

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

**NUOVA VIABILITA' DI ACCESSO AL CANTIERE Pk 1+180
Opere d'arte minori: muro di sottoscampa L=27.12m (progr. km 0+197.66)
Relazione di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 0 5 0 5	0 0 3	B

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	Errevia <i>Er</i>	23/05/2012	Ing. F. Colla <i>F</i>	29/05/2012	E. Pagani <i>Ep</i>	31/05/2012	Ing. E. Ghislandi
B00	Revisione a seguito istruttoria IG5101E11SNV0500001A del 31.07.2012	Errevia <i>Er</i>	11/10/2012	Ing. F. Colla <i>F</i>	12/10/2012	E. Pagani <i>Ep</i>	15/10/2012	

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV05-05-003-B00.DOC
-----------	---

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 3 di 93

INDICE

1.	PREMESSE	5
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
2.1.	Normativa sismica	6
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
4.	CRITERI GENERALI VERIFICHE STRUTTURALI	9
5.	PARAMETRI GEOTECNICI	10
6.	ANALISI DEI CARICHI	11
6.1.	Peso proprio e permanenti	11
6.2.	Carichi accidentali	11
6.3.	Azione sismica	11
6.3.1.	Coefficiente di intensità sismica (C)	11
6.3.2.	Accelerazione al suolo	11
6.3.3.	Accelerazione massima al suolo in fase di costruzione e/o per opere provvisionali	12
6.3.4.	Coefficiente di protezione sismica (I)	12
7.	CRITERI DI CALCOLO MURI	13
7.1.	Calcolo della spinta sul muro	13
7.2.	Verifica a ribaltamento	14
7.3.	Verifica a scorrimento	15
7.4.	Verifica al carico limite	16
7.5.	Verifica alla stabilità globale	17
8.	ANALISI MURO H = 6.0M	19
8.1.	Caratteristiche terreno	20
8.2.	Condizioni di carico	22
8.3.	Descrizione combinazioni di carico	22
8.4.	Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati	23
8.5.	Analisi della spinta e verifiche	24
8.6.	Combinazione n° 1	25
8.7.	Combinazione n° 2	30
8.8.	Combinazione n° 3	35
8.9.	Inviluppi sollecitazioni e verifiche	40
8.1.	Diagrammi	42
9.	ANALISI MURO H = 4.0 M	43
9.1.	Caratteristiche terreno	44
9.2.	Condizioni di carico	45
9.3.	Descrizione combinazioni di carico	45
9.4.	Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati	46
9.5.	Analisi della spinta e verifiche	47
9.6.	Combinazione n° 1	48
9.7.	Combinazione n° 2	53
9.8.	Combinazione n° 3	58
9.9.	Inviluppi sollecitazioni e verifiche	63
9.10.	Diagrammi	65
10.	ANALISI PARATIA PROVVISORIALE	66
10.1.	Metodo di analisi	66
10.2.	Geometria paratia	73
10.3.	Caratteristiche terreno	75
10.4.	Caratteristiche tiranti di ancoraggio	77
10.5.	Fasi di scavo	78

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 4 di 93</p>

10.6. Impostazioni di progetto.....	78
10.7. Caratteristiche materiali utilizzati	79
10.8. Risultati tiranti	80
10.9. Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia	81
10.10. Spostamenti massimi e minimi della paratia	82
10.11. Stabilità globale	83
10.12. Descrizione armatura micropali e caratteristiche sezione	85
10.13. Verifiche armatura paratia	85
10.14. Verifica sezione cordoli.....	91
10.15. Diagrammi.....	92

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 5 di 93

1. PREMESSE

La seguente relazione di calcolo è relativa all'analisi e al dimensionamento del muro di sottoscarpa alla progr. km 0+197.66 opera prevista nell'ambito degli interventi della nuova viabilità per l'accesso al cantiere operativo al km 1+180.

Il muro in oggetto è gettato in opera con paramento verticale inclinato verso l'esterno con pendenza pari al 10% e spessore in testa di 30 cm, lo sviluppo totale è pari a 27.12 m suddiviso in due conci.

Il primo concio ha altezza variabile da $\cong 6.0$ m a 4.0 m con fondazione di larghezza pari a 5.90 m e spessore pari a 1.0 m, il secondo concio ha altezza variabile da 4.0m a 2.60m con fondazione di larghezza pari a 4.0m e spessore pari a 0.80m. La mensola di fondazione ha inclinazione pari al 10% al fine di aumentare la resistenza allo scivolamento verso valle.

Il paramento esterno è rivestito da un pannello prefabbricato in pietrame avente funzione di cassero.

Per la realizzazione del muro è necessario realizzare preventivamente una paratia provvisoria tirantata avente le seguenti caratteristiche:

$H_{\text{scavo-massimo}}$ (m)	H_{paratia} (m)	Ordini di tiranti
6.50	11.00	1

Si utilizzano tiranti attivi a 3 trefoli da 0.6" posti ad interasse di 1.98 m.

Di seguito si riportano le analisi per le sezioni tipologiche dei muri condotte sulle altezze pari a 6.0 m e a 4.0 m e per la paratia provvisoria.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 6 di 93

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Per il dimensionamento delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- D.M. LL.PP. 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”;
- Circolare LL.PP. 15 Ottobre 1996 n° 252 AA.GG./S.T.C. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 9.01.1996”;
- Legge 2 Febbraio 1974 n.64: “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 -”Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Circolare LL.PP. 10 Aprile, n° 65/AA.GG. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica» di cui al D.M. 16.01.1996”;
- D.M. 16 Gennaio 1996 - “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”;
- Circolare LL.PP. 4 Luglio 1996 n° 156 AA.GG./S.T.C. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16.01.1996”;
- Decreto Ministero dei LL.PP. 4 Maggio 1990 – “Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali”;
- Circolare Ministero LL.PP. N. 34233 (Pers. Cons. Sup. Serv. Tecnico Centrale, 25 febbraio 1991) – “Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali”.
- Istruzioni FF.SS. n°I/SC/PS-OM/2298 – “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo.”
- Istruzioni FF.SS. 44° - “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione l’esecuzione e il collaudo di cavalcavia e passerelle pedonali sovrastanti la sede ferroviaria”.

2.1. Normativa sismica

Nell’analisi in condizioni sismiche viene recepita la nuova normativa (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 30.03.2003) per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio nazionale. In assenza di ulteriori specificazioni da parte della Regione Liguria essendo la zona classificata di 4° categoria, le verifiche sono state eseguite secondo le norme tecniche di cui al DM 15 Gennaio 1996 e relative circolari applicative, assumendo il grado di sismicità $S=6$ e coefficiente di importanza $I = 1.0$.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 7 di 93

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per gli elementi strutturali in cemento armato è previsto l'impiego dei seguenti materiali:

MURI

Calcestruzzo per elevazione muri in c.a. C25/30 (ex cls $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$)

Classe di resistenza	C 25/30
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza Slump	S3÷S5
Diametro max aggregato	32mm
Classe contenuto cloruri	Cl 0.2

Calcestruzzo per fondazione muri in c.a. C25/30 (ex cls $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$)

Classe di resistenza	C 25/30
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza Slump	S3÷S5
Diametro max aggregato	32mm
Classe contenuto cloruri	Cl 0.4

Magrone di pulizia e livellamento

Resistenza media	$R_m \geq 15 \text{ MPa}$
Contenuto minimo di cemento	150 kg/m^3

Acciaio ordinario per armatura lenta B450C (ex Fe B 44 k)

Limite di snervamento	$f_y = 450.00$	N/mm^2
Limite di rottura	$f_t = 540.00$	N/mm^2

PARATIE PROVVISORIALI

Miscela per micropali

Miscela per iniezioni	$R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Cemento	900 kg/m^3
Rapporto A/C max in peso	0.60

Miscela per tiranti

Miscela per iniezioni	$R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Rapporto A/C max in peso	0.50
Massa volumica	$\geq 1.75 \text{ gc/m}^3$
Additivi fluidificanti	

Acciaio per tubolari micropali S275 J2 (ex Fe 430D)

Limite di snervamento minimo (sp. >3 ; $\leq 16 \text{ mm}$)	275.00 N/mm^2
Limite di snervamento minimo (sp. >16 ; $\leq 40 \text{ mm}$)	265.00 N/mm^2
Resistenza a trazione minima (sp. >3 ; $\leq 16 \text{ mm}$)	410.00 N/mm^2
Resistenza a trazione minima (sp. >16 ; $\leq 40 \text{ mm}$)	410.00 N/mm^2

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 8 di 93

Acciaio per travi di contrasto e piastre S355 J2 (ex Fe 510D)

Limite di snervamento minimo (sp. >3 ; ≤ 16 mm)	355.00 N/mm ²
Limite di snervamento minimo (sp. >16; ≤ 40 mm)	345.00 N/mm ²
Resistenza a trazione minima (sp. >3 ; ≤ 16 mm)	470.00 N/mm ²
Resistenza a trazione minima (sp. >16; ≤ 40 mm)	470.00 N/mm ²

Acciaio per trefoli tiranti

Trefoli da 0.6":

Diametro nominale	D_p	=	15.20 mm ²
Area del trefolo	A_p	=	139 mm ²
Carico caratteristico di rottura a trazione	f_{ptk}	=	1860 N/mm ²
Carico minimo allo 1% di allungamento	$f_{p(1)k}$	=	1670 N/mm ²
Tensione ammissibile	σ_{amm}	=	1080 N/mm ²

Resistenze di calcolo dei materiali

Nelle analisi svolte si assumono le resistenze dei materiali secondo quanto prescritto dal D.M. 16 Gennaio 1996.

Calcestruzzo per muri in c.a. C25/30 (ex cls $R_{ck} \geq 30$ N/mm²)

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	=	30.00 N/mm ²
Compressione ammissibile	σ_c	=	$6 + [(R_{ck} - 15)/4] = 9.75$ N/mm ²
Trazione ammissibile senza armatura a taglio	τ_{c0}	=	$0.4 + [(R_{ck} - 15)/75] = 0.60$ N/mm ²
Trazione ammissibile con armatura a taglio	τ_{c1}	=	$1.4 + [(R_{ck} - 15)/35] = 1.83$ N/mm ²

Acciaio ordinario per armatura lenta B450C (ex Fe B44k)

Tensione di trazione ammissibile	σ_s	=	255.00 N/mm ²
----------------------------------	------------	---	--------------------------

Acciaio per tubolari micropali S275 J2 (ex Fe 430D)

Tensione ammissibile (sp. < 40 mm)	σ_s	=	190.00 N/mm ²
------------------------------------	------------	---	--------------------------

Acciaio per travi di contrasto e piastre S355 J2 (ex Fe 510D)

Tensione ammissibile (sp. < 40 mm)	σ_s	=	240.00 N/mm ²
------------------------------------	------------	---	--------------------------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 9 di 93

4. CRITERI GENERALI VERIFICHE STRUTTURALI

Criterio di verifica

Il dimensionamento e la verifica delle strutture in calcestruzzo armato viene condotto con riferimento al criterio delle tensioni ammissibili considerando le caratteristiche di resistenza dei materiali di norma secondo le classi definite negli elaborati grafici di progetto.

Verifiche a fessurazione

Nelle combinazioni di esercizio in cui il tasso di lavoro delle armature sia inferiore a 160 N/mm^2 , le verifiche di fessurazione vengono omesse.

Copriferro

Si adotta un copriferro minimo netto (inclusi collegamenti e staffe) di 4cm.

Interasse tra le barre

Si pone:

Interasse massimo = 30cm

Diametro massimo = 30mm

Percentuale minima di armatura per i muri

Si considera di armare le sezioni (in fondazione ed in elevazione) con percentuali di armatura non inferiori a 0.15% in zona tesa in accordo a quanto previsto dalla norma per strutture inflesse.

Verifica dell'armatura dei micropali e delle travi di ripartizione

In accordo con quanto previsto dalla normativa si verifica che in tutte le sezioni valga la seguente espressione:

$$\sigma_{id} \leq \sigma_a$$

dove:

$$\sigma_{id} = \text{tensione "ideale"} = \pm \sqrt{(\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)}$$

σ_a = tensione ammissibile

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 10 di 93

5. PARAMETRI GEOTECNICI

L'inquadramento sia generale che specifico delle problematiche geologico-geotecniche è riportato nella relazione tecnica specifica, individuata dall'elaborato A301 00 D CV RB NV0500 001A.

Di seguito sono riportati i parametri geotecnici utilizzati per il calcolo delle spinte delle terre e per la verifiche delle tensioni scaricate in fondazione. Tali valori di peso specifico, angolo di attrito, coesione e modulo elastico sono ricavati dalla relazione e dalle sezioni geotecniche.

Stratigrafia	Spessor e (m)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E (MPa)
Rilevato (a tergo dei muri)	-	20.00	35°	0.0	-
Copertura detritica	1.0-3.0	19.00	27°	15	10-25
Argiloscisti alterate	4.00	23-24	22°- 24°	70-100	40-60
Substrato di argiloscisti	-	25-27	24°- 25°	100-150	70-90

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 11 di 93

6. ANALISI DEI CARICHI

Di seguito sono riportati i carichi agenti sulle strutture di cui si esegue il predimensionamento.

6.1. Peso proprio e permanenti

I carichi dovuti al peso proprio sono calcolati considerando i seguenti pesi specifici dei materiali:

calcestruzzo: $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$;

terreno di riporto (rilevato stradale): $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$.

6.2. Carichi accidentali

Il carico accidentale posto sulla carreggiata stradale a tergo del muro è stato considerato pari a 20 kN/m^2 .

6.3. Azione sismica

6.3.1. Coefficiente di intensità sismica (C)

La normativa di riferimento (DM 16/01/96) prevede che il coefficiente di intensità sismica (C) venga calcolato sulla base della correlazione di cui al seguito (con "S" si indica il *grado di sismicità* del comune):

$$C = \text{coefficiente di intensità sismica} = (S - 2) / 100$$

Si considera:

$$S = 6$$

$$C = 0.04$$

6.3.2. Accelerazione al suolo

L'accelerazione di riferimento al suolo viene pertanto definita in funzione del tipo di terreno e del grado di sismicità come di seguito indicato:

$$a_{\max} = C \cdot \varepsilon$$

Dove:

C = coefficiente di intensità sismica

ε = coefficiente di fondazione (pari a 1.0)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 12 di 93

6.3.3. Accelerazione massima al suolo in fase di costruzione e/o per opere provvisionali

Per le verifiche in fase di costruzione la norma non fornisce specifiche indicazioni. Si può comunque fare riferimento alle indicazioni di cui all'Eurocodice 8 (UNI-ENV 1998-2:1998 – Appendice A) considerando:

t_{r0} = periodo di ritorno di riferimento dell'evento sismico = 475 anni

p = probabilità di superamento in fase di costruzione ≤ 0.05

t_c = durata della vita attesa della paratia = 3 anni

$t_{rc} = t_c/p$ = periodo di ritorno rapportato alla vita attesa della paratia = 60 anni

$a_{gc}/a_g = (t_{rc}/t_{r0})^k \cong 0.5$

a_{gc} = accelerazione relativa ad un periodo di ritorno t_{rc}

a_g = accelerazione relativa ad un periodo di ritorno t_{r0}

k = esponente funzione della sismicità della regione $\cong 0.30$

si ottiene:

$$a_{gc}/a_g = a_{\max-c}/a_{\max} \cong 0.5$$

6.3.4. Coefficiente di protezione sismica (I)

Nel caso delle verifiche degli elementi strutturali, la Norma impone che l'azione sismica venga moltiplicata per un fattore di importanza (I) variabile in funzione del tipo di opera come indicato in tabella.

Opera	γ_I
Edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi, etc)	1.4
Opere che presentano particolare rischio per le caratteristiche d'uso	1.2
Altri edifici	1.0

Coefficiente di protezione sismica

Si considera $I = 1.0$.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 13 di 93

7. CRITERI DI CALCOLO MURI

7.1. 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 ρ 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 ε 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 parete pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

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

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

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 14 di 93

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.

7.2. 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 η_r .

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

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

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

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 δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 15 di 93

7.3. 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 η_s

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

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

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 δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

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, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 16 di 93

7.4. 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 η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

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

La Normativa Italiana (D.M. 1988) impone che $\eta_q \geq 2.0$
 Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ 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 vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

7.5. Verifica alla stabilità globale

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

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

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:

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

dove il termine m è espresso da

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

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 ϕ_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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 18 di 93</p>

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

8. ANALISI MURO H = 6.0m

Geometria muro e fondazione

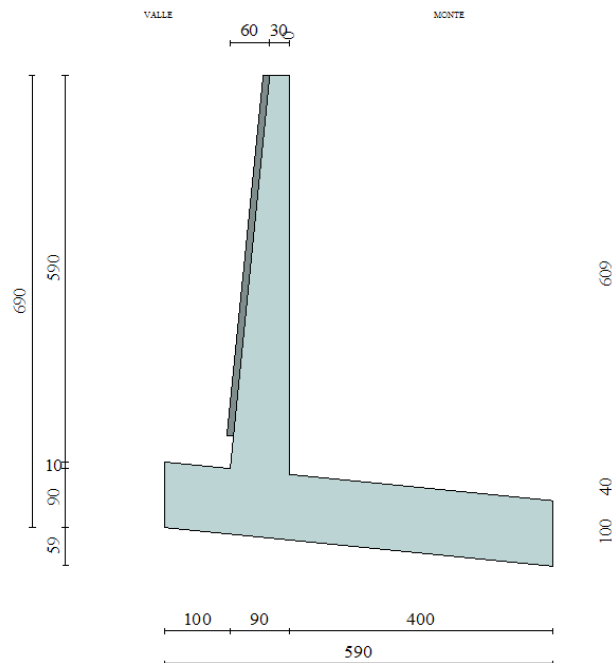
Descrizione

Altezza del paramento	6.00 [m]
Spessore in sommità	0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.90 [m]
Inclinazione paramento esterno	5.71 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	20.00 [m]
Spessore rivestimento	0.10 [m]
Peso sp. rivestimento	20.0000 [kN/mc]

Muro a mensola in c.a.

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1.00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	4.00 [m]
Lunghezza totale fondazione	5.90 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	5.71 [°]
Spessore fondazione	1.00 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 20 di 93

8.1. Caratteristiche terreno

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	8.30	4.50	30.30
3	13.30	4.50	0.00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 14.00 [°]
 Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.50 [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 [N/mm²]
 c_a Adesione terra-muro espressa in [N/mm²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c _a
Rilevato	20.00	21.00	35.00	0.00	0.0000	0.0000
Detriti	19.00	20.00	27.00	18.00	0.0150	0.0000
Roccia alterata	23.00	24.00	23.00	15.33	0.0850	0.0000
Substrato	24.00	25.00	24.00	16.00	0.1250	0.0000



Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	6.50	0.00	5.83	0.00	Rilevato
2	2.00	0.00	3.10	0.00	Detriti
3	4.00	0.00	0.00	0.00	Roccia alterata
4	4.00	0.00	0.00	0.00	Substrato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 22 di 93

8.2. 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 (Acc)

D Profilo $X_i=8.80$ $X_f=12.80$ $Q_i=20.0000$ $Q_f=20.0000$

8.3. 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

Combinazione n° 2 - Tensioni ammissibili

	C
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00
Acc	1.00

Combinazione n° 3 - Tensioni ammissibili - Sismica

	C
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Tensioni ammissibili

Calcolo della portanza metodo di Meyerhof

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc

8.4. Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	Combinazione sismica
CS_{SCO}	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_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	TAMM - [1]	--	1.83	3.25	3.09	1.62
2	TAMM - [2]	--	1.69	3.11	2.82	1.57
3	TAMM - [3]	Orizzontale	1.47	2.48	2.17	1.52

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 24 di 93

8.5. 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 Meyerhof
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	20.00 [m]

Peso muro	233.9045 [kN]
Baricentro del muro	X=0.53 Y=-5.49

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = 4.00	Y = -7.49
Punto superiore superficie di spinta	X = 4.00	Y = 1.99
Altezza della superficie di spinta	9.48 [m]	
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	0.00 [°]	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 25 di 93

8.6. Combinazione n° 1

Valore della spinta statica	329.2308	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	328.4735	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	22.3172	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 4.00	[m]	Y = -4.08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	3.89	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	50.06	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 4.00	[m]	Y = -7.49	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	570.7560	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2.12	[m]	Y = -2.70	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	328.4735	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	844.1539	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	926.8193	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	3011.6627	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	872.6463	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	242.8559	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.58	[m]
Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Risultante in fondazione	905.8094	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	15.55	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	502.3000	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	2694.3463	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.23289	[N/mm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.06145	[N/mm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.68$	$i_q = 0.68$	$i_\gamma = 0.18$
Fattori profondità	$d_c = 1.06$	$d_q = 1.03$	$d_\gamma = 1.03$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 17.42 \qquad N'_q = 9.32 \qquad N'_\gamma = 1.76$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.25
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.83
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.09
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.62

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 [N/mm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm²]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.30 Y[m]= 5.83

Raggio del cerchio R[m]= 14.33

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7.42

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 12.98

Larghezza della striscia dx[m]= 0.82

Coefficiente di sicurezza C= 1.62

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	29.3061	77.20	28.5775	0.0361	35.00	0.000	0.000
2	73.5158	65.92	67.1188	0.0196	35.00	0.000	0.000
3	99.4045	58.77	85.0022	0.0154	35.00	0.000	0.000
4	119.2017	52.92	95.0966	0.0133	35.00	0.000	0.000
5	135.3548	47.78	100.2463	0.0119	35.00	0.000	0.000
6	148.6665	43.12	101.6193	0.0110	35.00	0.000	0.000
7	154.5953	38.79	96.8541	0.0103	35.00	0.000	0.000
8	156.7784	34.71	89.2836	0.0097	35.00	0.000	0.000
9	157.5441	30.83	80.7404	0.0093	31.46	0.007	0.000
10	156.8351	27.10	71.4399	0.0090	27.00	0.015	0.000
11	155.0373	23.49	61.7875	0.0087	27.00	0.015	0.000
12	156.0580	19.97	53.3036	0.0085	27.00	0.015	0.000
13	152.5060	16.53	43.4026	0.0083	27.00	0.015	0.000
14	148.1023	13.16	33.7129	0.0082	27.00	0.015	0.000
15	142.9139	9.83	24.3912	0.0081	27.00	0.015	0.000
16	142.2633	6.53	16.1769	0.0081	27.00	0.015	0.000
17	121.3513	3.25	6.8869	0.0080	27.00	0.015	0.000
18	49.7342	-0.01	-0.0103	0.0080	27.00	0.015	0.000
19	42.8137	-3.28	-2.4475	0.0080	27.00	0.015	0.000
20	37.3857	-6.55	-4.2666	0.0081	27.00	0.015	0.000
21	32.2391	-9.85	-5.5156	0.0081	27.00	0.015	0.000
22	26.3390	-13.18	-6.0065	0.0082	27.00	0.015	0.000
23	19.7586	-16.56	-5.6314	0.0083	27.00	0.015	0.000
24	12.4197	-20.00	-4.2473	0.0085	27.00	0.015	0.000
25	4.2095	-23.51	-1.6794	0.0087	27.00	0.015	0.000

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 27 di 93</p>

$$\Sigma W_i = 2474.3339 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1025.8356 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 1451.6910 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.83$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 28 di 93

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	0.61	4.9324	0.1310	1.0050
2	1.52	14.0302	2.7711	6.7542
3	2.44	25.1672	13.4498	19.8242
4	3.35	38.3433	38.9031	40.3046
5	4.26	53.5585	85.7805	68.1549
6	5.18	70.8128	160.7179	103.3703
7	6.09	90.1062	270.2706	145.5378

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	0.10	1.0228	20.3966
2	0.40	16.0793	79.4447
3	0.70	48.3683	135.2802
4	1.00	96.9261	187.9031

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	0.40	-10.1525	-49.6225
2	1.60	-140.5536	-157.4536
3	2.80	-363.4193	-203.7301
4	4.00	-605.3048	-190.5559

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 29 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 1

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.61	100, 36	31.42	10.05	0.019	0.004	-0.109	-0.252
2	1.52	100, 45	31.42	10.05	0.113	0.020	0.824	-1.377
3	2.44	100, 54	31.42	10.05	0.362	0.047	6.397	-4.231
4	3.35	100, 63	31.42	10.05	0.770	0.081	18.355	-8.993
5	4.26	100, 73	31.42	10.05	1.321	0.119	37.297	-15.598
6	5.18	100, 82	31.42	10.05	2.000	0.158	63.522	-23.914
7	6.09	100, 91	31.42	10.05	2.793	0.199	97.156	-33.797

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 1

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.10	100, 100	45.24	22.62	0.008	0.025	0.507	-0.089
2	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.127	0.098	7.963	-1.392
3	0.70	100, 100	45.24	22.62	0.383	0.168	23.955	-4.187
4	1.00	100, 100	45.24	22.62	0.768	0.233	48.004	-8.389

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.071	-0.061	-0.870	2.594
2	1.60	100, 100	45.24	22.62	0.980	-0.195	-12.039	35.916
3	2.80	100, 100	55.29	22.62	2.370	-0.252	-29.644	76.639
4	4.00	100, 100	55.29	22.62	3.947	-0.236	-49.374	127.648

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 30 di 93

8.7. Combinazione n° 2

Valore della spinta statica	351.8489	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	350.9934	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	24.5201	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 4.00	[m]	Y = -4.13	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	4.00	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48.44	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 4.00	[m]	Y = -7.49	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	570.7560	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2.12	[m]	Y = -2.70	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	350.9934	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	846.3568	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	972.2226	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	3024.6602	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	877.0789	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	265.0450	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.62	[m]
Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Risultante in fondazione	916.2512	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16.81	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	547.8472	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	2469.4450	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.24141	[N/mm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.05443	[N/mm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.66$	$i_q = 0.66$	$i_\gamma = 0.14$
Fattori profondità	$d_c = 1.06$	$d_q = 1.03$	$d_\gamma = 1.03$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 16.83 \qquad N'_q = 9.00 \qquad N'_\gamma = 1.39$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.11
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.69
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.82
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.57

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 [N/mm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm²]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.30 Y[m]= 5.83

Raggio del cerchio R[m]= 14.33

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7.42

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 12.98

Larghezza della striscia dx[m]= 0.82

Coefficiente di sicurezza C= 1.57

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	41.9644	77.20	40.9210	0.0361	35.00	0.000	0.000
2	89.8377	65.92	82.0204	0.0196	35.00	0.000	0.000
3	115.7263	58.77	98.9593	0.0154	35.00	0.000	0.000
4	135.5236	52.92	108.1178	0.0133	35.00	0.000	0.000
5	151.6766	47.78	112.3345	0.0119	35.00	0.000	0.000
6	150.7209	43.12	103.0235	0.0110	35.00	0.000	0.000
7	154.5953	38.79	96.8541	0.0103	35.00	0.000	0.000
8	156.7784	34.71	89.2836	0.0097	35.00	0.000	0.000
9	157.5441	30.83	80.7404	0.0093	31.46	0.007	0.000
10	156.8351	27.10	71.4399	0.0090	27.00	0.015	0.000
11	155.0373	23.49	61.7875	0.0087	27.00	0.015	0.000
12	156.0580	19.97	53.3036	0.0085	27.00	0.015	0.000
13	152.5060	16.53	43.4026	0.0083	27.00	0.015	0.000
14	148.1023	13.16	33.7129	0.0082	27.00	0.015	0.000
15	142.9139	9.83	24.3912	0.0081	27.00	0.015	0.000
16	142.2633	6.53	16.1769	0.0081	27.00	0.015	0.000
17	121.3513	3.25	6.8869	0.0080	27.00	0.015	0.000
18	49.7342	-0.01	-0.0103	0.0080	27.00	0.015	0.000
19	42.8137	-3.28	-2.4475	0.0080	27.00	0.015	0.000
20	37.3857	-6.55	-4.2666	0.0081	27.00	0.015	0.000
21	32.2391	-9.85	-5.5156	0.0081	27.00	0.015	0.000
22	26.3390	-13.18	-6.0065	0.0082	27.00	0.015	0.000
23	19.7586	-16.56	-5.6314	0.0083	27.00	0.015	0.000
24	12.4197	-20.00	-4.2473	0.0085	27.00	0.015	0.000
25	4.2095	-23.51	-1.6794	0.0087	27.00	0.015	0.000

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 32 di 93</p>

$$\Sigma W_i = 2554.3339 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1093.5515 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 1507.7076 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.83$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 33 di 93

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	0.61	4.9324	0.1310	1.0050
2	1.52	14.0302	2.7711	6.7542
3	2.44	25.1672	13.4498	19.8242
4	3.35	38.3433	38.9031	40.3046
5	4.26	53.5585	85.7805	68.1549
6	5.18	70.8128	160.7179	103.3703
7	6.09	90.1062	270.2706	145.5378

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	0.10	1.0650	21.2355
2	0.40	16.7328	82.6421
3	0.70	50.3053	140.5990
4	1.00	100.7473	195.1062

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	0.40	-10.6864	-52.2219
2	1.60	-147.7474	-165.3216
3	2.80	-381.3187	-213.0725
4	4.00	-633.4026	-197.5783

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 34 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 2

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.61	100, 36	31.42	10.05	0.019	0.004	-0.109	-0.252
2	1.52	100, 45	31.42	10.05	0.113	0.020	0.824	-1.377
3	2.44	100, 54	31.42	10.05	0.362	0.047	6.397	-4.231
4	3.35	100, 63	31.42	10.05	0.770	0.081	18.355	-8.993
5	4.26	100, 73	31.42	10.05	1.321	0.119	37.297	-15.598
6	5.18	100, 82	31.42	10.05	2.000	0.158	63.522	-23.914
7	6.09	100, 91	31.42	10.05	2.793	0.199	97.156	-33.797

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 2

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.10	100, 100	45.24	22.62	0.008	0.026	0.527	-0.092
2	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.133	0.102	8.287	-1.448
3	0.70	100, 100	45.24	22.62	0.399	0.174	24.914	-4.354
4	1.00	100, 100	45.24	22.62	0.798	0.242	49.896	-8.720

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.075	-0.065	-0.915	2.731
2	1.60	100, 100	45.24	22.62	1.030	-0.205	-12.656	37.754
3	2.80	100, 100	55.29	22.62	2.487	-0.264	-31.104	80.413
4	4.00	100, 100	55.29	22.62	4.130	-0.245	-51.666	133.573

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 35 di 93

8.8. Combinazione n° 3

Valore della spinta statica	329.2308	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	328.4735	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	22.3172	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 4.00	[m]	Y = -4.08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	3.89	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	50.06	[°]		
Incremento sismico della spinta	31.3186	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 4.00	[m]	Y = -1.17	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	48.37	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 4.00	[m]	Y = -7.49	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	570.7560	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2.12	[m]	Y = -2.70	[m]
Inerzia del muro	9.3562	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	22.8302	[kN]		

Resultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	392.5935	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	846.2768	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	1217.1559	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	3024.1882	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	881.1383	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	306.4466	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.91	[m]
Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Risultante in fondazione	932.9063	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19.18	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	805.2873	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1915.4421	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	5.93	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.28603	[N/mm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.01118	[N/mm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.62$	$i_q = 0.62$	$i_\gamma = 0.08$
Fattori profondità	$d_c = 1.06$	$d_q = 1.03$	$d_\gamma = 1.03$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 15.77 \qquad N'_q = 8.43 \qquad N'_\gamma = 0.82$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.48
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.47
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.17
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.52

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 3

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 [N/mm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm²]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.30 Y[m]= 5.83

Raggio del cerchio R[m]= 14.33

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7.42

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 12.98

Larghezza della striscia dx[m]= 0.82

Coefficiente di sicurezza C= 1.52

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	29.3061	77.20	28.5775	0.0361	35.00	0.000	0.000
2	73.5158	65.92	67.1188	0.0196	35.00	0.000	0.000
3	99.4045	58.77	85.0022	0.0154	35.00	0.000	0.000
4	119.2017	52.92	95.0966	0.0133	35.00	0.000	0.000
5	135.3548	47.78	100.2463	0.0119	35.00	0.000	0.000
6	148.6665	43.12	101.6193	0.0110	35.00	0.000	0.000
7	154.5953	38.79	96.8541	0.0103	35.00	0.000	0.000
8	156.7784	34.71	89.2836	0.0097	35.00	0.000	0.000
9	157.5441	30.83	80.7404	0.0093	31.46	0.007	0.000
10	156.8351	27.10	71.4399	0.0090	27.00	0.015	0.000
11	155.0373	23.49	61.7875	0.0087	27.00	0.015	0.000
12	156.0580	19.97	53.3036	0.0085	27.00	0.015	0.000
13	152.5060	16.53	43.4026	0.0083	27.00	0.015	0.000
14	148.1023	13.16	33.7129	0.0082	27.00	0.015	0.000
15	142.9139	9.83	24.3912	0.0081	27.00	0.015	0.000
16	142.2633	6.53	16.1769	0.0081	27.00	0.015	0.000
17	121.3513	3.25	6.8869	0.0080	27.00	0.015	0.000
18	49.7342	-0.01	-0.0103	0.0080	27.00	0.015	0.000
19	42.8137	-3.28	-2.4475	0.0080	27.00	0.015	0.000
20	37.3857	-6.55	-4.2666	0.0081	27.00	0.015	0.000
21	32.2391	-9.85	-5.5156	0.0081	27.00	0.015	0.000
22	26.3390	-13.18	-6.0065	0.0082	27.00	0.015	0.000
23	19.7586	-16.56	-5.6314	0.0083	27.00	0.015	0.000
24	12.4197	-20.00	-4.2473	0.0085	27.00	0.015	0.000
25	4.2095	-23.51	-1.6794	0.0087	27.00	0.015	0.000

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 37 di 93</p>

$$\Sigma W_i = 2474.3339 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1025.8356 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 1451.6910 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.83$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 38 di 93

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 3

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	0.61	4.9324	1.4165	5.1633
2	1.52	14.0302	10.4432	16.4359
3	2.44	25.1672	32.1630	34.1730
4	3.35	38.3433	72.5296	58.4638
5	4.26	53.5585	137.4098	89.2680
6	5.18	70.8128	232.6572	126.5808
7	6.09	90.1062	364.0445	169.9891

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 3

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	0.10	1.2856	25.6229
2	0.40	20.1435	99.2982
3	0.70	60.3855	168.1834
4	1.00	120.5745	232.2786

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 3

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	0.40	-13.9875	-68.3303
2	1.60	-192.9400	-215.4580
3	2.80	-496.3689	-275.7910
4	4.00	-820.5413	-251.4331

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 39 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 3

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.61	100, 36	31.42	10.05	0.084	0.020	1.009	-0.890
2	1.52	100, 45	31.42	10.05	0.382	0.048	7.452	-4.086
3	2.44	100, 54	31.42	10.05	0.825	0.081	19.817	-9.114
4	3.35	100, 63	31.42	10.05	1.398	0.118	38.644	-15.871
5	4.26	100, 73	31.42	10.05	2.082	0.155	64.109	-24.184
6	5.18	100, 82	31.42	10.05	2.864	0.194	96.280	-33.894
7	6.09	100, 91	31.42	10.05	3.733	0.233	135.155	-44.864

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 3

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.10	100, 100	45.24	22.62	0.010	0.032	0.637	-0.111
2	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.160	0.123	9.976	-1.744
3	0.70	100, 100	45.24	22.62	0.479	0.208	29.907	-5.227
4	1.00	100, 100	45.24	22.62	0.956	0.288	59.716	-10.436

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.098	-0.085	-1.198	3.574
2	1.60	100, 100	45.24	22.62	1.346	-0.267	-16.527	49.302
3	2.80	100, 100	55.29	22.62	3.237	-0.342	-40.488	104.675
4	4.00	100, 100	55.29	22.62	5.351	-0.311	-66.931	173.038

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 40 di 93

8.9. Involuppi sollecitazioni e verifiche

Involuppo Sollecitazioni paramento

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	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.61	4.9324	4.9324	0.1310	1.4165	1.0050	5.1633
2	1.52	14.0302	14.0302	2.7711	10.4432	6.7542	16.4359
3	2.44	25.1672	25.1672	13.4498	32.1630	19.8242	34.1730
4	3.35	38.3433	38.3433	38.9031	72.5296	40.3046	58.4638
5	4.26	53.5585	53.5585	85.7805	137.4098	68.1549	89.2680
6	5.18	70.8128	70.8128	160.7179	232.6572	103.3703	126.5808
7	6.09	90.1062	90.1062	270.2706	364.0445	145.5378	169.9891

Involuppo Sollecitazioni fondazione di valle

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	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.10	1.0228	1.2856	20.3966	25.6229
2	0.40	16.0793	20.1435	79.4447	99.2982
3	0.70	48.3683	60.3855	135.2802	168.1834
4	1.00	96.9261	120.5745	187.9031	232.2786

Involuppo Sollecitazioni fondazione di monte

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	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.40	-13.9875	-10.1525	-68.3303	-49.6225
2	1.60	-192.9400	-140.5536	-215.4580	-157.4536
3	2.80	-496.3689	-363.4193	-275.7910	-203.7301
4	4.00	-820.5413	-605.3048	-251.4331	-190.5559

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 41 di 93

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

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

B base della sezione espressa in [cm]
H altezza della sezione espressa in [cm]
 A_{fs} area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
 A_{fi} area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
 σ_c tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
 τ_c tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
 σ_{fs} tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
 σ_{fi} tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A_{fs}	A_{fi}	σ_c	τ_c	σ_{fs}	σ_{fi}
1	0.61	100, 36	31.42	10.05	0.084	0.020	1.009	-0.890
2	1.52	100, 45	31.42	10.05	0.382	0.048	7.452	-4.086
3	2.44	100, 54	31.42	10.05	0.825	0.081	19.817	-9.114
4	3.35	100, 63	31.42	10.05	1.398	0.118	38.644	-15.871
5	4.26	100, 73	31.42	10.05	2.082	0.155	64.109	-24.184
6	5.18	100, 82	31.42	10.05	2.864	0.194	96.280	-33.894
7	6.09	100, 91	31.42	10.05	3.733	0.233	135.155	-44.864

Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

Simbologia adottata

B base della sezione espressa in [cm]
H altezza della sezione espressa in [cm]
 A_{fi} area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
 A_{fs} area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
 σ_c tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
 τ_c tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
 σ_{fi} tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
 σ_{fs} tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A_{fs}	A_{fi}	σ_c	τ_c	σ_{fi}	σ_{fs}
1	0.10	100, 100	45.24	22.62	0.010	0.032	0.637	-0.111
2	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.160	0.123	9.976	-1.744
3	0.70	100, 100	45.24	22.62	0.479	0.208	29.907	-5.227
4	1.00	100, 100	45.24	22.62	0.956	0.288	59.716	-10.436

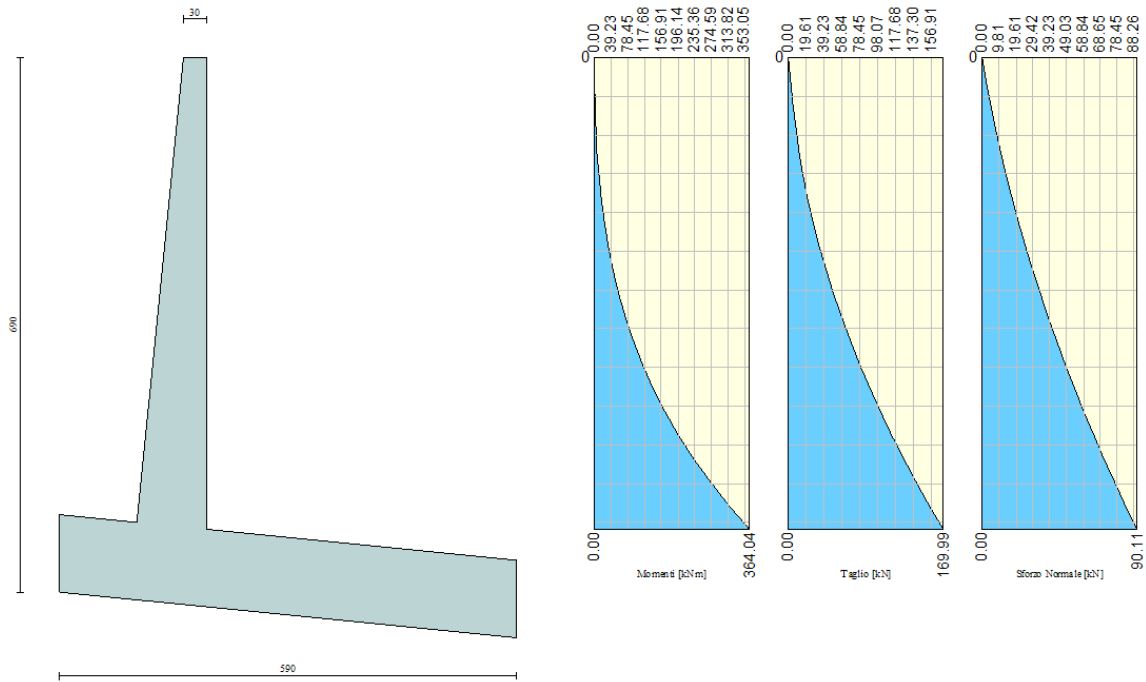
Fondazione di monte

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

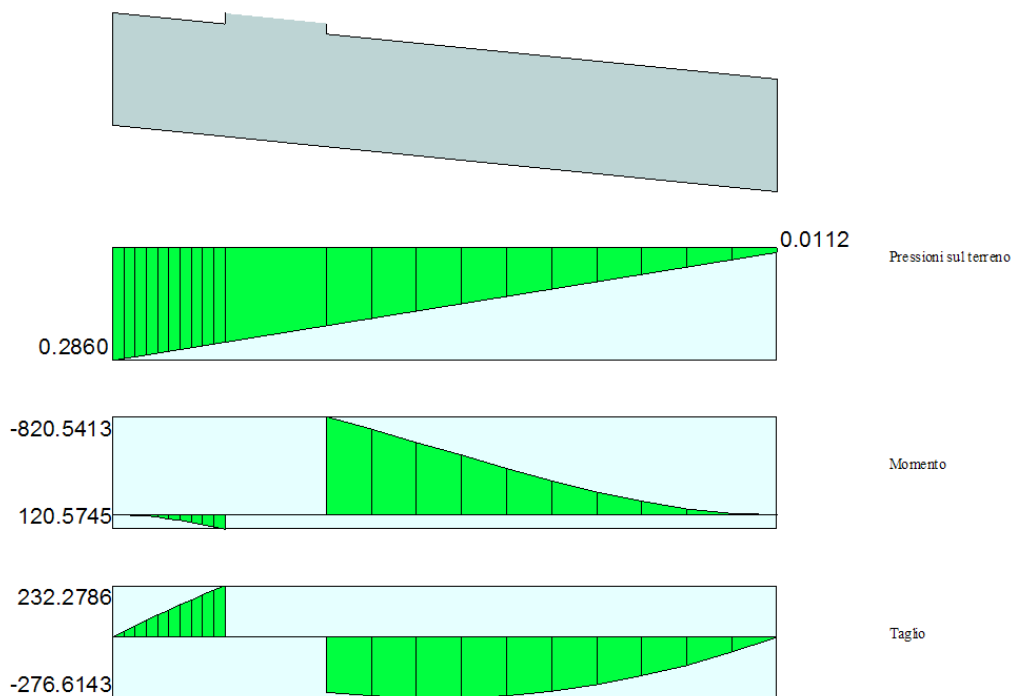
Nr.	X	B, H	A_{fs}	A_{fi}	σ_c	τ_c	σ_{fi}	σ_{fs}
1	0.40	100, 100	45.24	22.62	0.098	-0.085	-1.198	3.574
2	1.60	100, 100	45.24	22.62	1.346	-0.267	-16.527	49.302
3	2.80	100, 100	55.29	22.62	3.237	-0.342	-40.488	104.675
4	4.00	100, 100	55.29	22.62	5.351	-0.311	-66.931	173.038

8.1. Diagrammi

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni massime.



Sollecitazioni sul paramento – Comb. 3



Sollecitazioni sulla fondazione – Comb. 3

9. ANALISI MURO H = 4.0 m

Geometria muro e fondazione

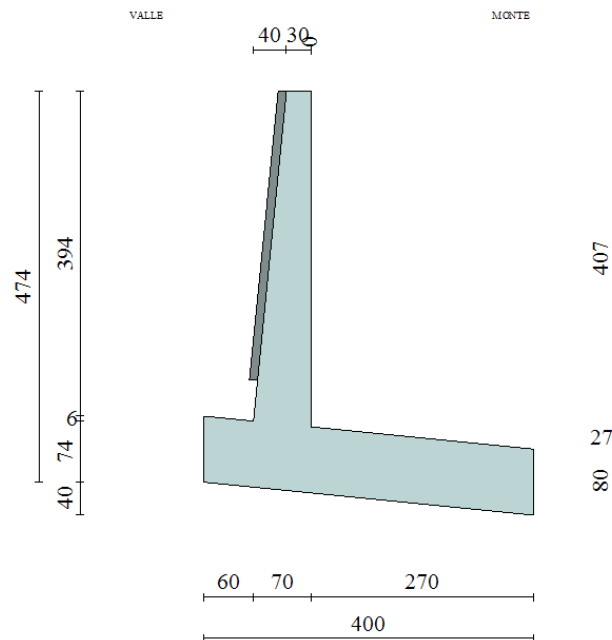
Descrizione

Altezza del paramento	4.00 [m]
Spessore in sommità	0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.70 [m]
Inclinazione paramento esterno	5.71 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	20.00 [m]
Spessore rivestimento	0.10 [m]
Peso sp. rivestimento	20.0000 [kN/mc]

Muro a mensola in c.a.

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.60 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2.70 [m]
Lunghezza totale fondazione	4.00 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	5.71 [°]
Spessore fondazione	0.80 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 44 di 93

9.1. Caratteristiche terreno

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	8.30	4.50	30.30
3	13.30	4.50	0.00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 15.00 [°]
 Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.50 [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 [N/mm ²]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [N/mm ²]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Rilevato	20.00	21.00	35.00	0.00	0.0000	0.0000
Detriti	19.00	20.00	27.00	18.00	0.0150	0.0000
Roccia alterata	23.00	24.00	23.00	15.33	0.0800	0.0000
Substrato	24.00	25.00	24.00	16.00	0.1200	0.0000

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	4.40	0.00	5.83	0.00	Rilevato
2	2.00	0.00	2.70	0.00	Detriti
3	4.00	0.00	0.00	0.00	Roccia alterata
4	5.00	0.00	0.00	0.00	Substrato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 45 di 93

9.2. 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 (Acc)

D Profilo $X_i=8.80$ $X_f=12.80$ $Q_i=20.0000$ $Q_f=20.0000$

9.3. 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

Combinazione n° 2 - Tensioni ammissibili

	C
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00
Acc	1.00

Combinazione n° 3 - Tensioni ammissibili - Sismica

	C
Peso proprio	1.00
Spinta terreno	1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Tensioni ammissibili

Calcolo della portanza metodo di Meyerhof

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 46 di 93

9.4. Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
CS_{SCO}	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_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	TAMM - [1]	--	1.75	3.13	3.79	1.71
2	TAMM - [2]	--	1.68	3.11	3.66	1.71
3	TAMM - [3]	Orizzontale	1.38	2.31	2.59	1.61

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 47 di 93

9.5. 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 Meyerhof
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	20.00 [m]

Peso muro	128.0891 [kN]
Baricentro del muro	X=0.33 Y=-3.67

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = 2.70	Y = -5.14
Punto superiore superficie di spinta	X = 2.70	Y = 1.23
Altezza della superficie di spinta	6.37 [m]	
Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)	0.00 [°]	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 48 di 93

9.6. Combinazione n° 1

Valore della spinta statica	163.4569	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	163.0324	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	11.7728	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2.70	[m]	Y = -2.88	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	4.13	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	46.25	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2.70	[m]	Y = -5.14	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	252.8416	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1.43	[m]	Y = -1.85	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	163.0324	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	404.2235	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	303.8458	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	952.3386	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	418.4385	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	122.0059	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.46	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4.02	[m]
Risultante in fondazione	435.8626	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16.26	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	192.5573	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1585.9296	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	4.02	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.17558	[N/mm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.03260	[N/mm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.67$	$i_q = 0.67$	$i_\gamma = 0.16$
Fattori profondità	$d_c = 1.09$	$d_q = 1.04$	$d_\gamma = 1.04$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 17.48 \qquad N'_q = 9.25 \qquad N'_\gamma = 1.56$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.13
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.75
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.79
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.71

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 [N/mm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm²]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.79 Y[m]= 4.02

Raggio del cerchio R[m]= 10.20

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6.46

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 8.40

Larghezza della striscia dx[m]= 0.59

Coefficiente di sicurezza C= 1.71

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	27.5549	78.82	27.0318	0.0301	35.00	0.000	0.000
2	49.3112	66.06	45.0679	0.0144	35.00	0.000	0.000
3	58.9520	58.72	50.3832	0.0112	35.00	0.000	0.000
4	65.2820	52.74	51.9604	0.0096	35.00	0.000	0.000
5	69.6540	47.51	51.3638	0.0086	35.00	0.000	0.000
6	72.6485	42.76	49.3266	0.0079	35.00	0.000	0.000
7	74.5822	38.36	46.2844	0.0074	35.00	0.000	0.000
8	75.6173	34.21	42.5132	0.0070	30.80	0.008	0.000
9	75.7545	30.26	38.1701	0.0067	27.00	0.015	0.000
10	76.1495	26.46	33.9268	0.0065	27.00	0.015	0.000
11	76.4255	22.78	29.5918	0.0063	27.00	0.015	0.000
12	74.8936	19.20	24.6306	0.0062	27.00	0.015	0.000
13	72.8939	15.70	19.7218	0.0061	27.00	0.015	0.000
14	72.0269	12.25	15.2868	0.0060	27.00	0.015	0.000
15	77.5845	8.85	11.9421	0.0059	27.00	0.015	0.000
16	34.8597	5.49	3.3330	0.0059	27.00	0.015	0.000
17	29.0618	2.14	1.0840	0.0058	27.00	0.015	0.000
18	26.4200	-1.20	-0.5552	0.0058	27.00	0.015	0.000
19	24.1894	-4.55	-1.9188	0.0058	27.00	0.015	0.000
20	21.5631	-7.91	-2.9679	0.0059	27.00	0.015	0.000
21	18.5339	-11.30	-3.6318	0.0059	27.00	0.015	0.000
22	15.1460	-14.73	-3.8512	0.0060	27.00	0.015	0.000
23	11.3611	-18.22	-3.5513	0.0061	27.00	0.015	0.000
24	7.1182	-21.77	-2.6402	0.0063	27.00	0.015	0.000
25	2.3848	-25.42	-1.0237	0.0065	27.00	0.015	0.000

GENERAL CONTRACTOR



Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66
Relazione di calcolo

ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc

Foglio
50 di 93

$$\Sigma W_i = 1209.9685 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 521.4781 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 702.7586 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.94$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 51 di 93

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	0.41	3.1959	0.0290	0.4489
2	1.02	8.7487	0.7390	2.8069
3	1.63	15.2123	3.4464	7.8470
4	2.24	22.5866	10.0824	16.3385
5	2.85	30.8716	22.6752	28.1420
6	3.46	40.0674	43.2119	43.2401
7	4.07	50.1740	73.6712	61.5706

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	0.06	0.2701	8.9783
2	0.24	4.2480	34.9900
3	0.42	12.7834	59.6170
4	0.60	25.6271	82.8593

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	0.27	-3.4231	-24.7558
2	1.08	-46.9857	-77.4003
3	1.89	-120.0544	-97.6104
4	2.70	-196.7780	-87.4899

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 52 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 1

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.41	100, 34	15.71	7.70	0.010	0.002	-0.107	-0.150
2	1.02	100, 40	15.71	7.70	0.046	0.009	-0.001	-0.610
3	1.63	100, 46	15.71	7.70	0.147	0.022	1.892	-1.822
4	2.24	100, 52	15.71	7.70	0.348	0.040	8.307	-4.101
5	2.85	100, 58	15.71	7.70	0.643	0.061	20.112	-7.455
6	3.46	100, 65	15.71	7.70	1.027	0.084	37.736	-11.896
7	4.07	100, 71	15.71	7.70	1.495	0.109	61.463	-17.398

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 1

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.06	100, 80	22.62	22.62	0.003	0.014	0.169	-0.039
2	0.24	100, 80	22.62	22.62	0.053	0.054	2.660	-0.613
3	0.42	100, 80	22.62	22.62	0.159	0.092	8.006	-1.844
4	0.60	100, 80	22.62	22.62	0.320	0.128	16.049	-3.697

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.27	100, 80	22.62	22.62	0.043	-0.038	-0.494	2.144
2	1.08	100, 80	22.62	22.62	0.586	-0.120	-6.779	29.425
3	1.89	100, 80	22.62	22.62	1.497	-0.151	-17.321	75.185
4	2.70	100, 80	22.62	22.62	2.454	-0.135	-28.391	123.233

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 53 di 93

9.7. Combinazione n° 2

Valore della spinta statica	169.3621	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	168.8732	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	12.8594	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2.70	[m]	Y = -2.92	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	4.35	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	44.06	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2.70	[m]	Y = -5.14	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	252.8416	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1.43	[m]	Y = -1.85	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	168.8732	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	405.3101	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	307.1423	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	956.6851	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	420.1008	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	127.7096	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.46	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4.02	[m]
Risultante in fondazione	439.0837	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16.91	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	194.8486	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1535.7442	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	4.02	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.17685	[N/mm ²]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.03216	[N/mm ²]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.66$	$i_q = 0.66$	$i_\gamma = 0.14$
Fattori profondità	$d_c = 1.09$	$d_q = 1.04$	$d_\gamma = 1.04$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 17.17$	$N'_q = 9.09$	$N'_\gamma = 1.38$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.11
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.68
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.66
Coefficiente di sicurezza a stabilità globale	1.71

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 [N/mm²]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm²]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.79 Y[m]= 4.02

Raggio del cerchio R[m]= 10.20

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6.46

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 8.40

Larghezza della striscia dx[m]= 0.59

Coefficiente di sicurezza C= 1.71

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	ϕ	c	u
1	27.5549	78.82	27.0318	0.0301	35.00	0.000	0.000
2	49.3112	66.06	45.0679	0.0144	35.00	0.000	0.000
3	58.9520	58.72	50.3832	0.0112	35.00	0.000	0.000
4	65.2820	52.74	51.9604	0.0096	35.00	0.000	0.000
5	69.6540	47.51	51.3638	0.0086	35.00	0.000	0.000
6	72.6485	42.76	49.3266	0.0079	35.00	0.000	0.000
7	74.5822	38.36	46.2844	0.0074	35.00	0.000	0.000
8	75.6173	34.21	42.5132	0.0070	30.80	0.008	0.000
9	75.7545	30.26	38.1701	0.0067	27.00	0.015	0.000
10	76.1495	26.46	33.9268	0.0065	27.00	0.015	0.000
11	76.4255	22.78	29.5918	0.0063	27.00	0.015	0.000
12	74.8936	19.20	24.6306	0.0062	27.00	0.015	0.000
13	72.8939	15.70	19.7218	0.0061	27.00	0.015	0.000
14	72.0269	12.25	15.2868	0.0060	27.00	0.015	0.000
15	77.5845	8.85	11.9421	0.0059	27.00	0.015	0.000
16	34.8597	5.49	3.3330	0.0059	27.00	0.015	0.000
17	29.0618	2.14	1.0840	0.0058	27.00	0.015	0.000
18	26.4200	-1.20	-0.5552	0.0058	27.00	0.015	0.000
19	24.1894	-4.55	-1.9188	0.0058	27.00	0.015	0.000
20	21.5631	-7.91	-2.9679	0.0059	27.00	0.015	0.000
21	18.5339	-11.30	-3.6318	0.0059	27.00	0.015	0.000
22	15.1460	-14.73	-3.8512	0.0060	27.00	0.015	0.000
23	11.3611	-18.22	-3.5513	0.0061	27.00	0.015	0.000
24	7.1182	-21.77	-2.6402	0.0063	27.00	0.015	0.000
25	2.3848	-25.42	-1.0237	0.0065	27.00	0.015	0.000

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p>	<p>Foglio 55 di 93</p>

$$\Sigma W_i = 1209.9685 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 521.4781 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 702.7586 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.94$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 56 di 93

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	0.41	3.1959	0.0290	0.4489
2	1.02	8.7487	0.7390	2.8069
3	1.63	15.2123	3.4464	7.8470
4	2.24	22.5866	10.0824	16.3385
5	2.85	30.8716	22.6752	28.1420
6	3.46	40.0674	43.2119	43.2401
7	4.07	50.1740	73.6712	61.5706

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	0.06	0.2724	9.0534
2	0.24	4.2835	35.2812
3	0.42	12.8897	60.1105
4	0.60	25.8393	83.5413

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	0.27	-3.4377	-24.8584
2	1.08	-47.1514	-77.6244
3	1.89	-120.3566	-97.6770
4	2.70	-196.9762	-87.1199

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 57 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 2

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.41	100, 34	15.71	7.70	0.010	0.002	-0.107	-0.150
2	1.02	100, 40	15.71	7.70	0.046	0.009	-0.001	-0.610
3	1.63	100, 46	15.71	7.70	0.147	0.022	1.892	-1.822
4	2.24	100, 52	15.71	7.70	0.348	0.040	8.307	-4.101
5	2.85	100, 58	15.71	7.70	0.643	0.061	20.112	-7.455
6	3.46	100, 65	15.71	7.70	1.027	0.084	37.736	-11.896
7	4.07	100, 71	15.71	7.70	1.495	0.109	61.463	-17.398

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 2

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.06	100, 80	22.62	22.62	0.003	0.014	0.171	-0.039
2	0.24	100, 80	22.62	22.62	0.053	0.055	2.683	-0.618
3	0.42	100, 80	22.62	22.62	0.161	0.093	8.072	-1.860
4	0.60	100, 80	22.62	22.62	0.322	0.129	16.182	-3.728

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.27	100, 80	22.62	22.62	0.043	-0.038	-0.496	2.153
2	1.08	100, 80	22.62	22.62	0.588	-0.120	-6.803	29.529
3	1.89	100, 80	22.62	22.62	1.501	-0.151	-17.365	75.374
4	2.70	100, 80	22.62	22.62	2.457	-0.135	-28.420	123.357

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 58 di 93

9.8. Combinazione n° 3

Valore della spinta statica	163.4569	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	163.0324	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	11.7728	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2.70	[m]	Y = -2.88	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	4.13	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	46.25	[°]		
Incremento sismico della spinta	19.3928	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2.70	[m]	Y = -0.89	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	44.62	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2.70	[m]	Y = -5.14	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	252.8416	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1.43	[m]	Y = -1.85	[m]
Inerzia del muro	5.1236	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	10.1137	[kN]		
<u>Risultanti</u>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	198.0728	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	405.6202	[kN]		
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	413.9832	[kNm]		
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	957.9255	[kNm]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	423.3146	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	156.7335	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.73	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	3.85	[m]		
Risultante in fondazione	451.3985	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	20.32	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	306.9085	[kNm]		
Carico ultimo della fondazione	1096.3730	[kN]		
<u>Tensioni sul terreno</u>				
Lunghezza fondazione reagente	3.85	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.21963	[N/mm ²]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.00000	[N/mm ²]		

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0.60$	$i_q = 0.60$	$i_\gamma = 0.06$
Fattori profondità	$d_c = 1.09$	$d_q = 1.04$	$d_\gamma = 1.04$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$N'_c = 15.61$	$N'_q = 8.26$	$N'_\gamma = 0.61$
----------------	---------------	--------------------

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.31
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.38
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.59

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 59 di 93

Coefficiente di sicurezza a stabilità globale

1.61

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 3

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 [N/mmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mmq]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1.79 Y[m]= 4.02

Raggio del cerchio R[m]= 10.20

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6.46

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 8.40

Larghezza della striscia dx[m]= 0.59

Coefficiente di sicurezza C= 1.61

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	27.5549	78.82	27.0318	0.0301	35.00	0.000	0.000
2	49.3112	66.06	45.0679	0.0144	35.00	0.000	0.000
3	58.9520	58.72	50.3832	0.0112	35.00	0.000	0.000
4	65.2820	52.74	51.9604	0.0096	35.00	0.000	0.000
5	69.6540	47.51	51.3638	0.0086	35.00	0.000	0.000
6	72.6485	42.76	49.3266	0.0079	35.00	0.000	0.000
7	74.5822	38.36	46.2844	0.0074	35.00	0.000	0.000
8	75.6173	34.21	42.5132	0.0070	30.80	0.008	0.000
9	75.7545	30.26	38.1701	0.0067	27.00	0.015	0.000
10	76.1495	26.46	33.9268	0.0065	27.00	0.015	0.000
11	76.4255	22.78	29.5918	0.0063	27.00	0.015	0.000
12	74.8936	19.20	24.6306	0.0062	27.00	0.015	0.000
13	72.8939	15.70	19.7218	0.0061	27.00	0.015	0.000
14	72.0269	12.25	15.2868	0.0060	27.00	0.015	0.000
15	77.5845	8.85	11.9421	0.0059	27.00	0.015	0.000
16	34.8597	5.49	3.3330	0.0059	27.00	0.015	0.000
17	29.0618	2.14	1.0840	0.0058	27.00	0.015	0.000
18	26.4200	-1.20	-0.5552	0.0058	27.00	0.015	0.000
19	24.1894	-4.55	-1.9188	0.0058	27.00	0.015	0.000
20	21.5631	-7.91	-2.9679	0.0059	27.00	0.015	0.000
21	18.5339	-11.30	-3.6318	0.0059	27.00	0.015	0.000
22	15.1460	-14.73	-3.8512	0.0060	27.00	0.015	0.000
23	11.3611	-18.22	-3.5513	0.0061	27.00	0.015	0.000
24	7.1182	-21.77	-2.6402	0.0063	27.00	0.015	0.000
25	2.3848	-25.42	-1.0237	0.0065	27.00	0.015	0.000

GENERAL CONTRACTOR



Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66
Relazione di calcolo

ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc

Foglio
60 di 93

$$\Sigma W_i = 1209.9685 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 521.4781 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 702.7586 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 9.94$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 61 di 93

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 3

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	0.41	3.1959	0.4789	2.6267
2	1.02	8.7487	3.4243	7.8772
3	1.63	15.2123	9.9958	15.3607
4	2.24	22.5866	21.8506	25.8465
5	2.85	30.8716	40.7425	39.1952
6	3.46	40.0674	68.3846	55.3894
7	4.07	50.1740	106.4815	74.3669

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 3

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	0.06	0.3486	11.5820
2	0.24	5.4668	44.9402
3	0.42	16.4022	76.2168
4	0.60	32.7800	105.4117

Sollecitazioni fondazione di monte

Combinazione n° 3

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	0.27	-4.7172	-34.5396
2	1.08	-66.1726	-109.4440
3	1.89	-169.4487	-137.8009
4	2.70	-277.2631	-121.7145

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 62 di 93

Armature e tensioni nei materiali del muro

Combinazione n° 3

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.41	100, 34	15.71	7.70	0.036	0.010	0.335	-0.429
2	1.02	100, 40	15.71	7.70	0.190	0.026	4.223	-2.062
3	1.63	100, 46	15.71	7.70	0.425	0.043	12.210	-4.619
4	2.24	100, 52	15.71	7.70	0.743	0.063	24.931	-8.156
5	2.85	100, 58	15.71	7.70	1.139	0.085	42.857	-12.683
6	3.46	100, 65	15.71	7.70	1.608	0.108	66.209	-18.158
7	4.07	100, 71	15.71	7.70	2.144	0.131	95.114	-24.530

Armature e tensioni nei materiali della fondazione

Combinazione n° 3

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.06	100, 80	22.62	22.62	0.004	0.018	0.218	-0.050
2	0.24	100, 80	22.62	22.62	0.068	0.070	3.424	-0.789
3	0.42	100, 80	22.62	22.62	0.205	0.118	10.272	-2.367
4	0.60	100, 80	22.62	22.62	0.409	0.163	20.529	-4.729

Fondazione di monte

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.27	100, 80	22.62	22.62	0.059	-0.053	-0.681	2.954
2	1.08	100, 80	22.62	22.62	0.825	-0.169	-9.547	41.441
3	1.89	100, 80	22.62	22.62	2.113	-0.213	-24.448	106.118
4	2.70	100, 80	22.62	22.62	3.458	-0.188	-40.003	173.638

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 63 di 93

9.9. Inviluppi sollecitazioni e verifiche

Inviluppo Sollecitazioni paramento

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	Mmin	Mmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.41	3.1959	3.1959	0.0290	0.4789	0.4489	2.6267
2	1.02	8.7487	8.7487	0.7390	3.4243	2.8069	7.8772
3	1.63	15.2123	15.2123	3.4464	9.9958	7.8470	15.3607
4	2.24	22.5866	22.5866	10.0824	21.8506	16.3385	25.8465
5	2.85	30.8716	30.8716	22.6752	40.7425	28.1420	39.1952
6	3.46	40.0674	40.0674	43.2119	68.3846	43.2401	55.3894
7	4.07	50.1740	50.1740	73.6712	106.4815	61.5706	74.3669

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle

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	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.06	0.2701	0.3486	8.9783	11.5820
2	0.24	4.2480	5.4668	34.9900	44.9402
3	0.42	12.7834	16.4022	59.6170	76.2168
4	0.60	25.6271	32.7800	82.8593	105.4117

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

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	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0.27	-4.7172	-3.4231	-34.5396	-24.7558
2	1.08	-66.1726	-46.9857	-109.4440	-77.4003
3	1.89	-169.4487	-120.0544	-137.8009	-97.6104
4	2.70	-277.2631	-196.7780	-121.7145	-87.1199

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 64 di 93

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

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

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0.41	100, 34	15.71	7.70	0.036	0.010	0.335	-0.429
2	1.02	100, 40	15.71	7.70	0.190	0.026	4.223	-2.062
3	1.63	100, 46	15.71	7.70	0.425	0.043	12.210	-4.619
4	2.24	100, 52	15.71	7.70	0.743	0.063	24.931	-8.156
5	2.85	100, 58	15.71	7.70	1.139	0.085	42.857	-12.683
6	3.46	100, 65	15.71	7.70	1.608	0.108	66.209	-18.158
7	4.07	100, 71	15.71	7.70	2.144	0.131	95.114	-24.530

Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

Simbologia adottata

B	base della sezione espressa in [cm]
H	altezza della sezione espressa in [cm]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mmq]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mmq]

Fondazione di valle

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

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.06	100, 80	22.62	22.62	0.004	0.018	0.218	-0.050
2	0.24	100, 80	22.62	22.62	0.068	0.070	3.424	-0.789
3	0.42	100, 80	22.62	22.62	0.205	0.118	10.272	-2.367
4	0.60	100, 80	22.62	22.62	0.409	0.163	20.529	-4.729

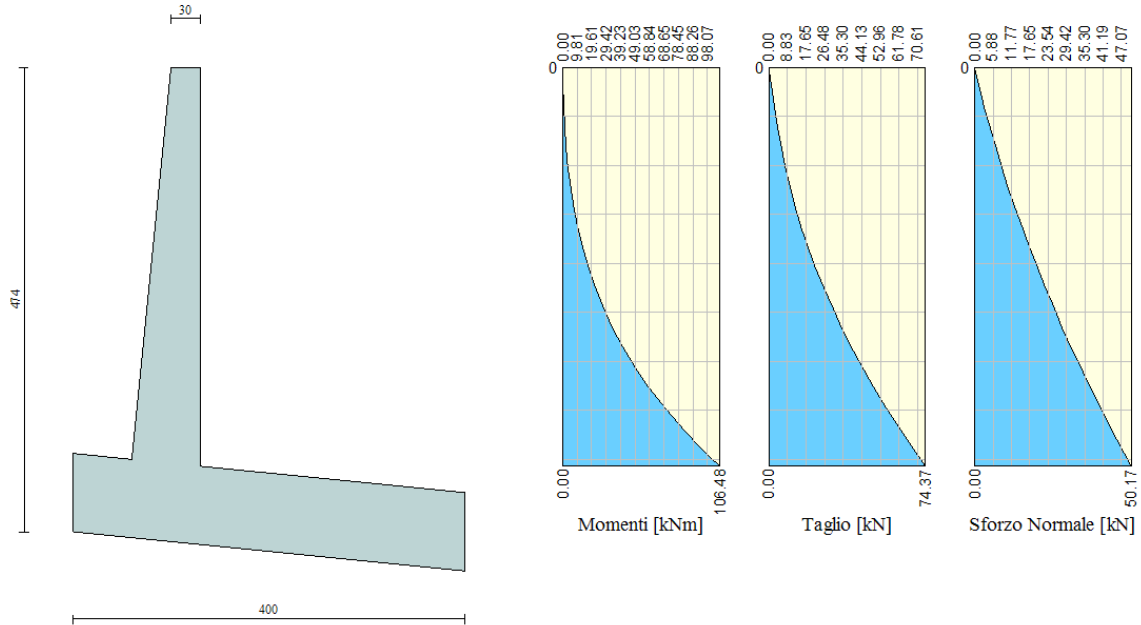
Fondazione di monte

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

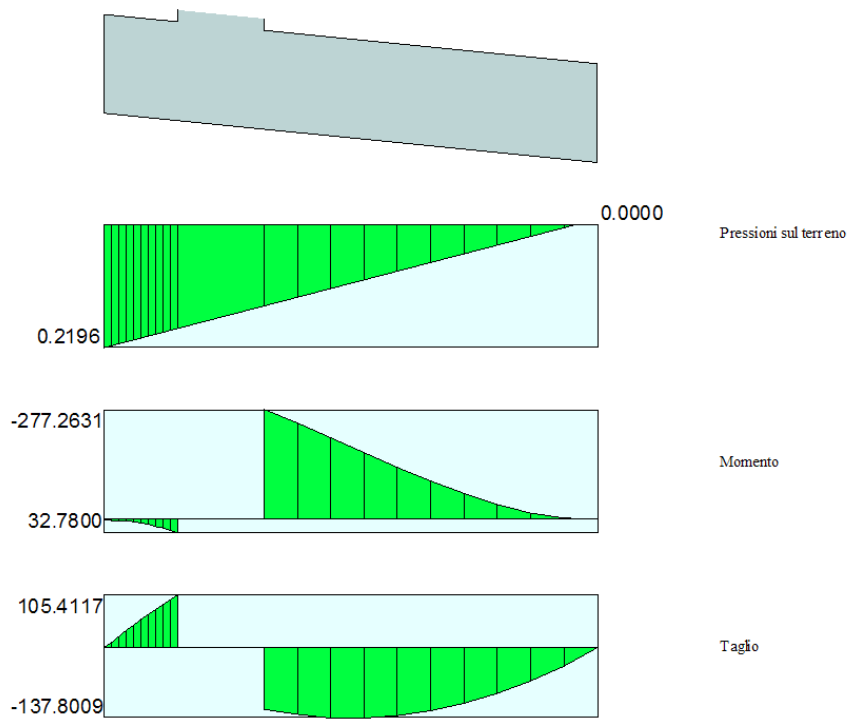
Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
1	0.27	100, 80	22.62	22.62	0.059	-0.053	-0.681	2.954
2	1.08	100, 80	22.62	22.62	0.825	-0.169	-9.547	41.441
3	1.89	100, 80	22.62	22.62	2.113	-0.213	-24.448	106.118
4	2.70	100, 80	22.62	22.62	3.458	-0.188	-40.003	173.638

9.10. Diagrammi

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni massime.



Sollecitazioni sul paramento – Comb. 3



Sollecitazioni sulla fondazione – Comb. 3

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 66 di 93

10. ANALISI PARATIA PROVVISORIALE

Si riporta di seguito l'analisi della paratia provvisoria necessaria per la realizzazione del muro di controripa.

10.1. Metodo di analisi

Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.

Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

- K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
- K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
- K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
- K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} - K_{av} \quad \text{e} \quad D_v = K_{pv} - K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione

si può agire con tre modalità :

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(\phi)$ e sulla coesione

Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

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 valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 67 di 93

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).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ 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 nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.

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

Spinta in presenza di sisma

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

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 2/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in basso).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.

I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.

La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.

Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano N lo sforzo nel tirante, δ l'angolo d'attrito tirante-terreno, c_a l'adesione tirante-terreno, γ il peso di volume del terreno, D ed L_f il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed H la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove d è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\omega = 1 - 0.075 [n \text{ trefoli} - 1]$).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare il valore τ_c ottenuto come media fra la τ_{c0} e la τ_{c1} della malta.

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco L che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β , che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo N in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 69 di 93

Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L , area A_f , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidità della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidità, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidità flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidità di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidità degli elementi della paratia (elementi a rigidità flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidità dei tiranti (solo rigidità assiale) e delle molle (rigidità assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma **PAC**). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 70 di 93

raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} . Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassetto e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).

Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 71 di 93

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidità della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verrà inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.

Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.

Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata una fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato dalle cadute di tensione.

In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc	Foglio 72 di 93

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.30.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. 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:

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

dove il termine m è espresso da

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

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e 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 ϕ_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.

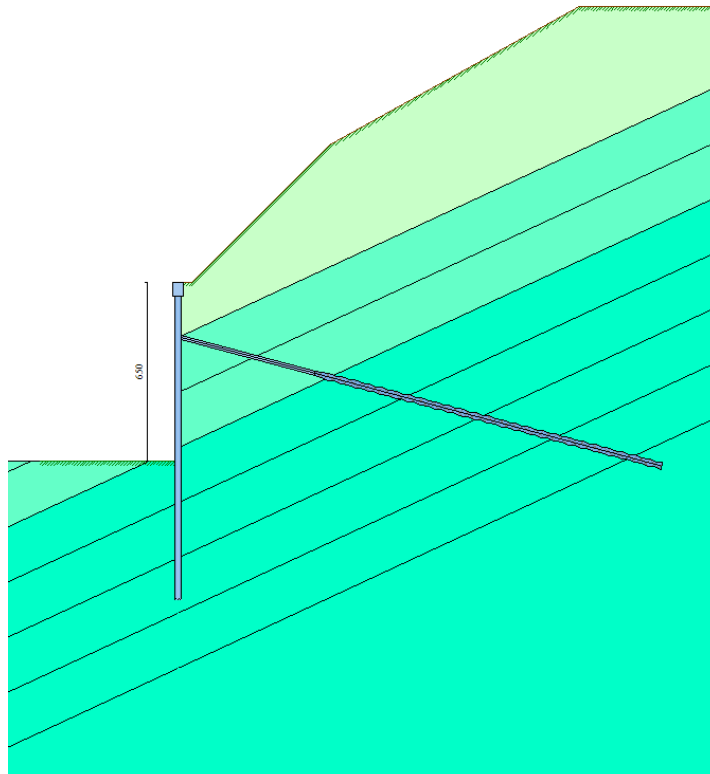
L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

10.2. Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	6.50	[m]
Profondità di infissione	5.00	[m]
Altezza totale della paratia	11.50	[m]
Lunghezza paratia	10.00	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0.33	[m]
Diametro dei micropali	25.00	[cm]
Numero totale di micropali	29	
Numero di micropali per metro lineare	2.90	
Diametro esterno del tubolare	219.10	[mm]
Spessore del tubolare	12.50	[mm]





Geometria cordoli

Simbologia adottata

n° numero d'ordine del cordolo

Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]

H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]

W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm³]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0.00	Calcestruzzo	40.00	50.00	--	--
2	2.00	Acciaio	--	--	108.60	622.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 75 di 93

10.3. Caratteristiche terreno

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, 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 [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	0.50	0.00	0.00
3	5.50	5.00	45.00
4	14.50	10.00	29.05
5	20.00	10.00	0.00

Profilo di valle - Fase n° 1

N	X	Y	A
1	-5.00	-2.50	0.00
2	0.00	-2.50	0.00

Profilo di valle - Fase n° 4

N	X	Y	A
1	-5.00	-6.50	0.00
2	0.00	-6.50	0.00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [N/mm ²]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Detriti	19.0000	20.0000	27.00	0.00	0.0000
2	Roccia alterata	23.0000	24.0000	24.00	0.00	0.0850
3	Roccia	25.0000	26.0000	25.00	0.00	0.1250



Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Simbologia adottata

C	coeff. di espansione laterale del tirante nello strato
α_1	coeff. per il calcolo della tensione tangenziale lungo il fusto del tirante espresso in [N/mm ²]
α_2	coeff. per il calcolo della tensione tangenziale lungo il fusto del tirante che moltiplica la P_{lim}
P_{lim}	pressione limite dello strato espresso in [N/mm ²]

N°	Descrizione	C	α_1	α_2	P_{lim}
1	Detriti	0.00	0.00	0.00	0.000
2	Roccia alterata	1.20	0.00	0.15	2.000
3	Roccia	1.20	0.00	0.15	2.000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	2.00	25.00	0.30	Detriti
2	2.00	25.00	3.34	Roccia alterata
3	2.00	25.00	3.95	Roccia alterata
4	2.00	25.00	5.92	Roccia
5	2.00	25.00	6.62	Roccia
6	2.00	25.00	7.32	Roccia
7	2.00	25.00	8.02	Roccia
8	4.00	0.00	9.07	Roccia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 77 di 93

10.4. Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Calcolo tiranti: VERIFICA

Per il calcolo dei tiranti è stato utilizzato il metodo di BUSTAMANTE-DOIX

Numero di file di tiranti 1

Tiranti attivi armati con trefoli

Coefficiente cadute di tensione 1.30

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N	numero d'ordine della fila
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
D	diametro della perforazione espresso in [cm]
Cesp	coeff. di espansione laterale
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
At	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
nt	numero di trefoli del tirante
T	tiro iniziale espresso in [kN]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
1	2.00	1.98	15.00	15.00	1.20	Centrati	5	18.00	13.00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T
1	1.39	3	294.00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
<p>Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc</p> <p>Foglio 78 di 93</p>

10.5. Fasi di scavo

Simbologia adottata

n°	identificativo della fase nell'elenco definito
Fase	Descrizione dell'i-esima fase
Tempo	Tempo in cui avviene la fase di scavo

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 2.50 metri	0
2	Inserimento tirante 1 (X=2.00) [Hscavo=2.50]	1
3	Tesatura tirante 1 N=29979 [Hscavo=2.50]	2
4	Scavo fino alla profondità di 6.50 metri	3
5	Cadute di tensione tirante 1 [Hscavo=6.50]	4
6	Inserimento sisma	5

10.6. Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :

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

Verifica materiali

Tensioni ammissibili

Impostazioni di analisi

Analisi per Fasi di Scavo.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica

Coefficiente di intensità sismica (percento) 2.00

Forma del diagramma di incremento sismico triangolare con vertice in basso sulla parte fuori terra Influenza sisma nella spinta attiva da monte

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 79 di 93

10.7. Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo

Peso specifico	25.00	[kN/mc]
Classe di Resistenza	C20/25	
Resistenza caratteristica a compressione R_{pk}	25.0	[N/mm ²]
Tensione di progetto a compressione σ_c	8.5	[N/mm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	0.53	[N/mm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1.67	[N/mm ²]

Acciaio

Tipo	Fe 430	
Tensione ammissibile σ_{fa}	190.0	[N/mm ²]
Tensione di snervamento f_{yk}	265.0	[N/mm ²]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	FeB44K	
Tensione ammissibile σ_{fa}	255.0	[N/mm ²]
Tensione di snervamento f_{yk}	430.0	[N/mm ²]

Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.

Tipo	Fe 510	
Tensione ammissibile σ_{fa}	240.0	[N/mm ²]
Tensione di snervamento f_{yk}	345.0	[N/mm ²]

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza	C20/25	
Resistenza caratteristica a compressione R_{pk}	25.0	[N/mm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	0.53	[N/mm ²]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1.67	[N/mm ²]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo	Acciaio tref	
Tensione di progetto σ_{fa}	1080.00	[N/mm ²]
Tensione di snervamento f_{yk}	1670.00	N/mm ²

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 80 di 93

10.8. Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L _f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
L _d	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
L _{d_f}	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione definita e lunghezza di fondazione di progetto.
A _f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cm ²]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kN]
σ _f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [N/mm ²]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Y	nt	A _f	L	L _f	L _d	L _{d_f}	FS
1	2.00	5	4.17	16.50	11.49	18.00	13.00	1.13

Fase n° 1 - - sono presenti tiranti.

Fase n° 2 - - numero di tiranti presenti nella fase sono 1.

N°	N	Rt/ml	σ _f	u
1	0.00	0.0013	0.006	1.06713

Fase n° 3 - - numero di tiranti presenti nella fase sono 1.

N°	N	Rt/ml	σ _f	u
1	294.00	147.0013	705.042	0.67394

Fase n° 4 - - numero di tiranti presenti nella fase sono 1.

N°	N	Rt/ml	σ _f	u
1	329.25	164.6248	789.567	0.88668

Fase n° 5 - - numero di tiranti presenti nella fase sono 1.

N°	N	Rt/ml	σ _f	u
1	280.86	140.4322	673.536	1.00359

Fase n° 6 - S - numero di tiranti presenti nella fase sono 1.

N°	N	Rt/ml	σ _f	u
1	291.24	145.6193	698.414	1.06621



10.9. Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
1	189.76	3.05	102.72	2.00	40.93	11.50	MAX
--	-8.80	7.90	-74.34	4.40	0.00	0.00	MIN
2	189.76	3.05	102.72	2.45	40.93	11.50	MAX
--	-8.80	7.90	-74.34	4.40	0.00	0.00	MIN
3	143.78	2.80	127.66	2.00	78.97	11.50	MAX
--	-6.80	7.70	-55.96	4.15	0.00	0.00	MIN
4	124.83	2.00	118.25	2.00	83.53	11.50	MAX
--	-2.29	9.15	-40.77	2.00	0.00	0.00	MIN
5	120.29	2.00	111.97	2.00	77.27	11.50	MAX
--	-1.60	9.50	-23.67	2.00	0.00	0.00	MIN
6	124.86	2.00	115.19	2.00	78.62	11.50	MAX
--	-1.26	9.75	-25.46	2.00	0.00	0.00	MIN



10.10. Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	U	Y _U	V	Y _V	
1	2.7307	0.00	0.0059	0.00	MAX
--	-0.0681	5.60	0.0000	0.00	MIN
2	2.7307	0.00	0.0059	0.00	MAX
--	-0.0681	5.60	0.0000	0.00	MIN
3	1.9461	0.00	0.0149	0.00	MAX
--	-0.0529	5.35	0.0000	0.00	MIN
4	2.0912	0.00	0.0160	0.00	MAX
--	-0.0191	7.00	0.0000	0.00	MIN
5	2.2547	0.00	0.0145	0.00	MAX
--	-0.0155	7.45	0.0000	0.00	MIN
6	2.3606	0.00	0.0148	0.00	MAX
--	-0.0141	7.70	0.0000	0.00	MIN

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 83 di 93

10.11. Stabilità globale

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X _C ; Y _C)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X _V ; Y _V)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X _M ; Y _M)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

n°	(X _C , Y _C)	R	(X _V , Y _V)	(X _M , Y _M)	FS
1	(0.00; 10.35)	21.85(-17.68; -2.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	4.30
2	(0.00; 10.35)	21.85(-17.68; -2.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	4.30
3	(0.00; 10.35)	21.85(-17.68; -2.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	4.33
4	(0.00; 10.35)	21.85(-13.93; -6.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	3.28
5	(0.00; 10.35)	21.85(-13.93; -6.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	3.28
6	(0.00; 10.35)	21.85(-13.93; -6.49)	(21.85; 10.00)	(21.85; 10.00)	3.17

Fase n° 6 - S

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)	
Le strisce sono numerate da monte verso valle	
N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [N/mm ²]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mm ²]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsinα	L	φ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	4.2051	-38.31	-265.84	0.97	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
2	12.5830	-35.80	-750.60	0.94	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
3	21.1554	-33.37	-1186.52	0.91	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
4	30.6606	-31.00	-1610.29	0.89	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
5	39.4529	-28.69	-1931.37	0.87	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
6	47.4600	-26.43	-2154.11	0.85	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
7	54.0062	-24.21	-2258.66	0.84	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
8	55.9075	-22.10	-2145.17	0.77	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
9	61.2408	-20.09	-2145.47	0.76	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
10	66.1431	-18.11	-2096.52	0.75	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
11	70.5580	-16.15	-2001.04	0.74	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)



12	74.5009	-14.21	-1864.28	0.74	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
13	77.9847	-12.28	-1691.26	0.73	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
14	81.0201	-10.37	-1486.77	0.73	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
15	83.6160	-8.47	-1255.42	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
16	85.7798	-6.58	-1001.70	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
17	87.5169	-4.69	-729.99	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
18	88.7720	-2.81	-444.28	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
19	89.2499	-0.94	-148.89	0.71	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
20	189.5378	0.92	311.77	0.70	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
21	197.5908	2.77	975.05	0.71	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
22	207.6166	4.63	1707.53	0.71	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
23	217.2374	6.48	2501.33	0.71	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
24	226.4496	8.35	3352.37	0.71	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
25	235.2478	10.22	4256.55	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
26	243.6254	12.11	5209.62	0.72	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
27	251.4927	14.00	6205.22	0.73	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
28	256.1604	15.92	7163.13	0.73	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
29	259.0239	17.85	8095.37	0.74	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
30	261.4224	19.80	9030.39	0.75	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
31	263.3393	21.78	9962.99	0.76	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
32	264.7552	23.78	10887.62	0.77	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
33	265.6476	25.82	11798.32	0.78	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
34	265.9897	27.89	12688.67	0.80	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
35	265.7505	30.01	13551.64	0.81	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
36	264.8930	32.16	14379.51	0.83	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
37	263.3734	34.38	15163.64	0.85	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
38	261.1391	36.65	15894.32	0.88	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
39	258.1263	38.99	16560.41	0.91	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
40	253.7767	41.41	17116.57	0.94	25.00	0.1250	0.0000	(20.78; 13.80)
41	244.5667	43.93	17300.37	0.98	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
42	233.4193	46.55	17280.23	1.02	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
43	221.0299	49.31	17090.81	1.08	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
44	207.1787	52.24	16702.16	1.15	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
45	191.5566	55.38	16073.97	1.24	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
46	173.7034	58.79	15148.70	1.36	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
47	152.8753	62.58	13837.17	1.53	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
48	127.7046	66.95	11982.04	1.80	25.00	0.1250	0.0000	(0.00; 0.00)
49	95.3399	72.36	9264.53	2.33	24.50	0.1050	0.0000	(0.00; 0.00)
50	37.1728	82.21	3755.57	5.20	25.50	0.0425	0.0000	(0.00; 0.00)

Resistenza a taglio paratia= 0.0000 [kN]

$\Sigma W_i = 7988.5557$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 2923.2066$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 3724.5124$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 11.14$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc Foglio 85 di 93

10.12. Descrizione armatura micropali e caratteristiche sezione

Diametro del micropalo	25.00 cm
Area della sezione trasversale	490.87 cmq
Diametro esterno del tubolare	219.10 mm
Spessore del tubolare	12.50 mm
Area della sezione tubolare	81.13 cmq
Inerzia della sezione tubolare	4344.58 cm ⁴

10.13. Verifiche armatura paratia

Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ_f	tensione normale nell'armatura, espressa in [N/mm ²]
τ_f	tensione tangenziale nell'armatura, espressa in [N/mm ²]
σ_{id}	tensione ideale ($\sigma_{id} = (\sigma_f^2 + 3 \tau_f^2)^{0.5}$) nella sezione del tubolare, espressa in [N/mm ²]

n°	σ_f	Y(σ_f)	τ_f	Y(τ_f)	σ_{id}	Y(σ_{id})
1	165.457	3.05	8.732	2.00165.457	3.05	3.05
2	165.459	3.05	8.732	2.45165.459	3.05	3.05
3	127.056	2.80	10.852	2.00127.056	2.80	2.80
4	110.656	2.00	10.051	2.00110.819	2.00	2.00
5	106.436	2.00	9.518	2.00106.493	2.00	2.00
6	110.466	2.00	9.792	2.00110.530	2.00	2.00

Verifica armatura paratia (Inviluppo)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione, espressa in [m]
σ_{id}	tensione ideale nell'acciaio, espressa in [N/mm ²]
σ_f	tensione normale in [N/mm ²]
τ_f	tensione tangenziale in [N/mm ²]

Y	σ_{id}	n°	σ_f	n°	τ_f	n°
0.00	0.000	2	0.000	1	0.000	2
0.05	0.033	6	0.012	6	0.018	6
0.10	0.072	6	0.034	6	0.037	6
0.15	0.394	6	0.107	6	0.219	6
0.20	1.307	6	0.356	6	0.726	6
0.25	2.633	6	0.914	6	1.426	6
0.30	4.210	6	1.845	6	2.185	6
0.35	5.816	6	3.134	6	2.828	6
0.40	7.227	6	4.678	6	3.180	6
0.45	8.638	6	6.362	6	3.373	6
0.50	10.190	6	8.137	6	3.541	6
0.55	11.877	6	9.996	6	3.703	6
0.60	13.706	6	11.941	6	3.884	6
0.65	15.666	6	13.985	6	4.077	6
0.70	17.743	6	16.127	6	4.276	3
0.75	19.932	6	18.369	6	4.507	3
0.80	22.231	6	20.712	6	4.739	3
0.85	24.640	6	23.156	6	4.973	3
0.90	27.156	6	25.701	6	5.208	3
0.95	29.779	6	28.349	6	5.444	3
1.00	32.527	3	31.101	6	5.682	3
1.05	35.492	3	33.977	3	5.921	3
1.10	38.581	3	37.075	3	6.162	3
1.15	41.795	3	40.296	3	6.405	3
1.20	45.135	3	43.642	3	6.648	3
1.25	48.602	3	47.112	3	6.893	3
1.30	52.195	3	50.709	3	7.140	3
1.35	55.915	3	54.431	3	7.387	3
1.40	59.763	3	58.281	3	7.637	3
1.45	63.739	3	62.258	3	7.887	3
1.50	67.845	3	66.364	3	8.139	3
1.55	72.080	3	70.599	3	8.392	3
1.60	76.445	3	74.964	3	8.647	3
1.65	80.942	3	79.459	3	8.902	3
1.70	85.570	3	84.086	3	9.160	3
1.75	90.329	3	88.844	3	9.418	3
1.80	95.222	3	93.735	3	9.678	3
1.85	100.248	3	98.759	3	9.938	3
1.90	105.408	3	103.917	3	10.200	3
1.95	110.702	3	109.209	3	10.463	3
2.00	116.271	3	116.252	3	10.852	3
2.05	115.721	3	115.713	3	8.732	2
2.10	115.447	3	115.446	3	8.732	2
2.15	115.445	3	115.444	3	8.732	2
2.20	116.754	2	115.770	2	8.732	2



2.25	121.191	2	120.243	2	8.732	2
2.30	125.630	2	124.717	2	8.732	2
2.35	130.073	2	129.190	2	8.732	2
2.40	134.517	2	133.664	2	8.732	2
2.45	138.963	2	138.137	2	8.732	2
2.50	143.410	2	142.611	2	8.732	2
2.55	147.367	2	146.827	2	7.270	2
2.60	150.955	2	150.553	2	6.354	2
2.65	154.103	2	153.811	2	5.479	2
2.70	156.827	2	156.620	2	4.645	2
2.75	159.143	2	159.003	2	3.851	2
2.80	161.070	2	160.980	2	3.096	2
2.85	162.624	2	162.572	2	2.380	2
2.90	163.823	2	163.796	2	1.973	6
2.95	164.684	2	164.674	2	1.964	6
3.00	165.224	2	165.222	2	1.955	6
3.05	165.459	2	165.459	2	1.946	6
3.10	165.407	2	165.403	2	2.227	3
3.15	165.083	2	165.070	2	2.503	3
3.20	164.502	2	164.477	2	2.758	3
3.25	163.681	2	163.640	2	2.994	3
3.30	162.633	2	162.574	2	3.212	3
3.35	161.373	2	161.294	2	3.412	3
3.40	159.915	2	159.815	2	3.596	3
3.45	158.273	2	158.149	2	3.763	3
3.50	156.459	2	156.312	2	3.920	2
3.55	154.487	2	154.315	2	4.207	2
3.60	152.367	2	152.170	2	4.471	2
3.65	150.113	2	149.891	2	4.713	2
3.70	147.736	2	147.488	2	4.934	2
3.75	145.245	2	144.973	2	5.133	2
3.80	142.652	2	142.355	2	5.314	2
3.85	139.966	2	139.645	2	5.475	2
3.90	137.198	2	136.852	2	5.618	2
3.95	134.355	2	133.986	2	5.745	2
4.00	131.449	2	131.056	2	5.865	2
4.05	128.482	2	128.064	2	5.976	2
4.10	125.457	2	125.015	2	6.070	2
4.15	122.382	2	121.918	2	6.148	2
4.20	119.267	2	118.781	2	6.210	2
4.25	116.120	2	115.613	2	6.258	2
4.30	112.947	2	112.420	2	6.291	2
4.35	109.756	2	109.210	2	6.311	2
4.40	106.553	2	105.990	2	6.319	2
4.45	103.346	2	102.765	2	6.315	2
4.50	100.140	2	99.543	2	6.301	2
4.55	96.940	2	96.328	2	6.276	2
4.60	93.752	2	93.126	2	6.242	2
4.65	90.580	2	89.942	2	6.199	2
4.70	87.430	2	86.779	2	6.147	2
4.75	84.305	2	83.642	2	6.089	2
4.80	81.209	2	80.536	2	6.023	2
4.85	78.146	2	77.463	2	5.951	2
4.90	75.119	2	74.427	2	5.874	2
4.95	72.131	2	71.430	2	5.791	2
5.00	69.185	2	68.476	2	5.703	2



5.05	66.284	2	65.567	2	5.611	2
5.10	63.429	2	62.705	2	5.515	2
5.15	60.622	2	59.892	2	5.416	2
5.20	57.866	2	57.129	2	5.314	2
5.25	55.162	2	54.419	2	5.210	2
5.30	52.511	2	51.762	2	5.103	2
5.35	49.915	2	49.159	2	4.995	2
5.40	47.374	2	46.612	2	4.885	2
5.45	45.383	6	45.292	6	4.775	2
5.50	44.543	6	44.450	6	4.663	2
5.55	43.703	6	43.609	6	4.551	2
5.60	42.865	6	42.769	6	4.439	2
5.65	42.029	6	41.931	6	4.327	2
5.70	41.193	6	41.094	6	4.215	2
5.75	40.359	6	40.258	6	4.104	2
5.80	39.526	6	39.423	6	3.994	2
5.85	38.694	6	38.589	6	3.885	2
5.90	37.863	6	37.755	6	3.776	2
5.95	37.032	6	36.923	6	3.670	2
6.00	36.203	6	36.091	6	3.538	2
6.05	35.374	6	35.260	6	3.382	2
6.10	34.547	6	34.430	6	3.229	2
6.15	33.719	6	33.600	6	3.079	2
6.20	32.893	6	32.771	6	2.932	2
6.25	32.067	6	31.942	6	2.788	2
6.30	31.242	6	31.113	6	2.647	2
6.35	30.417	6	30.285	6	2.510	2
6.40	29.592	6	29.456	6	2.376	2
6.45	28.768	6	28.628	6	2.245	2
6.50	27.944	6	27.800	6	2.118	2
6.55	27.134	6	26.992	6	1.995	2
6.60	26.329	6	26.183	6	1.875	2
6.65	25.523	6	25.374	6	1.759	2
6.70	24.720	6	24.567	6	1.647	2
6.75	23.920	6	23.764	6	1.616	5
6.80	23.125	6	22.967	6	1.588	5
6.85	22.337	6	22.176	6	1.559	5
6.90	21.557	6	21.394	6	1.529	5
6.95	20.786	6	20.622	6	1.505	6
7.00	20.025	6	19.859	6	1.482	6
7.05	19.275	6	19.109	6	1.457	6
7.10	18.538	6	18.371	6	1.431	6
7.15	17.813	6	17.647	6	1.404	6
7.20	17.103	6	16.936	6	1.375	6
7.25	16.407	6	16.241	6	1.344	6
7.30	15.726	6	15.561	6	1.313	6
7.35	15.061	6	14.897	6	1.281	6
7.40	14.412	6	14.249	6	1.249	6
7.45	13.780	6	13.618	6	1.215	6
7.50	13.164	6	13.004	6	1.181	6
7.55	12.566	6	12.408	6	1.147	6
7.60	11.985	6	11.829	6	1.113	6
7.65	11.421	6	11.267	6	1.078	6
7.70	10.875	6	10.723	6	1.043	6
7.75	10.346	6	10.197	6	1.008	6
7.80	9.835	6	9.689	6	0.974	6



7.85	9.342	6	9.199	6	0.939	6
7.90	8.866	6	8.849	2	0.905	6
7.95	8.852	2	8.852	2	0.871	6
8.00	8.839	2	8.838	2	0.835	6
8.05	8.810	2	8.808	2	0.798	6
8.10	8.765	2	8.762	2	0.762	6
8.15	8.705	2	8.701	2	0.726	6
8.20	8.632	2	8.626	2	0.690	6
8.25	8.547	2	8.539	2	0.655	6
8.30	8.450	2	8.441	2	0.621	6
8.35	8.343	2	8.332	2	0.588	6
8.40	8.227	2	8.214	2	0.555	6
8.45	8.102	2	8.088	2	0.523	6
8.50	7.970	2	7.954	2	0.492	6
8.55	7.830	2	7.813	2	0.462	6
8.60	7.685	2	7.666	2	0.433	6
8.65	7.535	2	7.514	2	0.404	6
8.70	7.380	2	7.358	2	0.377	6
8.75	7.221	2	7.198	2	0.350	6
8.80	7.059	2	7.035	2	0.339	2
8.85	6.895	2	6.869	2	0.342	2
8.90	6.728	2	6.702	2	0.345	2
8.95	6.560	2	6.533	2	0.347	2
9.00	6.391	2	6.363	2	0.348	2
9.05	6.222	2	6.193	2	0.347	2
9.10	6.052	2	6.027	3	0.346	2
9.15	5.921	3	5.905	3	0.345	2
9.20	5.801	3	5.786	3	0.342	2
9.25	5.683	3	5.668	3	0.339	2
9.30	5.567	3	5.552	3	0.336	2
9.35	5.453	3	5.439	3	0.331	2
9.40	5.342	3	5.327	3	0.327	2
9.45	5.233	3	5.219	3	0.321	2
9.50	5.127	3	5.113	3	0.316	2
9.55	5.064	4	5.062	4	0.310	2
9.60	5.029	4	5.026	4	0.304	2
9.65	4.990	4	4.988	4	0.297	2
9.70	4.949	4	4.946	4	0.290	2
9.75	4.905	4	4.902	4	0.283	2
9.80	4.859	4	4.856	4	0.275	2
9.85	4.811	4	4.807	4	0.268	2
9.90	4.761	4	4.757	4	0.260	2
9.95	4.710	4	4.706	4	0.252	2
10.00	4.658	4	4.653	4	0.244	2
10.05	4.604	4	4.599	4	0.235	2
10.10	4.550	4	4.545	4	0.226	2
10.15	4.494	4	4.489	4	0.217	2
10.20	4.439	4	4.434	4	0.208	2
10.25	4.384	4	4.378	4	0.199	2
10.30	4.328	4	4.323	4	0.190	2
10.35	4.273	4	4.268	4	0.181	2
10.40	4.219	4	4.214	4	0.172	2
10.45	4.165	4	4.160	4	0.163	2
10.50	4.112	4	4.108	4	0.154	2
10.55	4.061	4	4.056	4	0.145	2
10.60	4.011	4	4.006	4	0.136	2



10.65	3.962	4	3.958	4	0.128	2
10.70	3.915	4	3.911	4	0.119	2
10.75	3.871	4	3.867	4	0.110	2
10.80	3.828	4	3.824	4	0.102	2
10.85	3.787	4	3.784	4	0.094	2
10.90	3.749	4	3.747	4	0.085	2
10.95	3.714	4	3.712	4	0.078	4
11.00	3.682	4	3.680	4	0.072	5
11.05	3.652	4	3.650	4	0.067	5
11.10	3.626	4	3.624	4	0.061	5
11.15	3.603	4	3.602	4	0.054	5
11.20	3.584	4	3.583	4	0.047	5
11.25	3.568	4	3.567	4	0.039	5
11.30	3.556	4	3.556	4	0.032	6
11.35	3.548	4	3.548	4	0.023	6
11.40	3.544	4	3.544	4	0.014	6
11.45	3.545	4	3.545	4	0.005	6

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
Muro di sottoscarpa progr. km 0+197.66 Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-003-b00.doc

Foglio
91 di 93

10.14. Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M_h	momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
T_h	taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
M_v	momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
T_v	taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0.00 m) (Cordolo in c.a.)

$B=40.00$ [cm]	$H=50.00$ [cm]	Staffe $\phi 12/20$	$N_{bh}=2 - N_{bv}=2$
$A_{fv}=4.52$ [cmq]	$A_{fh}=2.26$ [cmq]	$M_v=0.27$ [kNm]	$T_v=1.62$ [kN]
$M_h=9.78$ [kNm]	$T_h=19.56$ [kN]	$\tau_c = 0.124$ [N/mmq]	$\sigma_{staffe} = 50.867$ [N/mmq]
$\sigma_c = 1.170$ [N/mmq]	$\sigma_f = 63.100$ [N/mmq]		

Cordolo N° 2 (X=2.00 m) (Cordolo in acciaio)

$A=108.60$ [cmq]	$W=622.00$ [cm ³]	$M_v=21.21$ [kNm]	$T_v=44.20$ [kN]
$M_h=77.93$ [kNm]	$T_h=157.43$ [kN]	$\sigma_{id} = 127.773$ [N/mmq]	
$\sigma_f = 125.282$ [N/mmq]	$\tau_f = 14.496$ [N/mmq]		

10.15. Diagrammi

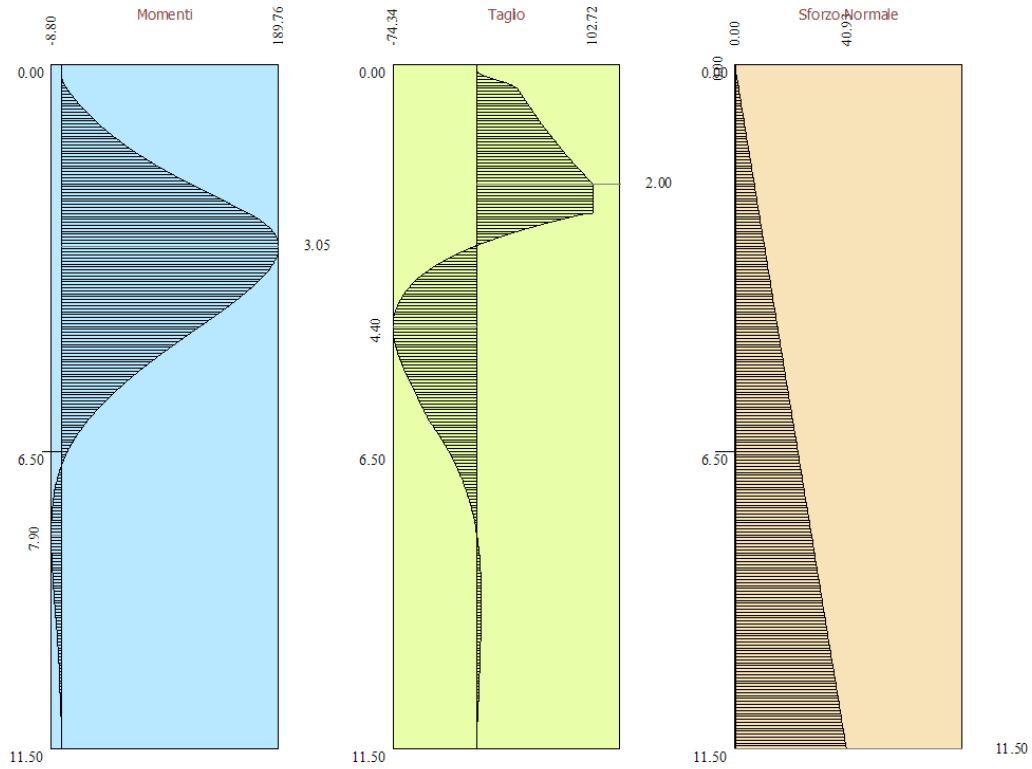
Si riportano di seguito i diagrammi delle deformazioni e delle sollecitazioni in fase iniziale e finale (step 1 e 6).



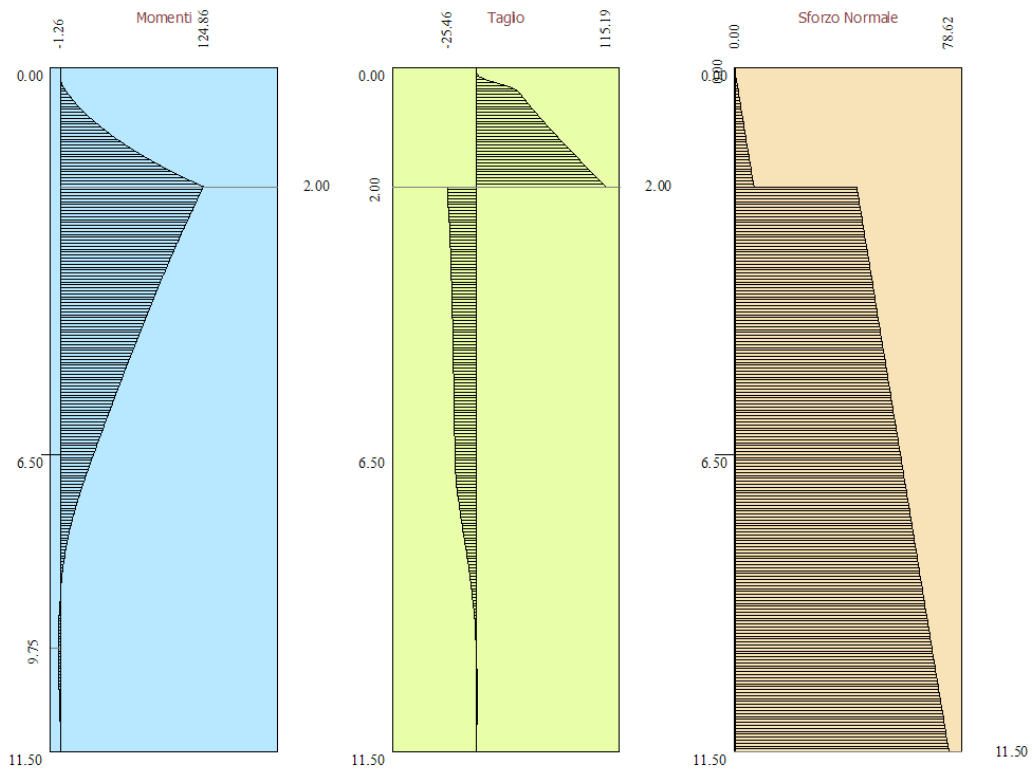
Deformazioni fase 1



Deformazioni fase 6



Sollecitazioni fase 1



Sollecitazioni fase 6