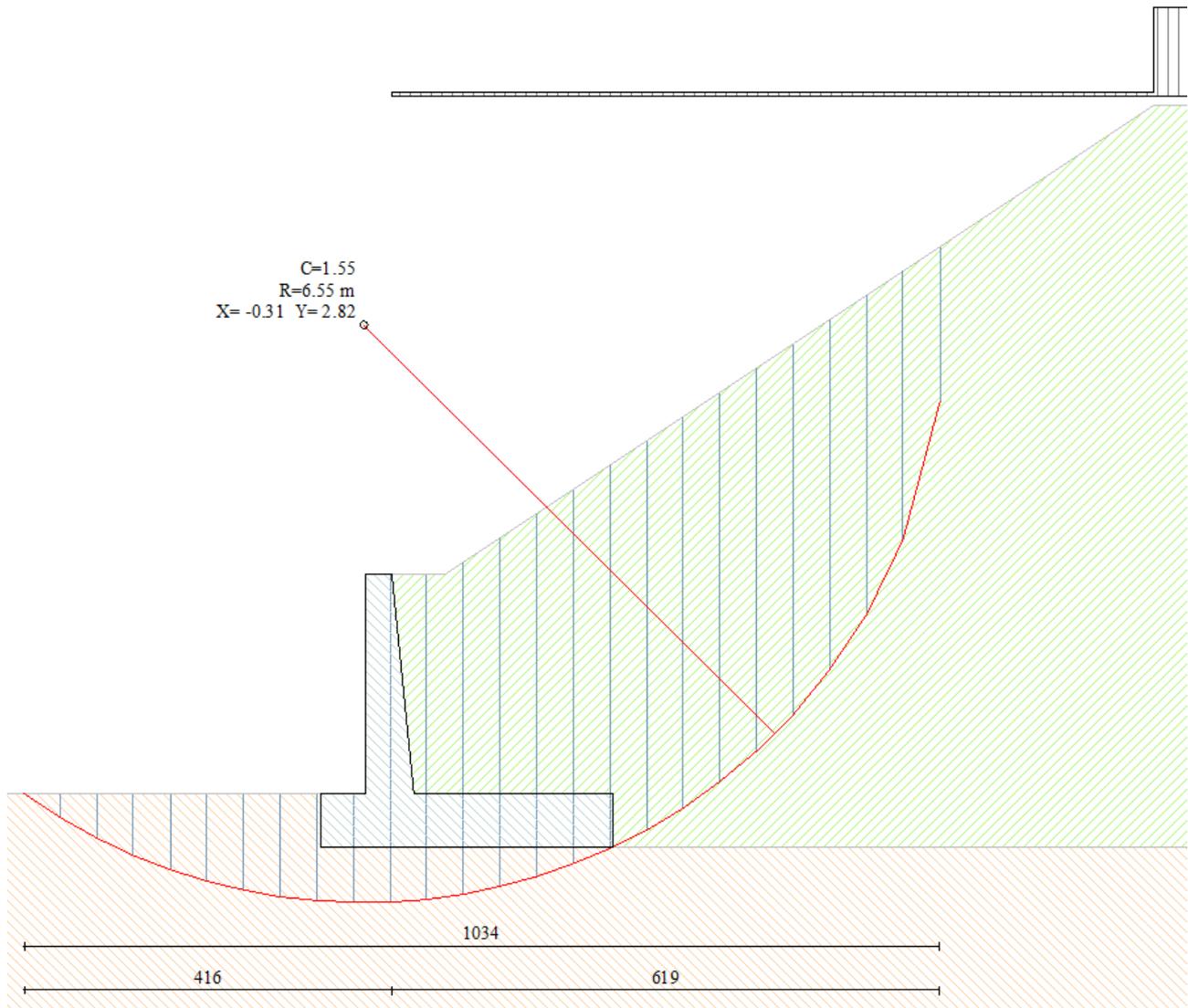
Combinazione sismica

Risultati combinazione n° 2

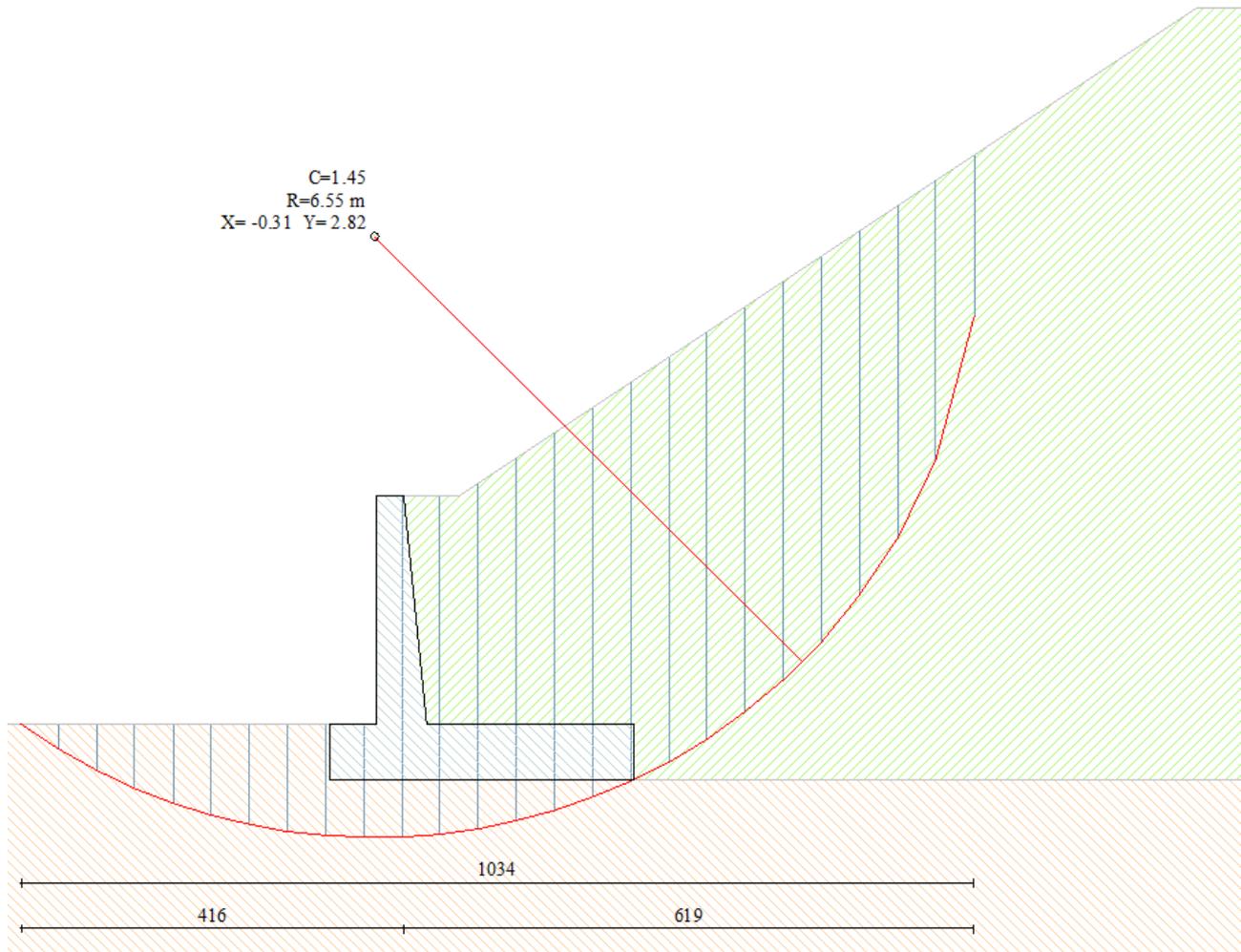
Tensioni ammissibili - Sismica				
Coefficienti sicurezza	Spinta Forze Risultanti			
	CALCOLATI			RICHIESTI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3,13		1,50	
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,34		1,30	
Coefficiente di sicurezza a carico limite	7,15		2,00	
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1,45		1,30	

Help

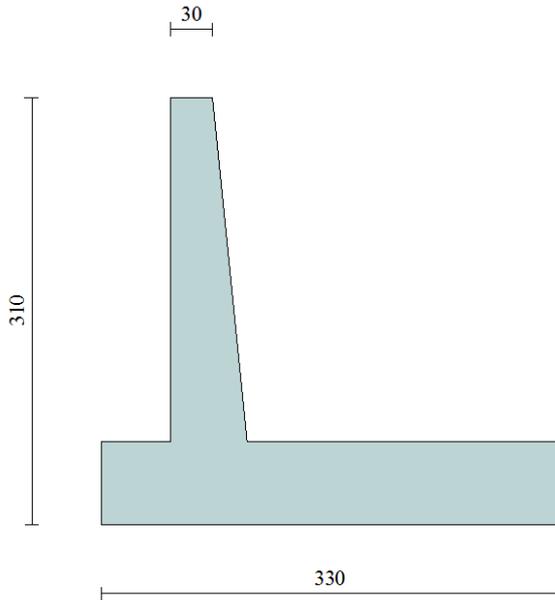
Combinazione 1 – statica



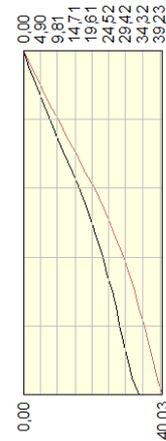
Combinazione 2 – sismica



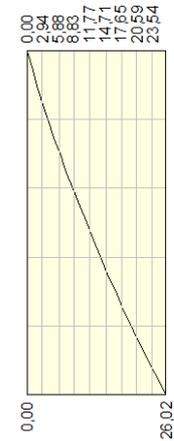
6.3.2. Verifiche strutturali



Momenti [kNm]



Taglio [kN]



Sforzo Normale [kN]

Elevazione

$M = 58.30 \text{ kNm/m}$

$N = 26.02 \text{ kN/m}$

$T = 40.03 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 55 cm

Armatura tesa: $\phi 16/20$

Armatura compressa: $\phi 16/20$

Copriferro: 6 cm

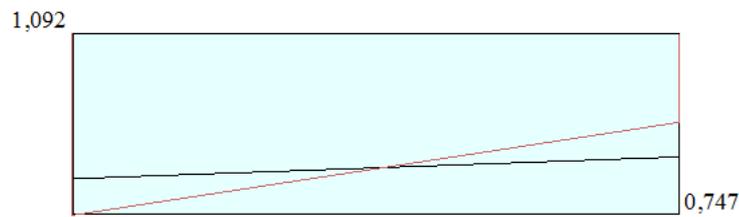
NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 42 di 72

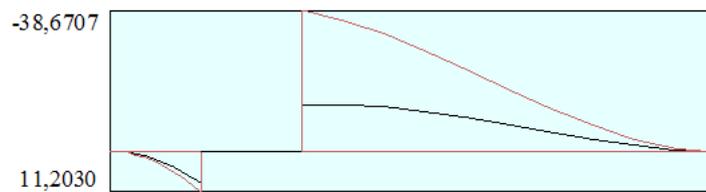
Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	11,07	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	J =	243680	cm ⁴	
eccentricità	e =	224,06	cm	
tensione cls	$\sigma_c =$	2,45	Mpa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-120,1	Mpa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		Mpa	
Verifica a fessurazione				
Asse neutro (da lembo compresso)	x =	11,07	cm	
eccentricità	e =	224,06	cm	
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	2,45	Mpa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	120,1	Mpa	
momento di fessurazione	M _{cr} =	149,80	kNm	
azione assiale per apertura fessure	N _{cr} =	66,86	kN	
tensione cls prima fessurazione	$\sigma_{cr} =$	6,31	Mpa	
tensione acciaio prima fessurazione	$\sigma_{sr} =$	308,7	Mpa	
		M _{cr} > M		
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,09	Mpa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

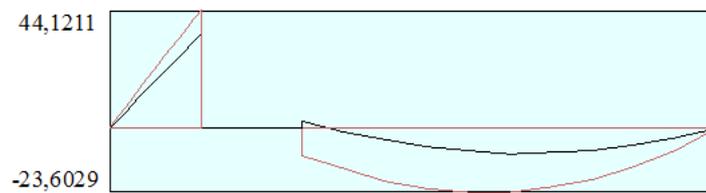
Fondazione



Pressioni sul terreno



Momento



Taglio

 $M = 38.67 \text{ kNm/m}$
 $T = 44.12 \text{ kN/m}$

Altezza sezione: 60 cm

 Armatura tesa: $\phi 16/20$

 Armatura compressa: $\phi 16/20$

Copriferro: 4 cm

NB: la quantità d'armatura è conforme al minimo di regolamento

Verifiche di resistenza				
Asse neutro (da lembo compresso)	$x =$	10,77	cm	
Momento di inerzia sezione parzializzata	$J =$	329793	cm ⁴	
tensione cls	$\sigma_c =$	1,26	MPa	
tensione acciaio layer 1	$\sigma_{s1} =$	-76,4	MPa	
tensione acciaio layer 2	$\sigma_{s2} =$		MPa	
Verifica a fessurazione				
tensione cls per fessurazione	$\sigma_c =$	1,26	MPa	
tensione acciaio per fessurazione	$\sigma_{s1} =$	76,4	MPa	
momento di prima fessurazione	$M_{fck} =$	145,16	kNm	
momento di apertura fessure	$M_{fctm} =$	172,81	kNm	
tensione acciaio per M_{fctm}	$\sigma_{sr} =$	341,3	MPa	
		$M_{cr} > M$	mm	
Verifica a taglio				
massimo sforzo di taglio	$\tau_{max} =$	0,09	MPa	

La sezione non si fessura nemmeno sotto i massimi carichi di esercizio, pertanto anche la verifica a fessurazione è automaticamente soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 45 di 72

7. ALLEGATI

7.1. Parti comuni a tutte le analisi

Progetto: Muro di sostegno
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
Impresa:

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
- Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
- Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
- Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- 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)
 - Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

Calcolo della spinta sul muro

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. 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). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione α rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta α l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\alpha' = \alpha + \dots$$

$$\beta' = \beta + \dots$$

dove $\alpha = \arctg(C)$ essendo C il coefficiente di intensità sismica.

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$S' = AS' - S$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 46 di 72

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\alpha - \beta)}{\cos^2\alpha \cos\beta}$$

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1. Tale incremento di spinta deve essere applicato ad una distanza dalla base pari a 2/3 dell'altezza del muro stesso. Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali che si destano per effetto del sisma. Tale forza viene valutata come

$$F_i = CW$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi. Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza γ_r .

La Normativa Italiana (D.M. 1988) impone che sia $\gamma_r \geq 1.5$.

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \gamma_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro β è positivo, ribaltante se β è negativo. β è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza γ_s .

La Normativa Italiana (D.M. 1988) impone che $\gamma_s \geq 1.3$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \gamma_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con β_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \beta_f + c_a B_f$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, β_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di β_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a γ_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \gamma_q$$

La Normativa Italiana (D.M. 1988) impone che $\gamma_q \geq 2.0$

Terzaghi ha proposto la seguente espressione per il calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale.

$$q_u = cN_c s_c + qN_q + 0.5B\gamma s_\gamma$$

La simbologia adottata è la seguente:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 47 di 72

- c coesione del terreno in fondazione;
- α angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I fattori di capacità portante sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$N_q = \frac{e^{2(0.75 - \alpha/2)} \text{tg}(\alpha)}{2 \cos^2(45 + \alpha/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg}(\alpha)$$

$$N_D = \frac{\text{tg}(\alpha)}{2} \left(\frac{K_{pD}}{\cos^2(\alpha)} - 1 \right)$$

I fattori di forma s_c e s_D che compaiono nella espressione di q_u dipendono dalla forma della fondazione. In particolare valgono 1 per fondazioni nastroforni o rettangolari allungate e valgono rispettivamente 1.3 e 0.8 per fondazioni quadrate.

termine K_{pD} che compare nell'espressione di N_D non ha un'espressione analitica. Pertanto si assume per N_D l'espressione proposta da Meyerhof

$$N_D = (N_q - 1) \text{tg}(1.4 \cdot \alpha)$$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a γ_g

La Normativa Italiana (D.M. 1988) impone che $\gamma_g > 1.3$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

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

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\text{tg}(\alpha_i) \text{tg}(\alpha_i)}{\alpha} \right) \cos(\alpha_i)$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e α_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 α . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per α da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Tensioni ammissibili

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	Combinazione sismica
CS _{sc0}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
CS _{rib}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
CS _{qlim}	Coeff. di sicurezza a carico limite
CS _{stab}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS _{sc0}	CS _{rib}	CS _{qlim}	CS _{stab}
1	TAMM - [2]	--	1,66	5,09	5,74	1,63
2	TAMM - [3]	Orizzontale	1,43	4,14	5,84	1,60

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno
	Foglio 48 di 72

7.2. Concio 1

Normativa

Spinte e verifiche secondo :
- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

Geometria muro e fondazione

Descrizione Muro a mensola in c.a.

Altezza del paramento	3,80 [m]	
Spessore in sommità	0,30 [m]	
Spessore all'attacco con la fondazione		0,68 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [%]	
Inclinazione paramento interno	10,00 [%]	
Lunghezza del muro	10,00 [m]	

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,80 [m]	
Lunghezza mensola fondazione di monte	1,32 [m]	
Lunghezza totale fondazione	2,80 [m]	
Inclinazione piano di posa della fondazione		0,00 [%]
Spessore fondazione	0,70 [m]	
Spessore magrone	0,15 [m]	

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo

Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Resistenza caratteristica a compressione R _{bk}	250,0 [kg/cm ²]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	85,0 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile σ_{c0}	5,3 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile σ_{c1}	16,9 [kg/cm ²]

Acciaio

Tipo	FeB44K
Tensione ammissibile σ_{fa}	2600,0 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	15,00	0,00	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
\square	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
\square_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
\square	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
\square	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
ca	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	\square	\square_s	\square	\square	c	ca
Rilevato	20,00	20,00	35,00	23,33	0,000	0,000
Limo	19,00	19,00	28,00	28,00	0,000	0,000

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno</p>		<p>Foglio 49 di 72</p>

a Inclinazione espressa in [%]
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm2/cm
Ks Coefficiente di spinta
Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	4,50	0,00	0,00	0,00	Rilevato
2	2,00	0,00	2,04	0,00	Limo

Condizioni di carico

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]
Fx Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
Fy Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M Momento espresso in [kNm]
Xi Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
Xf Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Qi Intensità del carico per x=Xi espressa in [kN/m]
Qf Intensità del carico per x=Xf espressa in [kN/m]
D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (Sovraccarico)
D Profilo Xi=0,00 Xf=15,00 Qi=5,0000 Qf=5,0000

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata
C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 Tensioni ammissibili

C	
	Peso proprio 1.00
	Spinta terreno 1.00
	Sovraccarico 1.00

Combinazione n° 2 Tensioni ammissibili - Sismica

C	
	Peso proprio 1.00
	Spinta terreno 1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni Tensioni ammissibili

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C	Tipo	Sisma	cssco	csrib	csqlim	csstab	
1	TAMM - [2]	--	2,52	5,38	6,89	1,70	
2	TAMM - [3]	Orizzontale	2,11	4,17	7,24	1,63	

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
Origine in testa al muro (spigolo di monte)
Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi



Calcolo della spinta metodo di Culmann
 Calcolo del carico limite metodo di Terzaghi
 Calcolo della stabilità globale metodo di Bishop
 Calcolo della spinta in condizioni di Spinta attiva

Sisma

Coefficiente di intensità sismica (percento) 4,00
 Forma diagramma incremento sismico Triangolare con vertice in basso

Partecipazione spinta passiva (percento) 0,0
 Lunghezza del muro 10,00 [m]

Peso muro 93,7040 [kN]
 Baricentro del muro X=0,13 Y=-3,17

Superficie di spinta
 Punto inferiore superficie di spinta X = 1,70 Y = -4,50
 Punto superiore superficie di spinta X = 1,70 Y = 0,00
 Altezza della superficie di spinta 4,50 [m]
 Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale) 0,00 [%]

COMBINAZIONE n° 1

Valore della spinta statica 54,9514 [kN]
 Componente orizzontale della spinta statica 50,4585 [kN]
 Componente verticale della spinta statica 21,7622 [kN]
 Punto d'applicazione della spinta X = 1,70 [m] Y = -2,92 [m]
 Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie 43,13 [%]
 Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche 166,05 [%]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte 123,2600 [kN]
 Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte X = 0,94 [m] Y = -1,82 [m]

Risultanti
 Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale 50,4585 [kN]
 Risultante dei carichi applicati in dir. verticale 238,7262 [kN]
 Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle 79,5240 [kNm]
 Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle 428,0499 [kNm]
 Sforzo normale sul piano di posa della fondazione 238,7262 [kN]
 Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione 50,4585 [kN]
 Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione -0,06 [m]
 Risultante in fondazione 244,0005 [kN]
 Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) 21,14 [%]
 Momento rispetto al baricentro della fondazione -14,3091 [kNm]
 Carico ultimo della fondazione 1645,4883 [kN]

Tensioni sul terreno
 Lunghezza fondazione reagente 2,80 [m]
 Tensione terreno allo spigolo di valle 0,7577 [kg/cmq]
 Tensione terreno allo spigolo di monte 0,9811 [kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Nc = 31.61 N'c = 31.61
 Nq = 17.81 N'q = 17.81
 N ϕ = 13.71 N' ϕ = 13.71

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 5.38
 Coefficiente di sicurezza a scorrimento 2.52
 Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 6.89
 Coefficiente di sicurezza a stabilità globale 1.70

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 1

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]
 angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36
 Numero di strisce 25

Cerchio critico
 Coordinate del centro X[m]= -1,11 Y[m]= 0,37
 Raggio del cerchio R[m]= 5,62
 Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -4,89
 Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 4,50
 Larghezza della striscia dx[m]= 0,38
 Coefficiente di sicurezza C= 1.70
 Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α (°)	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	α	c	u
1	833.92	77.37	813.75	1.72	35.00	0.000	0.000
2	1774.55	64.24	1598.22	0.86	35.00	0.000	0.000
3	2289.18	56.37	1906.09	0.68	35.00	0.000	0.000
4	2676.68	49.94	2048.55	0.58	35.00	0.000	0.000
5	2988.17	44.28	2086.41	0.52	35.00	0.000	0.000
6	3245.66	39.14	2048.71	0.48	35.00	0.000	0.000
7	3461.13	34.35	1952.97	0.46	35.00	0.000	0.000
8	3706.26	29.82	1843.22	0.43	31.38	0.000	0.000
9	3907.69	25.49	1681.94	0.42	28.00	0.000	0.000
10	4027.09	21.32	1463.94	0.40	28.00	0.000	0.000
11	4123.78	17.26	1223.26	0.39	28.00	0.000	0.000
12	4546.40	13.28	1044.55	0.39	28.00	0.000	0.000
13	3970.37	9.37	646.68	0.38	28.00	0.000	0.000
14	1196.94	5.51	114.91	0.38	28.00	0.000	0.000
15	1202.76	1.67	35.04	0.38	28.00	0.000	0.000
16	1078.18	-2.16	-40.69	0.38	28.00	0.000	0.000
17	1058.64	-6.01	-110.75	0.38	28.00	0.000	0.000
18	1020.46	-9.87	-175.00	0.38	28.00	0.000	0.000
19	963.10	-13.79	-229.57	0.39	28.00	0.000	0.000
20	885.72	-17.77	-270.37	0.39	28.00	0.000	0.000
21	787.08	-21.85	-292.90	0.40	28.00	0.000	0.000
22	665.46	-26.04	-292.16	0.42	28.00	0.000	0.000
23	516.88	-30.39	-261.51	0.44	32.28	0.000	0.000
24	332.52	-34.95	-190.49	0.46	35.00	0.000	0.000
25	112.11	-39.78	-71.73	0.49	35.00	0.000	0.000

$\square W_i = 503,7826$ [kN]
 $\square W_{\sin \alpha_i} = 182,1422$ [kN]
 $\square W_{\tan \alpha_i} = 300,4893$ [kN]
 $\square \tan \alpha_i = 7.06$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
 Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
 Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
 Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,19	1,4416	0,0351	0,3281
3	0,38	2,9714	0,1640	0,8385
4	0,57	4,5894	0,4221	1,5303
5	0,76	6,2956	0,8448	2,4035
6	0,95	8,0900	1,4673	3,4580
7	1,14	9,9727	2,3249	4,6937
8	1,33	11,9435	3,4529	6,1108
9	1,52	14,0026	4,8866	7,7092
10	1,71	16,1499	6,6612	9,4889
11	1,90	18,3854	8,8122	11,4499
12	2,09	20,7091	11,3747	13,5922
13	2,28	23,1210	14,3841	15,9159
14	2,47	25,6211	17,8757	18,4208
15	2,66	28,2095	21,8847	21,1071
16	2,85	30,8860	26,4464	23,9746
17	3,04	33,6508	31,5962	27,0235
18	3,23	36,5038	37,3693	30,2537
19	3,42	39,4450	43,8011	33,6652
20	3,61	42,4744	50,9267	37,2580
21	3,80	45,5920	58,7801	41,0031

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,1835	4,5968
3	0,16	0,7368	9,2436
4	0,24	1,6638	13,9405
5	0,32	2,9686	18,6874
6	0,40	4,6552	23,4844
7	0,48	6,7275	28,3315
8	0,56	9,1895	33,2286
9	0,64	12,0454	38,1758
10	0,72	15,2990	43,1730
11	0,80	18,9544	48,2203

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,13	-0,0200	-0,3258
3	0,26	-0,0920	-0,7878
4	0,40	-0,2340	-1,3862
5	0,53	-0,4639	-2,1208
6	0,66	-0,7999	-2,9918
7	0,79	-1,2598	-3,9990
8	0,92	-1,8616	-5,1425
9	1,06	-2,6234	-6,4223
10	1,19	-3,5631	-7,8384
11	1,32	-4,6987	-9,3908

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	49,4534	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	45,4100	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	19,5848	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 1,70	[m]	Y = -3,00	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficiede			43,13	[%]
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	166,05			[%]
Incremento sismico della spinta	4,6578	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 1,70	[m]	Y = -1,50	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	154,02			[%]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	114,7600	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 0,94	[m]	Y = -1,82	[m]
Inerzia del muro	3,7482	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	4,5904	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	58,0255	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	229,8935	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	98,2710	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	409,7695	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	229,8935	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	58,0255	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,05	[m]
Risultante in fondazione	237,1033	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	25,24	[%]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	10,3523	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1663,7949	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	2,80	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,9180	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7564	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Nc = 31.61	N'c = 31.61
Nq = 17.81	N'q = 17.81
N ϕ = 13.71	N' ϕ = 13.71

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4.17
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2.11
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	7.24
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.63

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 2

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]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 β angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop
 Numero di cerchi analizzati 36
 Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro	X[m] = -1,11	Y[m] = 0,74
Raggio del cerchio	R[m] = 5,94	
Ascissa a valle del cerchio	Xi[m] = -4,96	
Ascissa a monte del cerchio	Xs[m] = 4,80	
Larghezza della striscia	dx[m] = 0,39	
Coefficiente di sicurezza	C = 1.63	

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α (°)	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	α	c	u
1	589.21	75.25	569.78	1.53	35.00	0.000	0.000
2	1493.86	63.81	1340.45	0.88	35.00	0.000	0.000
3	2040.80	56.16	1695.15	0.70	35.00	0.000	0.000
4	2456.35	49.87	1878.00	0.61	35.00	0.000	0.000
5	2791.94	44.32	1950.62	0.55	35.00	0.000	0.000
6	3070.32	39.26	1943.09	0.50	35.00	0.000	0.000
7	3304.00	34.55	1873.74	0.47	35.00	0.000	0.000
8	3508.83	30.09	1759.30	0.45	34.59	0.000	0.000
9	3787.95	25.83	1650.36	0.43	28.00	0.000	0.000
10	3919.00	21.72	1450.02	0.42	28.00	0.000	0.000
11	4025.55	17.72	1225.03	0.41	28.00	0.000	0.000
12	4275.49	13.81	1020.30	0.40	28.00	0.000	0.000
13	4841.82	9.96	837.47	0.40	28.00	0.000	0.000
14	1435.04	6.16	153.98	0.39	28.00	0.000	0.000
15	1223.17	2.39	50.92	0.39	28.00	0.000	0.000
16	1101.95	-1.38	-26.49	0.39	28.00	0.000	0.000
17	1069.28	-5.15	-95.92	0.39	28.00	0.000	0.000
18	1032.81	-8.94	-160.47	0.39	28.00	0.000	0.000
19	976.21	-12.77	-215.79	0.40	28.00	0.000	0.000
20	898.68	-16.66	-257.67	0.41	28.00	0.000	0.000
21	799.05	-20.63	-281.59	0.42	28.00	0.000	0.000
22	675.69	-24.71	-282.50	0.43	28.00	0.000	0.000
23	524.32	-28.93	-253.66	0.45	32.81	0.000	0.000
24	336.90	-33.33	-185.13	0.47	35.00	0.000	0.000
25	113.73	-37.97	-69.97	0.49	35.00	0.000	0.000

$\square W_i = 493,2034$ [kN]

$\square W_{\sin \alpha} = 172,2960$ [kN]

$\square W_{\tan \alpha} = 295,0169$ [kN]

$\square \tan \alpha = 6.81$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 2

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,19	1,4416	0,0470	0,4515
3	0,38	2,9714	0,2100	1,0722
4	0,57	4,5894	0,5221	1,8623
5	0,76	6,2956	1,0162	2,8217
6	0,95	8,0900	1,7254	3,9503
7	1,14	9,9727	2,6826	5,2482
8	1,33	11,9435	3,9210	6,7155
9	1,52	14,0026	5,4733	8,3520
10	1,71	16,1499	7,3728	10,1578
11	1,90	18,3854	9,6524	12,1329
12	2,09	20,7091	12,3451	14,2773
13	2,28	23,1210	15,4839	16,5910
14	2,47	25,6211	19,1018	19,0740
15	2,66	28,2095	23,2319	21,7263
16	2,85	30,8860	27,9071	24,5478
17	3,04	33,6508	33,1605	27,5387
18	3,23	36,5038	39,0250	30,6989
19	3,42	39,4450	45,5337	34,0283
20	3,61	42,4744	52,7196	37,5270
21	3,80	45,5920	60,6142	41,1661

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,2327	5,8111
3	0,16	0,9288	11,5861
4	0,24	2,0855	17,3248
5	0,32	3,6998	23,0272
6	0,40	5,7689	28,6935
7	0,48	8,2898	34,3236
8	0,56	11,2597	39,9174
9	0,64	14,6756	45,4750
10	0,72	18,5347	50,9964
11	0,80	22,8341	56,4816



Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,13	-0,1632	-2,4560
3	0,26	-0,6441	-4,8135
4	0,40	-1,4296	-7,0723
5	0,53	-2,5068	-9,2325
6	0,66	-3,8626	-11,2941
7	0,79	-5,4841	-13,2571
8	0,92	-7,3582	-15,1215
9	1,06	-9,4719	-16,8874
10	1,19	-11,8121	-18,5546
11	1,32	-14,3659	-20,1232

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 55 di 72

7.3. Concio 2

Normativa

Spinte e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

Geometria muro e fondazione

Descrizione

	Muro a mensola in c.a.
Altezza del paramento	4,50 [m]
Spessore in sommità	0,30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,75 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [%]
Inclinazione paramento interno	10,00 [%]
Lunghezza del muro	10,00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,80 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	3,15 [m]
Lunghezza totale fondazione	4,70 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [%]
Spessore fondazione	0,80 [m]
Spessore magrone	0,15 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo

Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Resistenza caratteristica a compressione R_{bk}	250,0 [kg/cm ²]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	85,0 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile σ_{c0}	5,3 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile σ_{c1}	16,9 [kg/cm ²]

Acciaio

Tipo	FeB44K
Tensione ammissibile σ_{fa}	2600,0 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0,60	0,00	0,00
2	8,60	5,33	33,69
3	15,60	5,33	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr. Indice del terreno

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
α	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
β	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	α	β	c	c_a
Rilevato	20,00	20,00	35,00	23,33	0,000	0,000
Limo	19,00	19,00	28,00	28,00	0,000	0,000

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
h	Spessore dello strato espresso in [m]
α	Inclinazione espressa in [%]
K_w	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
K_s	Coefficiente di spinta

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001</p> <p>Relazione di calcolo muro di sostegno</p>	
<p>Foglio 56 di 72</p>	

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	5,30	0,00	0,00	0,00	Rilevato
2	2,00	0,00	2,82	0,00	Limo

Condizioni di carico

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 (Sovraccarico)

D	Profilo	X _i =0,00	X _f =8,60	Q _i =1,0000	Q _f =1,0000
D	Profilo	X _i =8,60	X _f =15,60	Q _i =20,0000	Q _f =20,0000

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

c Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 Tensioni ammissibili

	c
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico	1.00

Combinazione n° 2 Tensioni ammissibili - Sismica

	c
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Tensioni ammissibili

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

c Identificativo della combinazione
 Tipo Tipo combinazione
 Sisma Combinazione sismica
 CS_{sc0} Coeff. di sicurezza allo scorrimento
 CS_{rib} Coeff. di sicurezza al ribaltamento
 CS_{stab} Coeff. di sicurezza a carico limite
 CS_{glo} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS _{sc0}	CS _{rib}	CS _{glo}	CS _{stab}
1	TAMM - [2]	--	1,55	3,35	6,26	1,41
2	TAMM - [3]	Orizzontale	1,38	2,76	5,71	1,35

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
 Origine in testa al muro (spigolo di monte)
 Assisse X (esprasse in [m]) positive verso monte
 Ordinate Y (esprasse in [m]) positive verso l'alto
 Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
 Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Terzaghi
Calcolo della stabilità globale	metodo di Bishop
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Sisma

Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.00
Forma diagramma incremento sismico	Triangolare con vertice in basso

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 57 di 72

Partecipazione spinta passiva (percento) 0,0
Lunghezza del muro 10,00 [m]
Peso muro 150,1054 [kN]
Baricentro del muro X=0,76 Y=-4,00

Superficie di spinta
Punto inferiore superficie di spinta X = 3,60 Y = -5,30
Punto superiore superficie di spinta X = 3,60 Y = 2,00
Altezza della superficie di spinta 7,30 [m]
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale) 0,00 [%]

COMBINAZIONE n° 1

Valore della spinta statica 233,6765 [kN]
Componente orizzontale della spinta statica 211,3738 [kN]
Componente verticale della spinta statica 99,6286 [kN]
Punto d'applicazione della spinta X = 3,60 [m] Y = -2,62 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie 47,13 [%]
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche 135,79 [%]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte 367,3500 [kN]
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte X = 2,02 [m] Y = -1,73 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale 211,3738 [kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale 617,0840 [kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle 565,4306 [kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle 1894,8923 [kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione 617,0840 [kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione 211,3738 [kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione 0,20 [m]
Risultante in fondazione 652,2818 [kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) 34,25 [%]
Momento rispetto al baricentro della fondazione 120,6858 [kNm]
Carico ultimo della fondazione 3865,1032 [kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente 4,70 [m]
Tensione terreno allo spigolo di valle 1,6731 [kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte 1,0045 [kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 31.61$ $N'_c = 31.61$
 $N_q = 17.81$ $N'_q = 17.81$
 $N_\phi = 13.71$ $N'_\phi = 13.71$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 3.35
Coefficiente di sicurezza a scorrimento 1.55
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo 6.26
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale 1.41

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 1

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]
□ angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
□ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
c larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 36
Numero di strisce 25

Cerchio critico
Coordinate del centro X[m]= -0,99 Y[m]= 4,44
Raggio del cerchio R[m]= 10,77
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,00
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 9,75
Larghezza della striscia dx[m]= 0,67
Coefficiente di sicurezza C= 1.41
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	□ (°)	Wsin□	b/cos□	□	c	u
1	5742.72	77.47	5606.03	3.09	35.00	0.000	0.000
2	8393.52	65.00	7607.36	1.59	35.00	0.000	0.000
3	8708.53	57.47	7341.85	1.25	35.00	0.000	0.000
4	9387.06	51.30	7325.62	1.07	35.00	0.000	0.000
5	9820.12	45.88	7050.07	0.96	35.00	0.000	0.000
6	10079.23	40.96	6607.30	0.89	35.00	0.000	0.000
7	10203.54	36.38	6052.72	0.83	35.00	0.000	0.000
8	10217.26	32.07	5424.22	0.79	35.00	0.000	0.000
9	10136.50	27.94	4749.93	0.76	35.00	0.000	0.000
10	10168.99	23.97	4131.83	0.73	29.35	0.000	0.000
11	9958.35	20.12	3426.13	0.71	28.00	0.000	0.000
12	9636.92	16.37	2715.50	0.70	28.00	0.000	0.000
13	9253.78	12.68	2031.39	0.69	28.00	0.000	0.000

14	8862.80	9.05	1393.78	0.68	28.00	0.000	0.000
15	9906.34	5.45	941.16	0.67	28.00	0.000	0.000
16	2693.04	1.88	88.20	0.67	28.00	0.000	0.000
17	2466.04	-1.69	-72.76	0.67	28.00	0.000	0.000
18	2359.11	-5.26	-216.47	0.67	28.00	0.000	0.000
19	2251.26	-8.86	-346.73	0.68	28.00	0.000	0.000
20	2087.14	-12.49	-451.39	0.69	28.00	0.000	0.000
21	1864.70	-16.17	-519.38	0.70	28.00	0.000	0.000
22	1580.94	-19.93	-538.78	0.71	28.00	0.000	0.000
23	1231.58	-23.77	-496.41	0.73	28.97	0.000	0.000
24	796.80	-27.73	-370.79	0.76	35.00	0.000	0.000
25	271.81	-31.85	-143.42	0.79	35.00	0.000	0.000

□ W_i = 1550,2411 [kN]
 □ $W_i \sin \alpha_i$ = 679,9740 [kN]
 □ $W_i \tan \alpha_i$ = 966,0072 [kN]
 □ $\tan \alpha_i \tan \alpha_i$ = 8.50

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
 Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
 Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
 Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	1,7168	0,3630	3,1854
3	0,45	3,5572	1,4925	6,6348
4	0,68	5,5214	3,4486	10,3404
5	0,90	7,6092	6,2851	14,2203
6	1,13	9,8208	10,0019	17,8608
7	1,35	12,1561	14,5014	20,9396
8	1,57	14,6151	19,6662	23,5654
9	1,80	17,1978	25,4132	25,8809
10	2,02	19,9042	31,6854	27,9799
11	2,25	22,7343	38,4457	30,0179
12	2,48	25,6881	45,7847	33,0726
13	2,70	28,7656	54,0503	37,9164
14	2,93	31,9668	63,5897	43,9972
15	3,15	35,2918	74,6411	50,9922
16	3,38	38,7404	87,3790	58,5970
17	3,60	42,3128	101,9188	66,6468
18	3,83	46,0088	118,3586	75,1189
19	4,05	49,8286	136,7935	84,0016
20	4,28	53,7720	157,3161	93,2841
21	4,50	57,8392	180,0129	102,8956

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,4611	11,5122
3	0,16	1,8396	22,9352
4	0,24	4,1283	34,2689
5	0,32	7,3202	45,5133
6	0,40	11,4081	56,6685
7	0,48	16,3848	67,7344
8	0,56	22,2432	78,7110
9	0,64	28,9762	89,5983
10	0,72	36,5766	100,3964
11	0,80	45,0372	111,1052

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,31	-2,4427	-15,0577
3	0,63	-9,2021	-27,4084
4	0,94	-19,4257	-37,0520
5	1,26	-32,2606	-43,9884
6	1,58	-46,8542	-48,2178
7	1,89	-62,3536	-49,7401
8	2,21	-77,9062	-48,5553
9	2,52	-92,6592	-44,6634
10	2,83	-105,7599	-38,0644
11	3,15	-116,3631	-28,9084

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	214,3858	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	193,9106	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	91,4329	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,60	[m]	Y = -2,63	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	47,15	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	141,85	[°]		
Incremento sismico della spinta	24,9759	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,60	[m]	Y = -0,42	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	132,43	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	363,7500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,02	[m]	Y = -1,73	[m]
Inerzia del muro	6,0042	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	14,5500	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	237,0553	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	615,9402	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	686,9733	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	1895,1906	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	615,9402	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	237,0553	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,39	[m]
Risultante in fondazione	659,9830	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	38,49	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	239,2421	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	3519,1362	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	4,70	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1,9989	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,6737	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 31.61$	$N'_c = 31.61$
$N_q = 17.81$	$N'_q = 17.81$
$N_\phi = 13.71$	$N'_\phi = 13.71$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.76
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.38
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	5.71
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.35

Stabilità globale muro + terrenoCombinazione n° 2

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]
 angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36
Numero di strisce 25

Cerchio critico
Coordinate del centro X[m]= -0,99 Y[m]= 4,44
Raggio del cerchio R[m]= 10,77
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,00
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 9,75
Larghezza della striscia dx[m]= 0,67
Coefficiente di sicurezza C= 1.35
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α (°)	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	α	c	u
1	4376.30	77.47	4272.14	3.09	35.00	0.000	0.000
2	7394.15	65.00	6701.60	1.59	35.00	0.000	0.000
3	8640.21	57.47	7284.25	1.25	35.00	0.000	0.000
4	9318.74	51.30	7272.30	1.07	35.00	0.000	0.000
5	9751.79	45.88	7001.02	0.96	35.00	0.000	0.000
6	10010.91	40.96	6562.51	0.89	35.00	0.000	0.000
7	10135.22	36.38	6012.19	0.83	35.00	0.000	0.000
8	10148.94	32.07	5387.95	0.79	35.00	0.000	0.000
9	10068.18	27.94	4717.91	0.76	35.00	0.000	0.000
10	10100.67	23.97	4104.07	0.73	29.35	0.000	0.000
11	9890.03	20.12	3402.62	0.71	28.00	0.000	0.000
12	9568.60	16.37	2696.25	0.70	28.00	0.000	0.000
13	9185.46	12.68	2016.39	0.69	28.00	0.000	0.000
14	8794.48	9.05	1383.04	0.68	28.00	0.000	0.000
15	9868.57	5.45	937.57	0.67	28.00	0.000	0.000
16	2693.04	1.88	88.20	0.67	28.00	0.000	0.000
17	2466.04	-1.69	-72.76	0.67	28.00	0.000	0.000

18	2359.11	-5.26	-216.47	0.67	28.00	0.000	0.000
19	2251.26	-8.86	-346.73	0.68	28.00	0.000	0.000
20	2087.14	-12.49	-451.39	0.69	28.00	0.000	0.000
21	1864.70	-16.17	-519.38	0.70	28.00	0.000	0.000
22	1580.94	-19.93	-538.78	0.71	28.00	0.000	0.000
23	1231.58	-23.77	-496.41	0.73	28.97	0.000	0.000
24	796.80	-27.73	-370.79	0.76	35.00	0.000	0.000
25	271.81	-31.85	-143.42	0.79	35.00	0.000	0.000

$\square W_i = 1518,6298$ [kN]
 $\square W_i \sin \alpha_i = 653,9559$ [kN]
 $\square W_i \tan \alpha_i = 944,4790$ [kN]
 $\square \tan \alpha_i \tan \alpha_{i1} = 8.50$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 2

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
 Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
 Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
 Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	1,7168	0,5515	4,8478
3	0,45	3,5572	2,2346	9,8798
4	0,68	5,5214	5,0914	15,0884
5	0,90	7,6092	9,1579	20,3926
6	1,13	9,8208	14,4168	25,3852
7	1,35	12,1561	20,7550	29,7479
8	1,57	14,6151	28,0395	33,5869
9	1,80	17,1978	36,1709	37,0417
10	2,02	19,9042	45,0754	40,2041
11	2,25	22,7343	54,6976	43,1952
12	2,48	25,6881	65,0725	46,8278
13	2,70	28,7656	76,4833	52,1513
14	2,93	31,9668	89,2850	58,7265
15	3,15	35,2918	103,6849	65,9973
16	3,38	38,7404	119,8222	73,8036
17	3,60	42,3128	137,8014	81,9968
18	3,83	46,0088	157,7013	90,5070
19	4,05	49,8286	179,5928	99,3216
20	4,28	53,7720	203,5449	108,4309
21	4,50	57,8392	229,6208	117,7687

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,5622	14,0251
3	0,16	2,2393	27,8732
4	0,24	5,0172	41,5443
5	0,32	8,8817	55,0385
6	0,40	13,8186	68,3557
7	0,48	19,8138	81,4959
8	0,56	26,8532	94,4591
9	0,64	34,9226	107,2454
10	0,72	44,0078	119,8547
11	0,80	54,0946	132,2870

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,31	-3,9313	-24,2831
3	0,63	-14,8714	-44,4995
4	0,94	-31,5390	-60,6491
5	1,26	-52,6533	-72,7320
6	1,58	-76,9332	-80,7481
7	1,89	-103,0976	-84,6974
8	2,21	-129,8656	-84,5800
9	2,52	-155,9560	-80,3958
10	2,83	-180,0879	-72,1449
11	3,15	-200,9878	-59,9772

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 61 di 72

7.4. Concio 3

Normativa

Spinte e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

Geometria muro e fondazione

Descrizione

Altezza del paramento	3,50 [m]
Spessore in sommità	0,30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,65 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [%]
Inclinazione paramento interno	10,00 [%]
Lunghezza del muro	10,00 [m]

Muro a mensola in c.a.

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,80 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2,65 [m]
Lunghezza totale fondazione	4,10 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [%]
Spessore fondazione	0,70 [m]
Spessore magrone	0,15 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo

Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Resistenza caratteristica a compressione R_{bk}	250,0 [kg/cm ²]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	85,0 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9 [kg/cm ²]
Acciaio	
Tipo	FeB44K
Tensione ammissibile σ_{ta}	2600,0 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0,60	0,00	0,00
2	8,60	5,33	33,69
3	15,60	5,33	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Rilevato	20,00	20,00	35,00	23,33	0,000	0,000
Limo	19,00	19,00	28,00	28,00	0,000	0,000

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [%]

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001</p> <p>Relazione di calcolo muro di sostegno</p>	
<p>Foglio 62 di 72</p>	

K_w Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm²/cm
 K_s Coefficiente di spinta
 Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	K_w	K_s	Terreno
1	4,20	0,00	0,00	0,00	Rilevato
2	2,00	0,00	2,48	0,00	Limo

Condizioni di carico

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 esposto in [kNm]
 X_1 Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
 X_2 Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
 Q Intensità del carico per $x=X_1$ espressa in [kN/m]
 Q_1 Intensità del carico per $x=X_2$ espressa in [kN/m]
 D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (Sovraccarico)

D	Profilo	$X_1=0,00$	$X_2=8,60$	$Q_1=1,0000$	$Q_2=1,0000$
D	Profilo	$X_1=8,60$	$X_2=15,60$	$Q_1=20,0000$	$Q_2=20,0000$

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

c Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 Tensioni ammissibili

	c
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico	1.00

Combinazione n° 2 Tensioni ammissibili - Sismica

	c
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Tensioni ammissibili

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C Identificativo della combinazione
 Tipo Tipo combinazione
 S_{Sisma} Combinazione sismica
 CS_{scd} Coeff. di sicurezza allo scorrimento
 CS_{rib} Coeff. di sicurezza al ribaltamento
 CS_{qlim} Coeff. di sicurezza a carico limite
 CS_{stab} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{scd}	CS_{rib}	CS_{qlim}	CS_{stab}
1	TAMM - [2]	--	1,53	3,73	7,41	1,47
2	TAMM - [3]	Orizzontale	1,35	3,00	6,77	1,38

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
 Origine in testa al muro (spigolo di monte)
 Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
 Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
 Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
 Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Terzaghi
Calcolo della stabilità globale	metodo di Bishop
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Sisma

Coefficiente di intensità sismica (percento)	4.00
Forma diagramma incremento sismico	Triangolare con vertice in basso

Partecipazione spinta passiva (percento)	0,0			
Lunghezza del muro	10,00	[m]		
Peso muro	111,1234	[kN]		
Baricentro del muro	X=0,58	Y=-3,16		
<u>Superficie di spinta</u>				
Punto inferiore superficie di spinta	X = 3,00	Y = -4,20		
Punto superiore superficie di spinta	X = 3,00	Y = 1,60		
Altezza della superficie di spinta	5,80	[m]		
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	0,00	[°]		
<u>COMBINAZIONE n° 1</u>				
Valore della spinta statica	160,4423	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	145,0967	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	68,4741	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,00	[m]	Y = -2,10	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	47,19	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	126,02	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	239,1500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,69	[m]	Y = -1,35	[m]
<u>Risultanti</u>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	145,0967	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	418,7475	[kN]		
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	304,2776	[kNm]		
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	1133,8883	[kNm]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	418,7475	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	145,0967	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,07	[m]		
Risultante in fondazione	443,1732	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	34,65	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	28,8216	[kNm]		
Carico ultimo della fondazione	3103,5453	[kN]		
<u>Tensioni sul terreno</u>				
Lunghezza fondazione reagente	4,10	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	1,1464	[kg/cmq]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,9366	[kg/cmq]		
<u>Fattori per il calcolo della capacità portante</u>				
N _c = 31.61	N' _c = 31.61			
N _q = 17.81	N' _q = 17.81			
N _γ = 13.71	N' _γ = 13.71			
<u>COEFFICIENTI DI SICUREZZA</u>				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.73			
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.53			
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	7.41			
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.47			

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 1

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]
α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo anticorario)
φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico
Coordinate del centro X[m]= -0,80 Y[m]= 3,61
Raggio del cerchio R[m]= 8,68
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5,80
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 7,81
Larghezza della striscia dx[m]= 0,54
Coefficiente di sicurezza C= 1.47
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α(°)	Wsinα	b/cosα	φ	c	u
1	3603.92	75.35	3486.68	2.15	35.00	0.000	0.000
2	4979.01	64.11	4479.29	1.25	35.00	0.000	0.000
3	5658.96	56.72	4730.77	0.99	35.00	0.000	0.000
4	6084.37	50.61	4702.35	0.86	35.00	0.000	0.000
5	6354.06	45.23	4510.86	0.77	35.00	0.000	0.000
6	6512.18	40.32	4213.78	0.71	35.00	0.000	0.000
7	6583.26	35.75	3846.28	0.67	35.00	0.000	0.000
8	6582.57	31.43	3432.60	0.64	35.00	0.000	0.000
9	6550.28	27.30	3004.63	0.61	33.88	0.000	0.000
10	6571.33	23.33	2601.90	0.59	28.00	0.000	0.000
11	6395.19	19.46	2130.89	0.58	28.00	0.000	0.000
12	6175.75	15.69	1670.30	0.57	28.00	0.000	0.000



13	5915.66	11.99	1228.83	0.56	28.00	0.000	0.000
14	5798.99	8.34	840.81	0.55	28.00	0.000	0.000
15	6058.53	4.72	498.38	0.55	28.00	0.000	0.000
16	1892.15	1.12	36.95	0.54	28.00	0.000	0.000
17	1759.26	-2.48	-76.00	0.54	28.00	0.000	0.000
18	1645.31	-6.08	-174.29	0.55	28.00	0.000	0.000
19	1565.62	-9.71	-264.06	0.55	28.00	0.000	0.000
20	1448.23	-13.38	-335.12	0.56	28.00	0.000	0.000
21	1291.62	-17.11	-379.91	0.57	28.00	0.000	0.000
22	1093.62	-20.91	-390.29	0.58	28.00	0.000	0.000
23	850.92	-24.81	-357.07	0.60	29.54	0.000	0.000
24	549.09	-28.84	-264.87	0.62	35.00	0.000	0.000
25	186.22	-33.04	-101.52	0.65	35.00	0.000	0.000

 $\Sigma W_i = 1001,3348$ [kN]

 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 422,4001$ [kN]

 $\Sigma W_i \tan \phi_i = 619,5129$ [kN]

 $\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 7.66$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
 Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
 Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
 Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,17	1,3246	0,2180	2,4529
3	0,35	2,7240	0,8916	5,0695
4	0,52	4,1982	2,0494	7,8418
5	0,70	5,7472	3,7191	10,7679
6	0,88	7,3711	5,9270	13,8212
7	1,05	9,0699	8,6796	16,7679
8	1,22	10,8434	11,9328	19,3495
9	1,40	12,6919	15,6230	21,5951
10	1,57	14,6151	19,6998	23,5929
11	1,75	16,6132	24,1274	25,4149
12	1,92	18,6861	28,8788	27,0947
13	2,10	20,8338	33,9328	28,6670
14	2,27	23,0564	39,2760	30,2115
15	2,45	25,3538	44,9575	32,4891
16	2,63	27,7260	51,1740	36,0700
17	2,80	30,1731	58,1147	40,4408
18	2,97	32,6950	65,8940	45,4177
19	3,15	35,2918	74,6199	50,9708
20	3,32	37,9634	84,3725	56,8551
21	3,50	40,7098	95,2003	62,9640

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3044	7,6047
3	0,16	1,2159	15,1772
4	0,24	2,7319	22,7176
5	0,32	4,8499	30,2259
6	0,40	7,5672	37,7021
7	0,48	10,8813	45,1462
8	0,56	14,7897	52,5582
9	0,64	19,2898	59,9380
10	0,72	24,3789	67,2857
11	0,80	30,0546	74,6013

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,26	-0,9373	-6,8593
3	0,53	-3,5216	-12,4298
4	0,79	-7,4113	-16,7117
5	1,06	-12,2649	-19,7047
6	1,32	-17,7410	-21,4091
7	1,59	-23,4979	-21,8247
8	1,85	-29,1942	-20,9516
9	2,12	-34,4884	-18,7897

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 65 di 72

10	2,38	-39,0389	-15,3391
11	2,65	-42,5390	-11,0164

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	148,0145	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	133,8557	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	63,1738	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,00	[m]	Y = -2,11 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	47,20	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	131,83	[°]	
Incremento sismico della spinta	19,3373	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,00	[m]	Y = -0,33 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	123,79	[°]	
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	236,1500	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,69	[m]	Y = -1,35 [m]
Inerzia del muro	4,4449	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	9,4460	[kN]	

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	165,2342	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	418,7005	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	379,6487	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	1137,6391	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	418,7005	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	165,2342	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,24	[m]
Risultante in fondazione	450,1250	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	39,46	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	100,3458	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	2835,9339	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	4,10	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1,4066	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,6761	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 31.61$	$N'_c = 31.61$
$N_q = 17.81$	$N'_q = 17.81$
$N_\gamma = 13.71$	$N'_\gamma = 13.71$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.00
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.35
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	6.77
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.38

Stabilità globale muro + terreno
Combinazione n° 2

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]
 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 [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36
Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -0,80 Y[m]= 3,61
Raggio del cerchio R[m]= 8,68
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -5,80
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 7,81
Larghezza della striscia dx[m]= 0,54
Coefficiente di sicurezza C= 1.38
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α (°)	$W \sin \alpha$	$b / \cos \alpha$	ϕ	c	u
1	3548.41	75.35	3432.97	2.15	35.00	0.000	0.000
2	4923.51	64.11	4429.35	1.25	35.00	0.000	0.000
3	5603.46	56.72	4684.36	0.99	35.00	0.000	0.000
4	6028.86	50.61	4659.45	0.86	35.00	0.000	0.000
5	6298.55	45.23	4471.45	0.77	35.00	0.000	0.000
6	6456.68	40.32	4177.87	0.71	35.00	0.000	0.000
7	6527.75	35.75	3813.85	0.67	35.00	0.000	0.000
8	6527.06	31.43	3403.65	0.64	35.00	0.000	0.000
9	6494.78	27.30	2979.16	0.61	33.88	0.000	0.000
10	6515.82	23.33	2579.92	0.59	28.00	0.000	0.000
11	6339.68	19.46	2112.39	0.58	28.00	0.000	0.000
12	6120.24	15.69	1655.29	0.57	28.00	0.000	0.000
13	5860.16	11.99	1217.30	0.56	28.00	0.000	0.000
14	5743.48	8.34	832.76	0.55	28.00	0.000	0.000
15	6039.69	4.72	496.83	0.55	28.00	0.000	0.000
16	1892.15	1.12	36.95	0.54	28.00	0.000	0.000

17	1759.26	-2.48	-76.00	0.54	28.00	0.000	0.000
18	1645.31	-6.08	-174.29	0.55	28.00	0.000	0.000
19	1565.62	-9.71	-264.06	0.55	28.00	0.000	0.000
20	1448.23	-13.38	-335.12	0.56	28.00	0.000	0.000
21	1291.62	-17.11	-379.91	0.57	28.00	0.000	0.000
22	1093.62	-20.91	-390.29	0.58	28.00	0.000	0.000
23	850.92	-24.81	-357.07	0.60	29.54	0.000	0.000
24	549.09	-28.84	-264.87	0.62	35.00	0.000	0.000
25	186.22	-33.04	-101.52	0.65	35.00	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 993,5292$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 418,1664$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 614,5527$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 7.66$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 2

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,17	1,3246	0,3267	3,6857
3	0,35	2,7240	1,3195	7,4751
4	0,52	4,1982	2,9966	11,3604
5	0,70	5,7472	5,3751	15,3398
6	0,88	7,3711	8,4709	19,3871
7	1,05	9,0699	12,2804	23,2719
8	1,22	10,8434	16,7501	26,7394
9	1,40	12,6919	21,8071	29,8177
10	1,57	14,6151	27,3918	32,5933
11	1,75	16,6132	33,4584	35,1368
12	1,92	18,6861	39,9701	37,4807
13	2,10	20,8338	46,8956	39,6597
14	2,27	23,0564	54,2093	41,7132
15	2,45	25,3538	61,9266	44,2017
16	2,63	27,7260	70,2003	47,8842
17	2,80	30,1731	79,2272	52,4723
18	2,97	32,6950	89,1240	57,5449
19	3,15	35,2918	99,9649	62,9963
20	3,32	37,9634	111,8119	68,7649
21	3,50	40,7098	124,7120	74,7278

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3850	9,6062
3	0,16	1,5340	19,1006
4	0,24	3,4381	28,4832
5	0,32	6,0883	37,7540
6	0,40	9,4758	46,9129
7	0,48	13,5914	55,9601
8	0,56	18,4264	64,8954
9	0,64	23,9717	73,7189
10	0,72	30,2184	82,4306
11	0,80	37,1576	91,0304

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,26	-1,7604	-12,9253
3	0,53	-6,6593	-23,6873
4	0,79	-14,1236	-32,2860
5	1,06	-23,5798	-38,7215
6	1,32	-34,4549	-42,9938
7	1,59	-46,1754	-45,1027
8	1,85	-58,1682	-45,0484
9	2,12	-69,8600	-42,8308
10	2,38	-80,6775	-38,4500
11	2,65	-90,0821	-32,3225

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno		Foglio 67 di 72

7.5. Concio 4

Normativa

Spinte e verifiche secondo :
- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

Geometria muro e fondazione

Descrizione	Muro a mensola in c.a.
Altezza del paramento	2,50 [m]
Spessore in sommità	0,30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,55 [m]
Inclinazione paramento esterno	0,00 [%]
Inclinazione paramento interno	10,00 [%]
Lunghezza del muro	10,00 [m]
Fondazione	
Lunghezza mensola fondazione di valle	0,50 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2,25 [m]
Lunghezza totale fondazione	3,30 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [%]
Spessore fondazione	0,60 [m]
Spessore magrone	0,15 [m]

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo	
Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Resistenza caratteristica a compressione R_{bk}	250,0 [kg/cm ²]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	85,0 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	5,3 [kg/cm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	16,9 [kg/cm ²]
Acciaio	
Tipo	FeB44K
Tensione ammissibile σ_{ta}	2600,0 [kg/cm ²]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)
N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0,60	0,00	0,00
2	8,60	5,33	33,69
3	15,60	5,33	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm ²]
c_u	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_u
Rilevato	20,00	20,00	35,00	23,33	0,000	0,000
Limo	19,00	19,00	28,00	28,00	0,000	0,000

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001 Relazione di calcolo muro di sostegno</p>		<p>Foglio 69 di 72</p>

Partecipazione spinta passiva (percento)	0,0
Lunghezza del muro	10,00 [m]
Peso muro	74,5930 [kN]
Baricentro del muro	X=0,52 Y=-2,30
Superficie di spinta	
Punto inferiore superficie di spinta	X = 2,50 Y = -3,10
Punto superiore superficie di spinta	X = 2,50 Y = 1,27
Altezza della superficie di spinta	4,37 [m]
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	0,00 [%]

COMBINAZIONE n° 1

Valore della spinta statica	98,8456	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	89,1637	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	42,6648	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,50	[m]	Y = -1,55	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	47,85	[%]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	0,00	[%]		

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	145,3167	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,40	[m]	Y = -0,95	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	89,1637	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	262,5745	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	138,1896	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	560,0302	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	262,5745	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	89,1637	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,04	[m]
Risultante in fondazione	277,3004	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	33,96	[%]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	11,4073	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	2067,5062	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,30	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0,8754	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,7473	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

$N_c = 31.61$	$N'_c = 31.61$
$N_q = 17.81$	$N'_q = 17.81$
$N_\gamma = 13.71$	$N'_\gamma = 13.71$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4.05
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.57
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	7.87
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.55

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 1

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]
 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 [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop
 Numero di cerchi analizzati 36
 Numero di strisce 25

Cerchio critico
 Coordinate del centro X[m]= -0,31 Y[m]= 2,82
 Raggio del cerchio R[m]= 6,55
 Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -4,16
 Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,19
 Larghezza della striscia dx[m]= 0,41
 Coefficiente di sicurezza C= 1.55
 Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α(°)	Wsinα	b/cosα	φ	c	u
1	2073.15	75.39	2006.08	1.64	35.00	0.000	0.000
2	2868.71	64.06	2579.73	0.95	35.00	0.000	0.000
3	3259.89	56.63	2722.56	0.75	35.00	0.000	0.000
4	3503.95	50.50	2703.72	0.65	35.00	0.000	0.000
5	3658.08	45.09	2590.84	0.59	35.00	0.000	0.000
6	3747.78	40.16	2417.20	0.54	35.00	0.000	0.000
7	3787.20	35.57	2203.13	0.51	35.00	0.000	0.000
8	3785.15	31.23	1962.69	0.48	35.00	0.000	0.000
9	3757.93	27.09	1711.10	0.46	34.41	0.000	0.000
10	3788.97	23.09	1485.84	0.45	28.00	0.000	0.000

11	3685.68	19.21	1212.50	0.44	28.00	0.000	0.000
12	3557.30	15.42	945.57	0.43	28.00	0.000	0.000
13	3405.38	11.69	690.09	0.42	28.00	0.000	0.000
14	3259.92	8.02	454.72	0.42	28.00	0.000	0.000
15	3438.22	4.38	262.44	0.41	28.00	0.000	0.000
16	2896.14	0.75	38.15	0.41	28.00	0.000	0.000
17	1118.27	-2.87	-55.90	0.41	28.00	0.000	0.000
18	978.50	-6.50	-110.71	0.42	28.00	0.000	0.000
19	929.91	-10.15	-163.94	0.42	28.00	0.000	0.000
20	859.32	-13.85	-205.77	0.43	28.00	0.000	0.000
21	765.77	-17.62	-231.74	0.43	28.00	0.000	0.000
22	647.94	-21.46	-237.02	0.44	28.00	0.000	0.000
23	502.93	-25.40	-215.74	0.46	31.60	0.000	0.000
24	322.33	-29.48	-158.64	0.48	35.00	0.000	0.000
25	107.08	-33.74	-59.47	0.50	35.00	0.000	0.000

$\Sigma W_i = 595,3271$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 240,7320$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 367,4054$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 7.55$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,13	0,9385	0,1103	1,7330
3	0,25	1,9151	0,4488	3,5544
4	0,38	2,9300	1,0263	5,4561
5	0,50	3,9830	1,8529	7,4363
6	0,63	5,0742	2,9387	9,4950
7	0,75	6,2036	4,2937	11,6322
8	0,88	7,3711	5,9276	13,8355
9	1,00	8,5769	7,8438	16,0001
10	1,13	9,8208	10,0270	17,9670
11	1,25	11,1029	12,4503	19,7264
12	1,38	12,4232	15,0914	21,3260
13	1,50	13,7817	17,9323	22,7946
14	1,63	15,1783	20,9588	24,1607
15	1,75	16,6132	24,1595	25,4415
16	1,88	18,0862	27,5248	26,6509
17	2,00	19,5974	31,0469	27,8024
18	2,13	21,1467	34,7194	28,9046
19	2,25	22,7343	38,5372	29,9802
20	2,38	24,3600	42,5073	31,2680
21	2,50	26,0239	46,6895	33,2216

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,05	0,0888	3,5524
3	0,10	0,3551	7,0952
4	0,15	0,7982	10,6286
5	0,20	1,4178	14,1524
6	0,25	2,2133	17,6667
7	0,30	3,1843	21,1714
8	0,35	4,3303	24,6667
9	0,40	5,6508	28,1524
10	0,45	7,1454	31,6286
11	0,50	8,8135	35,0953

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,23	-0,4170	-3,5622
3	0,45	-1,5379	-6,2566
4	0,68	-3,1674	-8,0831
5	0,90	-5,1102	-9,0418
6	1,13	-7,1711	-9,1327
7	1,35	-9,1548	-8,3557

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
<p>IG51-02-E-CV-CL-IR1C-05-001</p> <p>Relazione di calcolo muro di sostegno</p>	
<p>Foglio 71 di 72</p>	

8	1,57	-10,8661	-6,7109
9	1,80	-12,1096	-4,1982
10	2,02	-12,6945	-0,9219
11	2,25	-12,5078	2,6139

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	91,6784	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	82,6992	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	39,5698	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,50	[m]	Y = -1,55	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	47,85	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	0,00	[°]		
Incremento sismico della spinta	14,2132	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,50	[m]	Y = -0,18	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	0,00	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	142,8167	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,40	[m]	Y = -0,95	[m]
Inerzia del muro	2,9837	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	5,7127	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	104,2168	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	263,1141	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	180,0821	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	564,5485	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	263,1141	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	104,2168	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,19	[m]
Risultante in fondazione	283,0021	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	39,61	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	49,6719	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1880,4650	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,30	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1,0921	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,5340	[kg/cmq]

Fattori per il calcolo della capacità portante

N _c = 31.61	N' _c = 31.61
N _q = 17.81	N' _q = 17.81
N _γ = 13.71	N' _γ = 13.71

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.13
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.34
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	7.15
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.45

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 2

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]
 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 [kg/cmq]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36
 Numero di strisce 25

Cerchio critico
 Coordinate del centro X[m]= -0,31 Y[m]= 2,82
 Raggio del cerchio R[m]= 6,55
 Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -4,16
 Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,19
 Larghezza della striscia dx[m]= 0,41
 Coefficiente di sicurezza C= 1.45
 Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α(°)	Wsinα	b/cosα	φ	c	u
1	2030.97	75.39	1965.26	1.64	35.00	0.000	0.000
2	2826.52	64.06	2541.79	0.95	35.00	0.000	0.000
3	3217.70	56.63	2687.33	0.75	35.00	0.000	0.000
4	3461.76	50.50	2671.17	0.65	35.00	0.000	0.000
5	3615.89	45.09	2560.96	0.59	35.00	0.000	0.000
6	3705.59	40.16	2389.99	0.54	35.00	0.000	0.000
7	3745.01	35.57	2178.59	0.51	35.00	0.000	0.000
8	3742.96	31.23	1940.81	0.48	35.00	0.000	0.000
9	3715.74	27.09	1691.89	0.46	34.41	0.000	0.000
10	3746.79	23.09	1469.30	0.45	28.00	0.000	0.000
11	3643.49	19.21	1198.62	0.44	28.00	0.000	0.000
12	3515.12	15.42	934.35	0.43	28.00	0.000	0.000
13	3363.19	11.69	681.54	0.42	28.00	0.000	0.000
14	3217.73	8.02	448.83	0.42	28.00	0.000	0.000

15	3398.08	4.38	259.38	0.41	28.00	0.000	0.000
16	2896.14	0.75	38.15	0.41	28.00	0.000	0.000
17	1118.27	-2.87	-55.90	0.41	28.00	0.000	0.000
18	978.50	-6.50	-110.71	0.42	28.00	0.000	0.000
19	929.91	-10.15	-163.94	0.42	28.00	0.000	0.000
20	859.32	-13.85	-205.77	0.43	28.00	0.000	0.000
21	765.77	-17.62	-231.74	0.43	28.00	0.000	0.000
22	647.94	-21.46	-237.02	0.44	28.00	0.000	0.000
23	502.93	-25.40	-215.74	0.46	31.60	0.000	0.000
24	322.33	-29.48	-158.64	0.48	35.00	0.000	0.000
25	107.08	-33.74	-59.47	0.50	35.00	0.000	0.000

 $\Sigma W_i = 589,1412$ [kN]

 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 237,5114$ [kN]

 $\Sigma W_i \tan \phi_i = 363,4951$ [kN]

 $\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 7.55$

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 2

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro
 Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm
 Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN
 Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,13	0,9385	0,1518	2,3909
3	0,25	1,9151	0,6119	4,8380
4	0,38	2,9300	1,3873	7,3336
5	0,50	3,9830	2,4841	9,8757
6	0,63	5,0742	3,9083	12,4645
7	0,75	6,2036	5,6659	15,0999
8	0,88	7,3711	7,7628	17,7697
9	1,00	8,5769	10,1983	20,3708
10	1,13	9,8208	12,9536	22,7462
11	1,25	11,1029	15,9985	24,8865
12	1,38	12,4232	19,3069	26,8382
13	1,50	13,7817	22,8573	28,6296
14	1,63	15,1783	26,6318	30,2886
15	1,75	16,6132	30,6152	31,8321
16	1,88	18,0862	34,7941	33,2735
17	2,00	19,5974	39,1570	34,6263
18	2,13	21,1467	43,6934	35,8987
19	2,25	22,7343	48,3943	37,1006
20	2,38	24,3600	53,2538	38,3374
21	2,50	26,0239	58,3046	40,0299

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,05	0,1151	4,5987
3	0,10	0,4592	9,1559
4	0,15	1,0300	13,6717
5	0,20	1,8257	18,1460
6	0,25	2,8440	22,5789
7	0,30	4,0829	26,9703
8	0,35	5,5403	31,3202
9	0,40	7,2142	35,6286
10	0,45	9,1025	39,8956
11	0,50	11,2030	44,1211

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 2

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,23	-0,8970	-7,7205
3	0,45	-3,3606	-13,9264
4	0,68	-7,0502	-18,6175
5	0,90	-11,6249	-21,7940
6	1,13	-16,7439	-23,4558
7	1,35	-22,0664	-23,6029
8	1,57	-27,2517	-22,2354
9	1,80	-31,9588	-19,3531
10	2,02	-35,8513	-15,0603
11	2,25	-38,6707	-9,8612