

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: Muri di sostegno Torrente Ciliegia
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 4	A

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Prima emissione	Errevia	11/10/2012	Ing. F. Colla	12/10/2012	E. Pagani	15/10/2012	

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV05-05-004-A00.DOC
-----------	---

CUP: F81H9200000008

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 0 di 39

INDICE

1	Introduzione.....	2
1.1	Generalità.....	2
1.2	Tipologia delle opere.....	3
1.3	Criteri di calcolo.....	3
2	Documenti di riferimento.....	5
2.1	Normativa tecnica di riferimento.....	5
2.1.1	Geotecnica.....	5
2.1.2	Materiali.....	5
2.1.3	Costruzioni in c.a. e acciaio.....	5
2.1.4	Ponti stradali.....	5
2.1.5	Sismica.....	6
2.2	Normativa tecnica vigente.....	6
2.3	Bibliografia e altri riferimenti.....	6
3	Caratteristiche dei materiali.....	7
3.1	Calcestruzzo.....	7
3.2	Acciaio.....	7
4	Caratterizzazione geotecnica.....	8
4.1	Stratigrafie di riferimento.....	8
4.2	Stratigrafie di calcolo.....	8
5	Analisi dei carichi.....	10
5.1	Azioni permanenti strutturali (G_1).....	10
5.1.1	Peso proprio.....	10
5.2	Azioni permanenti non strutturali (G_2).....	10
5.2.1	Spinta del terreno statica.....	10
5.3	Azioni sismiche (E).....	12
5.3.1	Accelerazione sismica di progetto.....	12
5.3.2	Azioni inerziali pesi propri strutturali e permanenti non strutturali.....	12
5.3.3	Spinta del terreno sismica.....	13
5.4	Azioni accidentali da traffico veicolare (Q_1).....	14
5.5	Azione accidentale da urto veicolare (Q_8).....	14
6	Criteri di calcolo.....	15
6.1	Programma per l'analisi automatica.....	15
6.2	Analisi ad elementi finiti.....	16
6.3	Schematizzazione del terreno.....	16
6.4	Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno.....	17
6.5	Analisi per fasi di scavo.....	18
6.6	Combinazioni di carico.....	18
6.6.1	Analisi per combinazioni di carico.....	18
6.6.2	Analisi per fasi di scavo.....	19

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 1 di 39

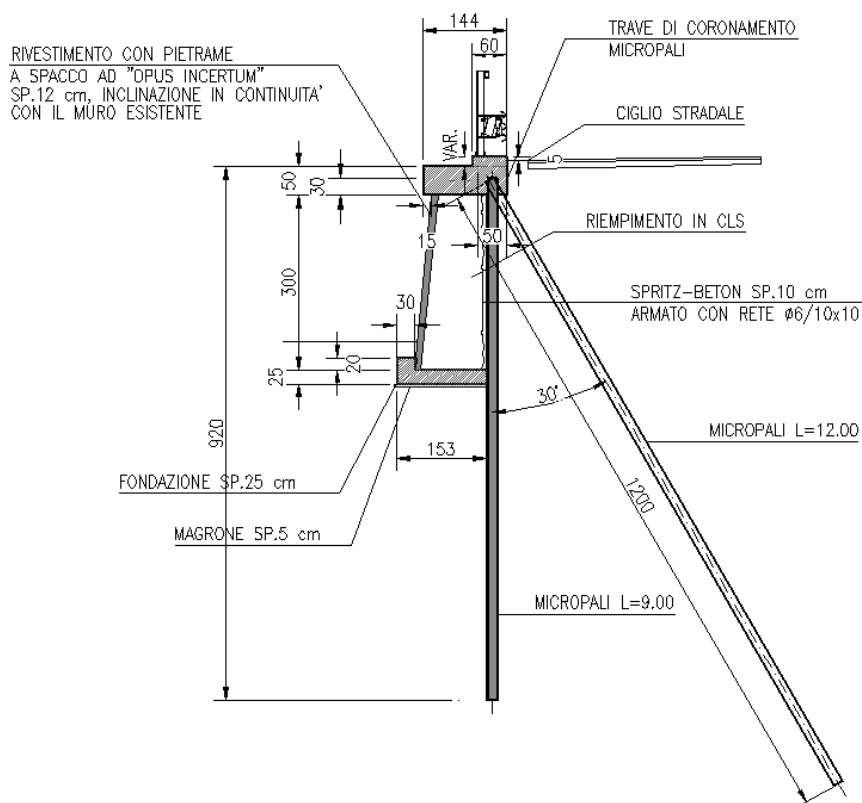
6.7	Verifiche strutturali.....	19
6.7.1	Verifica dei profili metallici.....	19
6.7.2	Verifica dei tiranti attivi di ancoraggio	19
6.7.3	Verifica delle travi di collegamento	19
6.8	Verifiche geotecniche	19
6.8.1	Verifica alla stabilità globale.....	19
6.8.2	Verifica di immersione delle paratie.....	20
6.8.3	Verifica allo sfilamento dei tiranti	21
7	Paratia tipo A - H=3.80 m.....	24
7.1	Schema di calcolo	24
7.1.1	Geometria dello scavo	24
7.1.2	Descrizione dei terreni	24
7.1.3	Descrizione stratigrafia	25
7.1.4	Condizioni di carico	25
7.2	Fasi di calcolo.....	25
7.3	Risultati delle analisi statiche	26
7.4	Risultati delle analisi sismiche.....	28
7.5	Verifiche strutturali.....	30
7.5.1	Verifica dei profili metallici.....	30
7.5.2	Verifica dei tiranti	31
7.5.3	Verifica delle travi di collegamento	31
7.6	Verifiche geotecniche	32
7.6.1	Verifica dei tiranti	32
7.6.2	Verifica di stabilità globale	32
8	Appendice: Allegati di calcolo paratie	35

1 Introduzione

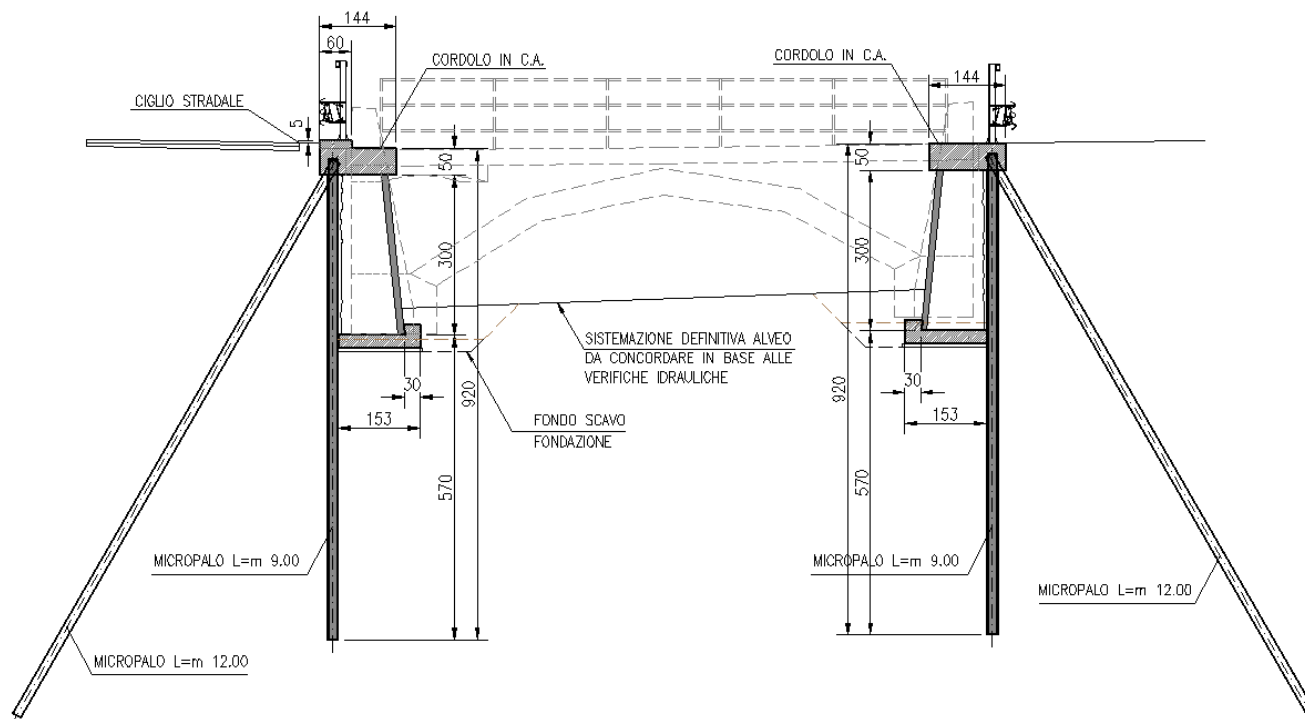
1.1 Generalità

La seguente relazione di calcolo è relativa all'analisi e al dimensionamento delle nuove opere di sostegno spondali in prossimità del ponte di scavalco sul torrente Rio Ciliegio, previsto nell'ambito degli interventi della nuova viabilità per l'accesso al cantiere operativo al km 1+180.

Le opere in oggetto sono costituite da paratie in micropali a cavalletto rivestite frontalmente da un paramento in lastre prefabbricate con faccia a vista e riempite nell'intercapedine interna da un getto di calcestruzzo. Tali muri saranno realizzati successivamente alla demolizione del vecchio ponte ad arco in mattoni, posto a valle del nuovo impalcato, riprendendo l'andamento dei muri esistenti e ripristinando di fatto la sistemazione spondale ante-operam.



Sezione tipo della paratia-muro spondale



Sezione tipo della sistemazione spondale definitiva

1.2 Tipologia delle opere

Sono previste le seguenti tipologie di opere provvisionali:

- Berlinesi di micropali con tiranti passivi

In base agli elaborati di progetto dei muri si sono individuati e verificati le opere che rappresentano i casi più gravosi. Si riportano le verifiche strutturali e geotecniche delle seguenti paratie:

- Paratia tipo A - H=3.80
Berlinese di micropali con un ordine di tiranti passivi

Per i dettagli si rimanda alle tavole di progetto.

1.3 Criteri di calcolo

Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.), e seguendo le linee guida di progettazione fornite dalla committente.

I criteri generali di sicurezza e le azioni di calcolo sono stati assunti in conformità con la normativa tecnica di riferimento adottata all'atto della progettazione definitiva, ovvero secondo il D.M. 01/06/1996 per le strutture in c.a. e carpenteria metallica, le istruzioni RFI e i relativi documenti di aggiornamento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 4 di 39

Riguardo la parte geotecnica e i metodi di calcolo in condizioni sismiche, in accordo con le linee guida di progettazione, si è fatto riferimento al D.M. 11.03.88 e al D.M. 16/01/1996.

Il dimensionamento e la verifica sismica dell'opera, in accordo con il capitolato tecnico di progettazione, viene effettuata ai sensi del D.M. 16/01/1996, entrata in vigore prima della nuova zonizzazione sismica (precedente alla O.P.C.M. 3274/2003 e alle nuove NTC 2008). Per il tratto in esame, utilizzando la mappa di pericolosità sismica del territorio italiano pubblicata dal Servizio Sismico Nazionale, il valore di accelerazione massima al suolo corrispondente allo scuotimento sismico con periodo di ritorno 475 anni (valore di riferimento per le opere definitive), è pari a $a_{max} = 0.040$ g.

Le caratteristiche dei materiali sono state assunte in conformità con il D.M. 14.01.2008 – “Norme tecniche per le costruzioni” e relativa circolare esplicativa (Circolare 02.02.2009 n. 617/C.S.LL.PP.).

Restando a favore di sicurezza, nel calcolo strutturale della paratia non si è tenuto conto del rivestimento frontale riempito di calcestruzzo. Nonostante infatti che tale manufatto in c.a. costituisce un corpo rigido in contrasto al piede della paratia, si è deciso di trascurare il suo effetto stabilizzante nei confronti delle azioni di spinta del terreno.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 5 di 39

2 Documenti di riferimento

Si riportano nel seguito la normativa tecnica adottata per il dimensionamento delle opere strutturali.

2.1 Normativa tecnica di riferimento

2.1.1 Geotecnica

- [NT_1] Circ. Dir. Centr. Tecn. N°97/81 "Istruzioni relative alle Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegni delle terre e delle opere di fondazione".
- [NT_2] D.M. 11.03.1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- [NT_3] Raccomandazioni AICAP "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce" ed. maggio 1993.
- [NT_4] Associazione Geotecnica Italiana [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"
- [NT_5] UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: "Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali".

2.1.2 Materiali

- [NT_6] UNI EN 197-1 giugno 2001 – "Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni;
- [NT_7] UNI EN 11104 marzo 2004 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1;
- [NT_8] UNI EN 206-1 ottobre 2006 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità".

2.1.3 Costruzioni in c.a. e acciaio

- [NT_9] Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – "Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- [NT_10] D.M. 3 Dicembre 1987 - "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate";
- [NT_11] D.M. 09.01.1996 - "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- [NT_12] 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";
- [NT_13] 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";
- [NT_14] D.M. 16.01.1996 - "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"

2.1.4 Ponti stradali

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 6 di 39

- [NT_15] D.M. 04/05/1990 - "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali".
- [NT_16] Ministero LL.PP. 25/02/1991 - "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".
- [NT_17] 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.”
- [NT_18] Istruzioni FF.SS. 44a - “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione l’esecuzione e il collaudo di cavalcavia e passerelle pedonali sovrastanti la sede ferroviaria”.

2.1.5 Sismica

- [NT_19] Legge 2 Febbraio 1974 n.64 - “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [NT_20] D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 - “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- [NT_21] Ordinanza della protezione civile n.2788 del 12/06/1998 - “Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale” GU 146 del 25/06/1998
- [NT_22] Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 1 – “Criteri per l’individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone”
- [NT_23] Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 4 – “Norme Tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni”
- [NT_24] Ordinanza n.3316 - Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03

2.2 Normativa tecnica vigente

- [NT_25] D.M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- [NT_26] Circolare LL.PP. n°617 del 02/02/2009 - “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
- [NT_27] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale (febbraio 2008) - “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive”.

2.3 Bibliografia e altri riferimenti

- [NT_28] Lancellotta R. [1991] " Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.
- [NT_29] Migliacci – F. Mola – “Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.” - Masson Italia Editori 1985
- [NT_30] C. Cestelli Guidi - “Geotecnica e tecnica delle fondazioni” - Ulrico Hoepli Editore 1987
- [NT_31] Bowles J.E.: “Foundations Analysis and Design” 4th edition - McGraw-Hill – New York, 1988
- [NT_32] ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"
- [NT_33] BUSTAMANTE M. & DOIX B. (1985)- "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés" Bulletin Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, n°140, nov.-déc., ref. 3047
- [NT_34] BUSTAMANTE M., GIANESELLI L.. [1982] - "Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT" -.Pr. of the 2th European symposium on penetration testing, Amsterdam.
- [NT_35] PARATIE 7.0 for Windows – Manuale di riferimento – CEAS.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 7 di 39
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	

3 Caratteristiche dei materiali

3.1 Calcestruzzo

Miscela cementizia di iniezione dei tiranti:

Resistenza caratteristica	C25/30
Rapporto a/c	max 0.55

Calcestruzzo per micropali, pali e getti in opera

Resistenza caratteristica	C25/30
Resistenza caratteristica cubica a compressione a 28 gg	$R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / 1.6$
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} \geq 2.6 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = 0.7 f_{ctm} / 1.6$
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} = 3.5 / 1000$

3.2 Acciaio

Acciaio profilati S355 J0:

Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$

Acciaio profilati micropali S 275 J0:

Tubi in acciaio senza saldatura longitudinale del tipo per costruzioni meccaniche; giunzioni tra i vari spezzoni di tubo con manicotti filettati

Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 430 \text{ MPa}$

Acciaio per getti B450C

Barre ad aderenza migliorata controllato in stabilimento

Tensione caratteristica di rottura a trazione	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di snervamento a trazione	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / 1.15$
Valore ultimo della deformazione a trazione	$\epsilon_{cu} = 10 \text{ ‰}$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 8 di 39

4 Caratterizzazione geotecnica

4.1 Stratigrafie di riferimento

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	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E (MPa)
Copertura detritica	1.00-3.00	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

Dall'osservazione del profilo stratigrafico longitudinale, in corrispondenza dell'opera è stata riscontrata la presenza delle seguenti formazioni:

Formazione	Descrizione
AL	Copertura detritica
AR1	Argiloscisti alterate
AR2	Substrato

L'analisi dei dati a disposizione conduce alla successione stratigrafica di progetto riportata nella seguente:

Da (m)	A (m)	Formazione
0 (*)	-3,0	AL
-3.0	-7.0	AR1
> -7,0		AR2

N.B.: La quota di zero coincide con la quota del p.c. locale

Sulla base delle letture piezometriche rilevate in corrispondenza dell'opera, non è emersa evidenza di presenza di falda tale da interferire con il progetto.

4.2 Stratigrafie di calcolo

Le stratigrafie di riferimento adottate per le verifiche geotecniche sono le seguenti:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 9 di 39

– Paratia tipo A - H=3.80

Da [m]	A [m]	Formazione	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	δ' [°]
0 (*)	-3.00	Terreni tipo AL	19	0	27	18
-3.00	-7.00	Terreni tipo AR1	23	70	22	14.67
oltre -7.00		Terreni tipo AR2	25	100	24	16

Stratigrafia di riferimento per il calcolo delle berlinesi
(*) La quota zero coincide con la quota di testa paratia, +0.00 dal p.c. locale
Falda a -3.80 da p.c. locale

Data comunque la vicinanza dell'alveo del fiume e restando a favore di sicurezza, si considera la falda posta sul fondo di scavo.

Ai fini delle verifiche geotecniche, i parametri riportati vengono considerati come “parametri di progetto”, per le verifiche a fattore di sicurezza globale ai sensi della normativa previgente e in particolare ai sensi del DM 11.03.88.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc Foglio 10 di 39

5 Analisi dei carichi

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi per tutte le sezioni di verifica.

5.1 Azioni permanenti strutturali (G₁)

5.1.1 Peso proprio

Il peso proprio è valutato in ragione di 25.00 kN/m³ ed è computato automaticamente dal programma di calcolo.

5.2 Azioni permanenti non strutturali (G₂)

5.2.1 Spinta del terreno statica

A seconda della geometria complessa o non del profilo di monte del terreno, si adotta il metodo di Columb o il metodo di Culmann.

Metodo di Coulomb

Il coefficiente di spinta attiva K_a, la pressione orizzontale σ_h(z) alla generica quota z e la spinta statica totale sulla parete S_h sono espressi dalle relazioni:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi' + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi' - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2} \quad (\text{Coulomb})$$

$$\sigma_h(z) = \gamma \cdot z \cdot K_a + \sigma_v \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$S_h = \int_0^H \sigma_h(z) dz = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a + \sigma_v \cdot K_a \cdot H - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H$$

σ_v pressione verticale agente in corrispondenza della calotta

c coazione efficace del terreno

H altezza della parete di spinta

γ peso specifico del terreno

φ angolo attrito del terreno

δ attrito tra terreno e cls

ψ = 90° angolo tra parete di spinta e piano orizzontale

ε = 0° angolo inclinazione tra profilo e piano orizzontale

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 11 di 39

In accordo con le linee guida di progetto, la valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva per la definizione dello stato di sollecitazione statica è stata effettuata considerando un angolo di attrito δ tra struttura e terreno pari:

- per la spinta attiva $\delta = 2/3 \varphi$
- per la spinta passiva $\delta = 0$

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 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 falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 12 di 39

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Il regime di filtrazione della falda può essere idrostatico o idrodinamico.

Nell'ipotesi di regime idrostatico sia la falda di monte che di valle viene considerata statica, la pressione in un punto a quota h al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a $\gamma_w \cdot h$.

5.3 Azioni sismiche (E)

5.3.1 Accelerazione sismica di progetto

Secondo la normativa di riferimento D.M. 16/01/1996 si prevede che il coefficiente di intensità sismica C venga calcolato sulla base della correlazione di cui al seguito:

$$S = 6 \quad \text{grado di sismicità del comune}$$

$$C = (S - 2) / 100 = 0.04 \quad \text{coefficiente di intensità sismica}$$

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

$$a_{\text{max}}/g = C = 0.04 \quad \text{accelerazione massima attesa al sito}$$

5.3.2 Azioni inerziali pesi propri strutturali e permanenti non strutturali

Con riferimento all'D.M. 16/01/96 si esegue l'analisi con il metodo pseudostatico, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. Si considera la sola azione inerziale orizzontale E_h determinata incrementando le masse dei pesi propri e permanenti secondo il coefficiente di amplificazione C :

$$E_{1,h} = G_1 \cdot C \quad \text{azione inerziale orizzontale pesi propri strutturali } G_1$$

$$E_{2,h} = G_2 \cdot C \quad \text{azione inerziale orizzontale pesi permanenti non strutturali } G_2$$

$$G_1 \quad \text{pesi propri strutturali}$$

$$G_2 \quad \text{pesi permanenti non strutturali}$$

L'azione inerziale delle masse dei pesi propri p della paratia sono introdotte manualmente nel modello con i seguenti carichi ripartiti orizzontali $e_{1,h}$:

$$p = D^2/4 \cdot 3.14 \cdot \gamma_c = 0.22^2/4 \cdot 3.14 \cdot 25 = 0.95 \text{ kN/m}$$

$$e_{1,h} = a_{\text{max}} \cdot p = 0.04 \cdot 0.95 = 0.04 \text{ kN/m}^2$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc Foglio 13 di 39

5.3.3 Spinta del terreno sismica

Dato che la parete è soggetta a spostamenti di modesta entità, le sovraspinte ΔS_h sono calcolate secondo il metodo di Mononome-Okabe con le seguenti relazioni:

$$\Delta S_h = A \cdot S'_h - S_h$$

$$S_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \quad \text{spinta statica sulla parete}$$

$$S'_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K'_a \quad \text{spinta sismica sulla parete}$$

$$A = \frac{\cos^2(90 - \psi + \theta)}{\cos^2(90 - \psi) \cdot \cos \theta}$$

$$K'_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \cdot \sin(\phi' - \varepsilon - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \varepsilon)}} \right]^2} \quad \text{(Mononome-Okabe)}$$

$$\Theta = \arctan(C) = \arctan(0.04) = 2.29^\circ$$

γ peso del terreno

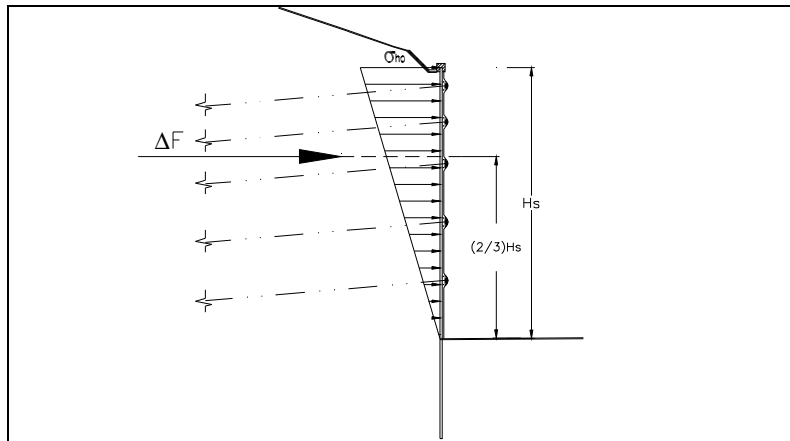
H altezza della parete di spinta

Nel caso di più strati si procede all'integrazione della spinta sull'altezza.

In accordo con le linee guida di progetto, la valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva per la definizione dello stato di sollecitazione sismica è stata effettuata considerando un angolo di attrito δ tra struttura e terreno pari:

- per la spinta attiva $\delta = 0$
- per la spinta passiva $\delta = 0$

Nelle verifiche l'incremento di spinta ΔS_h così calcolato viene applicato a tergo della paratia come una pressione orizzontale con andamento triangolare sull'altezza libera della paratia, in modo da ottenere una risultante applicata a 2/3 dell'altezza libera dal fondo dello scavo, così come indicato nello schema che segue.



Incremento della spinta attiva dovuto al sisma

5.4 Azioni accidentali da traffico veicolare (Q_1)

Si considera a monte della paratia il sovraccarico accidentale dovuto al transito veicolare di 20 kPa. L'azione si assume agente sin dalla fase iniziale fino alla fase di massimo fondo scavo. Non viene conteggiata in fase sismica.

5.5 Azione accidentale da urto veicolare (Q_8)

In accordo con le linee guida di progettazione, si considera l'azione di svio da urto veicolare della barriera di sicurezza stradale. La forza statica equivalente, come riportato nel D.M. 04/05/1990 in materia di ponti stradali, è pari a 45 kN posizionati a 0.60 m dal piano viabile.

Restando a favore di sicurezza, si considera una lunghezza collaborante longitudinale pari a due montanti posti ad interasse 1.15 m. La forza da applicare in testa alla paratia risulta pari a:

$$Q_8 = 45 / (1.15 \cdot 2) = 19.57 \text{ kN/m}$$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 15 di 39</p>

6 Criteri di calcolo

Il calcolo delle paratie in oggetto viene effettuato attraverso l'utilizzo del software di calcolo PAC 10.0 della ditta AZTEC Informatica, nella forma originale commercializzata dall'azienda.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva per lo stato di sollecitazione statica è effettuata a partire dai parametri geotecnici di progetto, facendo ricorso alla teoria di Muller-Breslau, nell'ipotesi di un angolo di attrito (δ) tra la struttura e il terreno come descritto nei paragrafi precedenti.

6.1 Programma per l'analisi automatica

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 contropinta 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 contropinta 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, contropinta, 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 adoterà 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 :

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 16 di 39</p>

- 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 $\tan(\varphi)$ e sulla coesione.

6.2 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).

6.3 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 rigidezza 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 rigidezza, si esprime come

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 17 di 39

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).

6.4 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 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 rigidità, 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 riassembleta 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 rigidità è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassembleggio 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 18 di 39

effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

6.5 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

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

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.

6.6 Combinazioni di carico

Per le analisi statiche e sismiche della paratia (strutturali e stabilità globale) si adottano i parametri "caratteristici" del terreno. Per le verifiche strutturali statiche allo stato limite ultimo, restando a favore di sicurezza, gli effetti delle azioni permanenti e delle azioni accidentali vengono moltiplicati per 1.5.

6.6.1 Analisi per combinazioni di carico

I calcoli sono eseguiti sullo stesso modello geometrico della paratia variando i carichi esterni (analisi per combinazioni di carico). Si riportano nel seguito le principali combinazioni di carico considerate:

Combinazione	Spinte terreno	Permanenti	Traffico	Urto	Sisma
A-0 (permanenti)	1	1	0	0	0
A-II (traffico)	1	1	1	1	0

Combinazioni di carico statiche strutturali e geotecniche (parametri caratteristici del terreno)

Combinazione	Spinte terreno	Permanenti	Traffico	Urto	Sisma
Sisma	1	1	0	0	1

Combinazioni di carico sismiche strutturali (parametri caratteristici del terreno)

Combinazione	Spinte terreno	Permanenti	Traffico	Urto	Sisma
--------------	----------------	------------	----------	------	-------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 19 di 39

Sisma	1	1	0	0	1
-------	---	---	---	---	---

Combinazioni di carico sismiche geotecniche (parametri caratteristici del terreno)

6.6.2 Analisi per fasi di scavo

Per le paratie tirantate i calcoli sono eseguiti per diverse configurazioni geometriche a seconda della variazione dei profili di scavo nel tempo. I carichi esterni sono agenti in tutte o solo in alcune fasi a seconda delle esigenze. Per ulteriori dettagli si rimanda ai capitoli di verifica delle singole sezioni.

6.7 Verifiche strutturali

6.7.1 Verifica dei profili metallici

I profilati metallici della paratia vengono verificati allo SLU strutturale secondo l'Eurocodice 3 in materia di costruzioni metalliche.

6.7.2 Verifica dei tiranti attivi di ancoraggio

I tubolari metallici dei tiranti passivi della paratia vengono verificati allo SLU strutturale statico e sismico. In accordo a quanto previsto nelle raccomandazioni AICAP, si considerano tassi di lavoro pari al 90% di quelli ammissibili di progetto (Eurocodice 3):

$$N_{Sd} = N_{max} * 1.50 < R_d \quad \text{condizione statica}$$

$$E_d = E_{max} * 1.50 < R_d \quad \text{condizione sismica}$$

$$N_{max} \quad \text{azione massima allo SLE in condizioni statiche}$$

$$E_{max} \quad \text{azione massima allo SLU in condizioni sismiche}$$

$$R_d = 0.9 * f_{yk} / \gamma_M * A_{tubolare} = 0.9 * 275 / 1.10 * 2670 / 1000 = 600.75 \text{ kN/tirante}$$

$$A_{tubolare} = (114.3 - 8) * 3.14 * 8 = 2670 \text{ mm}^2$$

6.7.3 Verifica delle travi di collegamento

Le sollecitazioni delle travi di collegamento sono calcolate secondo uno schema di trave in semplice appoggio con luce di campata pari all'interasse tra i tiranti:

$$M_{Sd} = N_{max} / \text{int} * L^2 / 8 = N_{max} * \text{Int} / 8$$

$$V_{Sd} = N_{max} / \text{int} * L / 2 = N_{max} / 2$$

Le verifiche strutturali vengono eseguite allo stato limite ultimo in condizioni statiche e sismiche secondo la normativa di riferimento delle costruzioni in c.a. o in acciaio.

6.8 Verifiche geotecniche

6.8.1 Verifica alla stabilità globale

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 20 di 39</p>

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.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i) \cdot 1/m}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i}, \quad m = \left(1 + \frac{\tan \phi_i \cdot \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cdot \cos \alpha_i$$

dove 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} e 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.

Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

Verifica in condizioni statiche

Le analisi in condizioni statiche vengono eseguite con i parametri caratteristici di progetto del terreno. La verifica è superata se $FS \geq 1.30$.

Verifica in condizioni sismiche

A rigore il coefficiente di sicurezza in presenza di sisma potrebbe anche scendere sotto l'unità purché lo spostamento dell'ammasso in movimento risulti compatibile con la fruibilità della struttura.

L'analisi degli spostamenti richiede il ricorso a modelli più sofisticati (tipo modello di Newmark, 1965) e presuppone che siano disponibili accelerogrammi reali o sintetico significativi dell'azione sismica locale.

In accordo con le linee guida di progettazione, per ovviare alla complessità di tale approccio è consuetudine assumere, per le sole verifiche sismiche, un coefficiente di sicurezza ridotto e pari a $FS \geq 1.15$.

6.8.2 Verifica di immorsamento delle paratie

Secondo le linee guida di progettazione, la lunghezza di immorsamento della paratia viene definita sulla base del più restrittivo dei seguenti criteri:

- Garanzia nei riguardi della stabilità globale dell'opera;
- Mobilitazione della spinta passiva non superiore al 50÷67% della spinta potenzialmente mobilitabile (coefficiente di sicurezza sulla spinta passiva almeno pari a $FS \geq 1.5 \div 2.0$). Per opere provvisionali e per condizioni di carico transitorie o estreme tale valore può essere ulteriormente ridotto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 21 di 39

6.8.3 Verifica allo sfilamento dei tiranti

Attrito limite

Il valore dell'attrito unitario limite per bulbi di fondazione iniettati in pressione è condizionato dalla natura e grado di addensamento/compattezza dei terreni di fondazione, nonché, in misura assai rilevante, dalle modalità esecutive delle fondazioni stesse.

Secondo le raccomandazioni AICAP sui tiranti di ancoraggio e il metodo di Bustamante e Doix, nelle figure seguenti sono riportati i valori di riferimento per iniezioni ad alta pressione (APP) e iniezioni a bassa pressione o a gravità (APU).

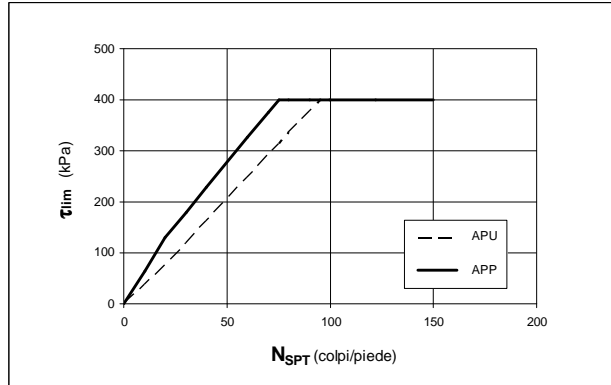
Nel caso APP, nella valutazione della portata laterale limite si terrà conto di un diametro D' di calcolo maggiorato rispetto a quello nominale di perforazione D , valutato mediante l'espressione seguente:

$$D' = \alpha \cdot D$$

dove: D diametro nominale di perforazione
 α coefficiente empirico (vedi tabella seguente)

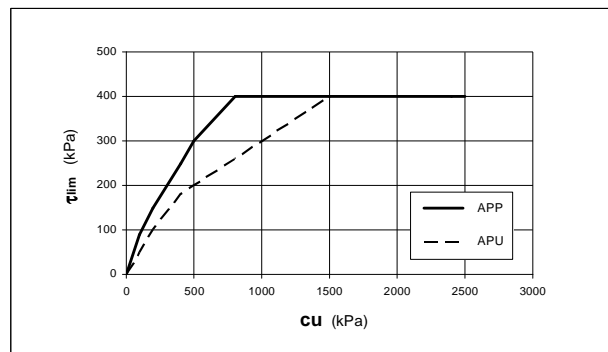
coefficiente α ($D' = \alpha \cdot D$)	tipo di terreno	tipo di iniezione	
		APP	APU
	ghiaia	1,6-1,8	1,2-1,4
	limo	1,4-1,6	1,1-1,2
	argilla ($N_{SP,T} < 20$ colpi/piede)	1,6-2,0	1,1-1,2
	argilla ($N_{SP,T} > 30$ colpi/piede)	1,2	1

Coefficiente α



APP	N_{SPT} (colpi/piede)	τ_{lim, AP} (kPa)
	N _{spt} <20	6.5N _{spt}
	20<N _{spt} <75	130+4.9(N _{spt} -20)
	N _{spt} >75	400
APU	N_{SPT} (colpi/piede)	τ_{lim, AP} (kPa)
	N _{spt} <20	6.5N _{spt}
	20<N _{spt} <90	130+4.9(N _{spt} -20)
	N _{spt} >90	400

Terreni granulari - $\tau_{LIM,AP} = f(N_{SPT})$



APP	C_u (kPa)	τ_{lim, AP} (kPa)
	cu<100	0.9cu
	100<cu<200	90+0.6(cu-100)
	200<cu<500	150+0.5(cu-200)
	500<cu<800	300+0.333(cu-500)
	cu>800	400
APU	C_u (kPa)	τ_{lim, AP} (kPa)
	cu<200	0.5cu
	200<cu<400	100+0.4(cu-200)
	400<cu<1500	180+0.2(cu-400)
	cu>1500	400

Terreni coesivi - $\tau_{LIM,AP} = f(C_u)$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 23 di 39</p>

La verifica statica è eseguita in condizioni di esercizio con riferimento ai coefficienti di sicurezza globali sulla resistenza calcolata prescritto in AICAP (1993):

$$FS = R_k / N_{max} \geq 2.5 \quad (\text{tiranti definitivi})$$

dove:

N_{max}	tiro massimo in esercizio
$R_k = \pi * D' * L * \tau_{LIM}$	resistenza caratteristica di progetto
L	lunghezza di ancoraggio del tirante

Verifica in condizioni sismiche

La verifica sismica è eseguita allo stato limite ultimo secondo la seguente relazione (EC7):

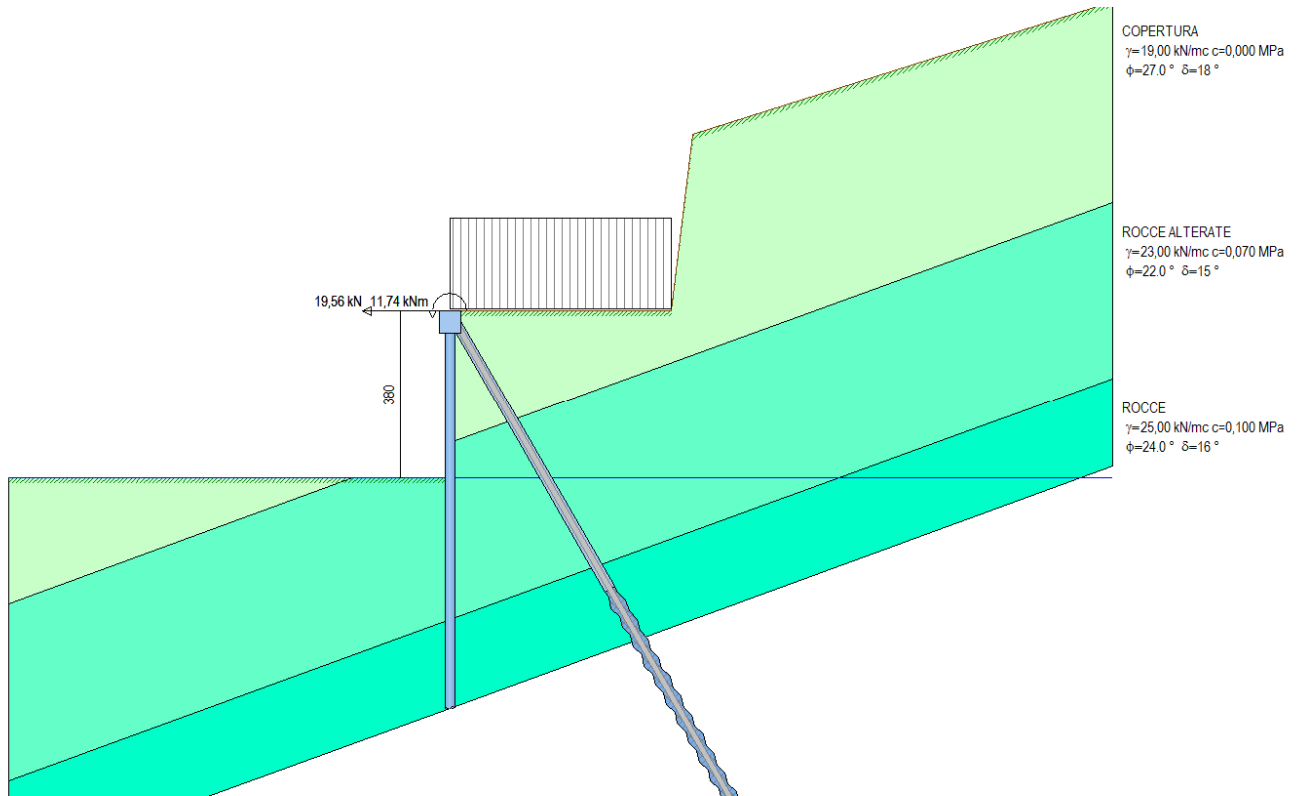
$$E_d < R_d$$

dove:

E_d	tiro massimo di progetto
$R_d = R_k / \gamma_R$	resistenza caratteristica di progetto
$\gamma_R = 1.50$	coefficiente di sicurezza sulla resistenza (tiranti definitivi)

7 Paratia tipo A - H=3.80 m

7.1 Schema di calcolo



7.1.1 Geometria dello scavo

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	5,00	0,00	0,00
3	5,50	4,00	82,87
4	15,00	7,00	17,53

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-3,80	0,00
2	0,00	-3,80	0,00

7.1.2 Descrizione dei terreni

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 $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali</p> <p>Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 25 di 39</p>

α inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
 Terreno Terreno associato allo strato

n°	DESCRIZIONE	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	COPERTURA	19,0000	19,0000	27,00	18,00	0,0000
2	ROCCE ALTERATE	23,0000	23,0000	22,00	14,67	0,0700
3	ROCCE	25,0000	25,0000	24,00	16,00	0,1000

7.1.3 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/cm²/cm
 α inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)
 Terreno Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	3,00	20,00	0,44	COPERTURA
2	4,00	20,00	3,27	ROCCE ALTERATE
3	2,00	20,00	5,28	ROCCE

7.1.4 Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
 Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
 F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
 F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
 M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
 Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
 V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
 R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1

Carico distribuito sul profilo $X_i = 0,00$ $X_f = 5,00$ $Q_i = 20,00$ $Q_f = 20,00$

Condizione n° 2

Carico concentrato sulla paratia $Y=0,00$ $F_x=19,56$ $F_y=0,00$ $M=11,74$

Condizione n° 3

Carico distribuito sulla paratia $Y_s=0,00$ $Y_i=3,80$ $V_s=0,04$ $V_i=0,04$
 Risultante carico distribuito $R=0,15$

7.2 Fasi di calcolo

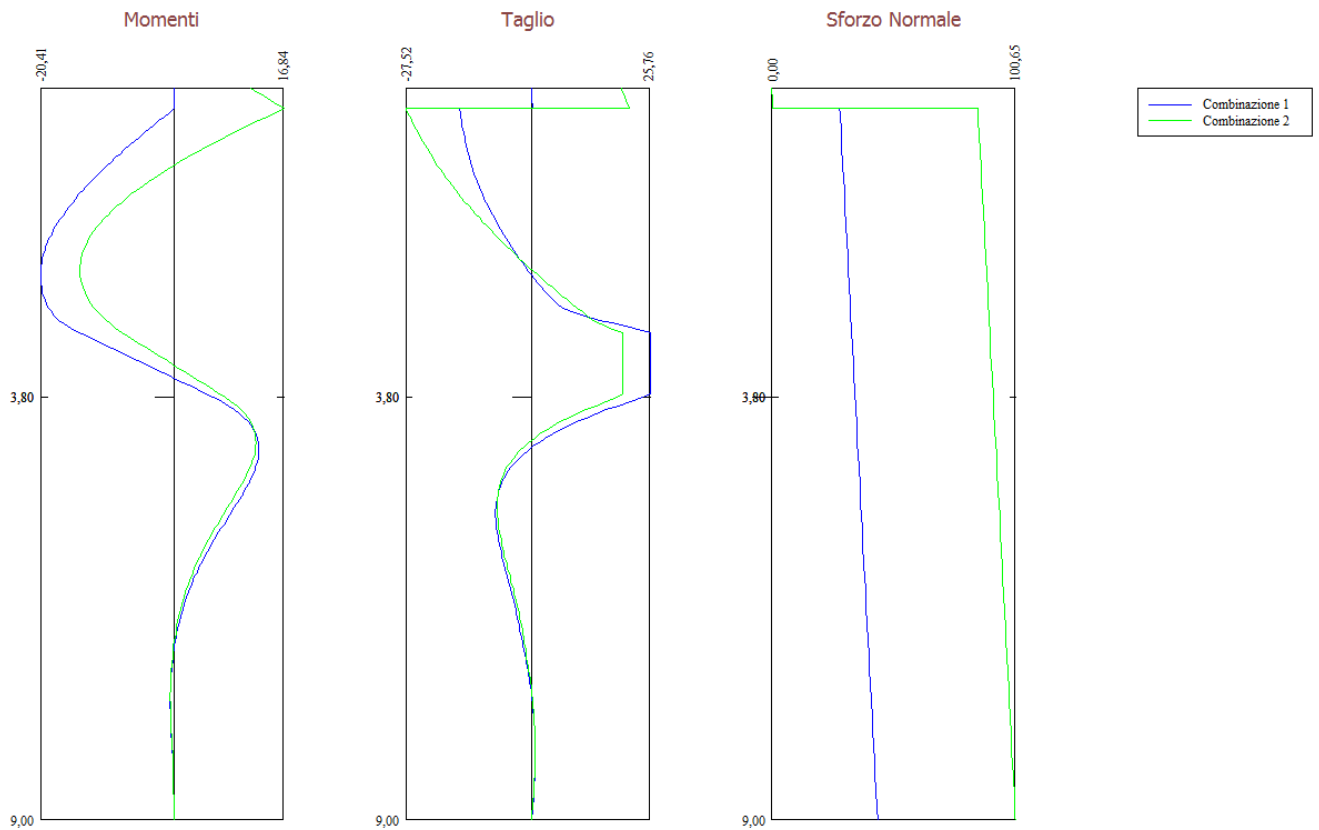
Simbologia adottata

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

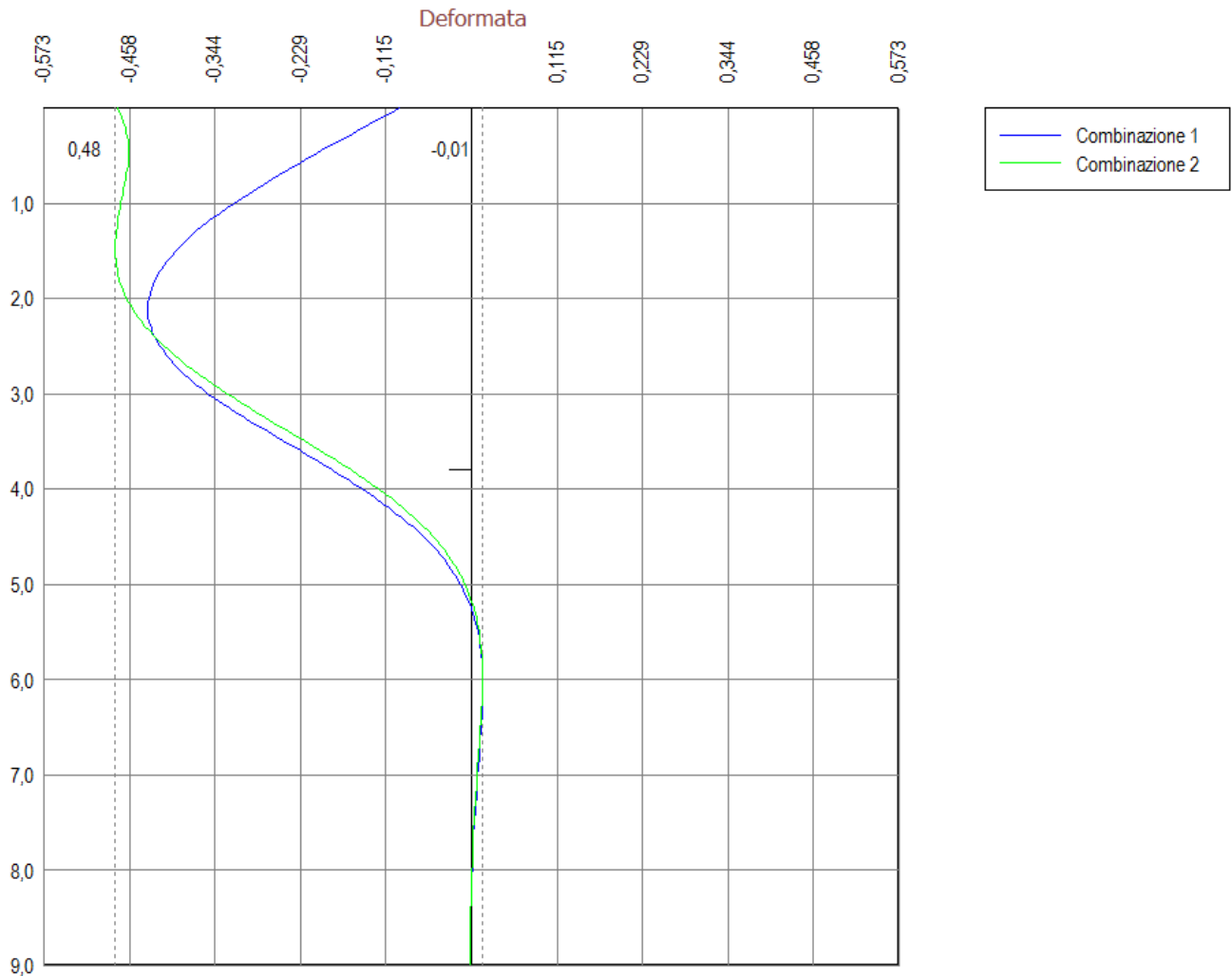
n°	Fase	Tempo	Fase	Tipo
1	Scavo fino alla profondità di 3.80 metri	0	1	Statica
2	Inserimento tirante 1 (X=0.25) [Hscavo=3.80]	0	1	Statica
3	Inserimento falda [Hscavo=3.80]	0	1	Statica
4	Inserimento SOVRACCARICO [Hscavo=3.80]	1	2	Statica
5	Inserimento URTO [Hscavo=3.80]	1	2	Statica
6	Inserimento SISMA [Hscavo=3.80]	2	3	Sismica

7.3 Risultati delle analisi statiche

Si riportano nelle figure seguenti l'andamento degli spostamenti orizzontali e i diagrammi delle sollecitazioni derivanti dall'analisi.



Analisi statica - Momento flettente [kNm], taglio [kN] e sforzo normale [kN] per metro di paratia

**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	sfuerzo 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]
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 [MPa]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti passivi armati con tubolare

n°	Y	nt	A_f	L	L_f
1	0,25	1	26,72	14,80	7,80

Combinazione n° 1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	50,97	31,8551	19,078	0,15437

Combinazione n° 2

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
----	---	-------	------------	---

1

156,33

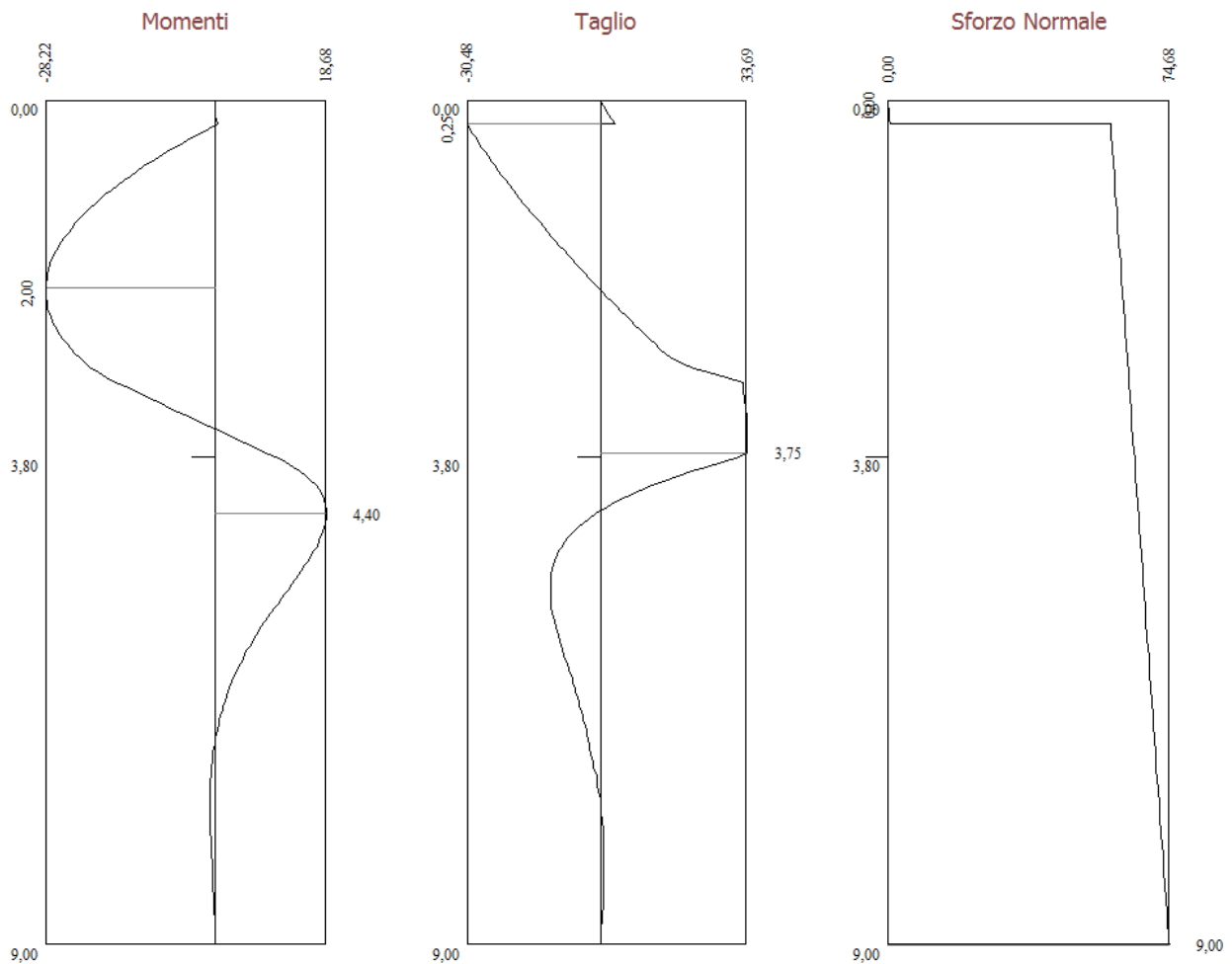
97,7034

58,514

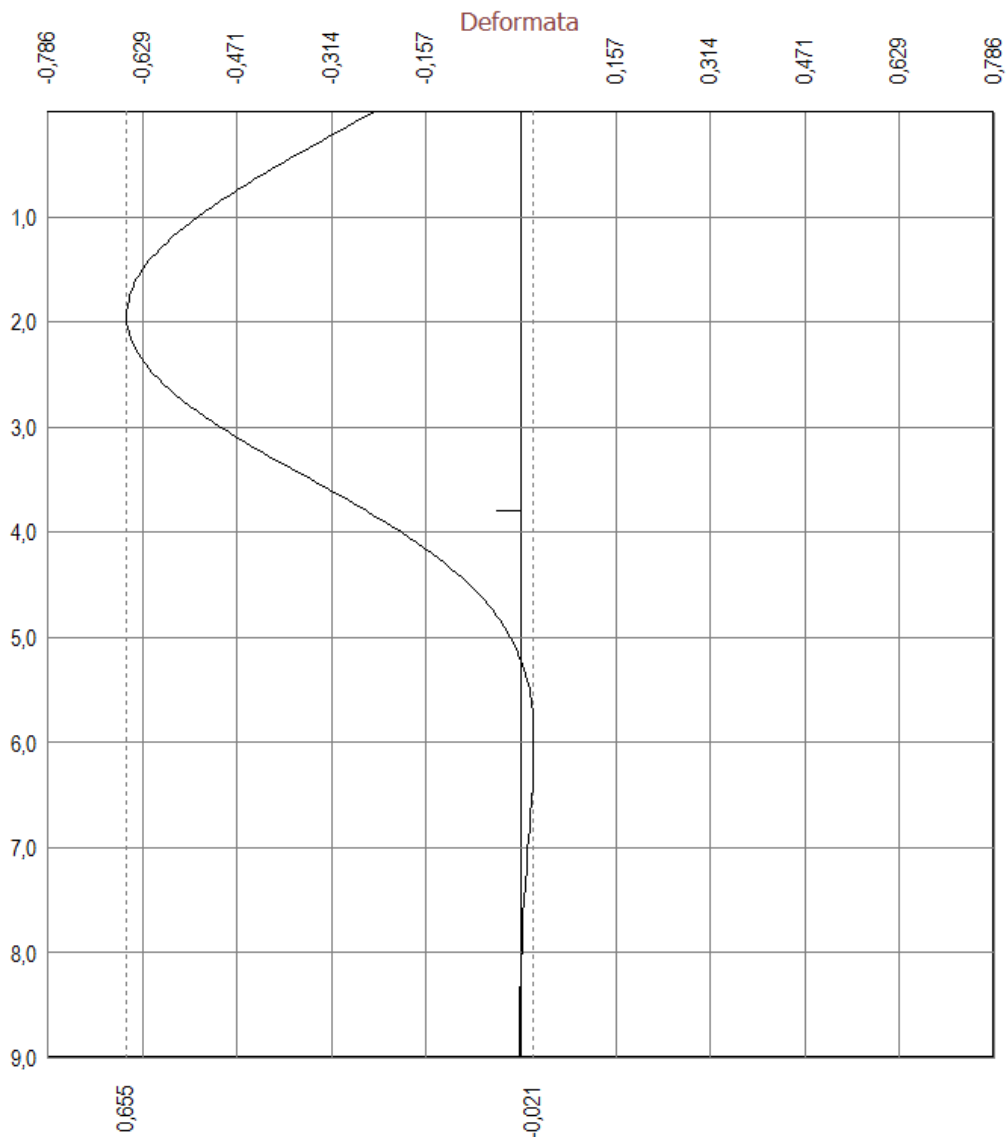
0,46173

7.4 Risultati delle analisi sismiche

Si riportano nelle figure seguenti l'andamento degli spostamenti orizzontali e i diagrammi delle sollecitazioni derivanti dall'analisi.



Analisi sismica - Momento flettente [kNm], taglio [kN] e sforzo normale [kN] per metro di paratia

**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]
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 [MPa]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti passivi armati con tubolare

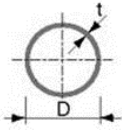
n°	Y	nt	A_f	L	L_f
1	0,25	1	26,72	14,80	7,80

Combinazione n° 1

N°	N	Rt/ml	σ_f	u
1	108,35	67,7181	40,556	0,32176

7.5 Verifiche strutturali

7.5.1 Verifica dei profili metallici

FLESSIONE, FORZA ASSIALE E TAGLIO (UNI ENV 1993-1-1)				
	A =	26,70 cm ²	f _y =	275,00 MPa
	W _{el} =	66,40 cm ³	γ _m =	1,10
	W _{pl} =	90,60 cm ³	ε =	0,924
	t =	8,0 mm	D/t =	14,29
	D =	114,3 mm		

Combinazione A-II (traffico)

$$N_{Sd} = 88.71 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 53.23 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 20.41 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 12.25 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = 27.52 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 16.51 \text{ kN}$$

Combinazione Sisma

$$N_{Sd} = 62.21 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 37.33 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 28.22 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 16.93 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = 30.48 \cdot 1.50 \cdot 0.40 = 18.29 \text{ kN}$$

N _{Sd} =	37,33 kN			
M _{Sd} =	16,93 kNm			
V _{Sd} =	18,29 kN			
TAGLIO				
A _v = A*2/π =	17,00 cm ²			(§ 5.4.6)
V _{pl,Rd} = A _v * f _y /√3 / Y _{M0} =	245,34 kN	d/tw < 69*ε	Nessuna instabilità per taglio	"
V _{Rd} =	245,34 kN	>	V _{Sd} = 18,29 kN	VERIFICA OK
FORZA ASSIALE				
N _{pl,Rd} = A*f _y /Y _{M0} =	667,50 kN		Classe 1, 2, 3	(§ 5.4.3.a, 5.4.4.a)
N _{Rd} =	667,50 kN	>	N _{Sd} = 37,33 kN	VERIFICA OK
MOMENTO FLETTENTE				
0,50*N _{pl,w} = 0,50*A _v *f _y /Y _{M0} > N _{Sd}	212,47	>	37,33	(§ 5.4.8.1.3)
0,25*N _{pl,Rd} = 0,25*A*f _y /Y _{M0} > N _{Sd}	166,88	>	37,33	Nsd trascurabile
M _{pl,Rd} = W _{pl} *f _y /Y _{M0} =	22,65 kNm		Classe 1, 2	(§ 5.4.5.1)
= W _{el} *f _y /Y _{M0} =	16,60 kNm		Classe 3	(§ 5.4.5.2)
M _{N,Rd} = M _{pl,Rd} *(1-(N _{Sd} /N _{pl,Rd}) ²) < M _{pl,Rd}	22,65 kNm		Classe 1, 2, 3	(§ 5.4.8.1, 5.4.8.2)
0,50*V _{pl,Rd} > V _{Sd}	122,67	>	18,29	Vsd trascurabile
ρ = (2*V _{Sd} /V _{pl,Rd} -1) ² =	0,724			
M ¹ _{pl,Rd} = W _{pl} *(1-ρ)*f _y /Y _{M0} =	6,25 kNm		Classe 1, 2	"
= W _{el} *(1-ρ)*f _y /Y _{M0} =	4,58 kNm		Classe 3	"
M _{V,Rd} = M ¹ _{pl,Rd} *(1-(N _{Sd} /N _{pl,Rd}) ²) < M ¹ _{pl,Rd}	6,23 kNm			"
M _{Rd} =	22,65 kNm	.	M _{Sd} = 16,93 kNm	VERIFICA OK

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Muri definitivi spondali Relazione di calcolo	ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc	Foglio 31 di 39

7.5.2 Verifica dei tiranti

Combinazione A-II (traffico)

1 Ordine $N_{Sd} = N_{max} * 1.50 = 156.33 * 1.50 = 234.50$ kN << $R_d = 600.75$ kN VERIFICA OK

Combinazione Sisma

1 Ordine $E_d = E_{max} * 1.50 = 108.35 * 1.50 = 162.53$ kN << $R_d = 600.75$ kN VERIFICA OK

7.5.3 Verifica delle travi di collegamento

La combinazione dimensionante delle travi di collegamento è quella statica con tiro massimo del tirante pari a $N_{Sd} = 234.50$ kN:

$$M_{Sd} = N_{Sd} * \text{Int} / 8 = 234.50 * 1.60 / 8 = 46.90 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = N_{Sd} / 2 = 234.50 / 2 = 117.25 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

SEZIONE	Rettangolare	Base (mm)	500	mm
		Altezza (mm)	500	mm
ARMATURA	Longitudinale	Intradosso	4Ø14	
		Estradosso	4Ø14	
	Trasversale	Staffe	1Ø12/200	

SOLLECITAZIONI $M_{Sd} = 46.90$ kNm
 $N_{Sd} = 0.00$ kN

VERIFICA $M_{Rd} = 104.60$ kNm > $M_{Sd} = 46.90$ kNm VERIFICA OK

Verifica a taglio

CALCOLO TAGLIO (D.M. 09/01/1996)									
DATI SEZIONE									
b_w [m]	d [m]	M_0 [kNm]	M_{Sd} [kNm]	V_{Sd} [kN]	δ	f_{cd} [MPa]	f_{ctd} [MPa]		
0,50	0,45	0,00	0,00	117,25	1,00	18,16	1,26		
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI							Verifica armatura longitudinale		
A_{s1} [cm ²]	r	ρ_1 [%]					V_{Rd} [kN]		
6,15	1,15	0,27%					92,94	>	$V_{Sd} = 117,25$ NON SUPERATA
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI									
s [m]	f_{ywd} [MPa]	nb	ϕ [mm]	A_{sw} [cm ²]	α [°]	Staffe	V_{wd} [kN]		
0,20	391,30	2	12	2,26	90	Staffe	179,23		
0,20	391,30	0	24	0,00	90	Staffe	0,00		
	313,04	0	26	0,00	45	Piegati	0,00		
	313,04	0	16	0,00	45	Piegati	0,00		
Verifica armatura trasversale							Verifica conglomerato		
V_{cd} [kN]	V_{wd} [kN]	V_{Sd} [kN]				V_{Rd} [kN]			
2451,09	179,23	2630,33		>	$V_{Sd} = 117,25$	1225,55	>	$V_{Sd} = 117,25$ VERIFICA OK	
		V_{wd} [kN]							
		179,23		>	$V_{Sd}/2 = 58,63$			VERIFICA OK	

7.6 Verifiche geotecniche

7.6.1 Verifica dei tiranti

Combinazione A-II (traffico)

$$N_{\max} = 156.33 \text{ kN}$$

Combinazione Sisma

$$E_d = 162.53 \text{ kN}$$

DATI TIRANTI					VERIFICA IN CONDIZIONI STATICHE			
Ordine	D [mm]	α	T_{LIM} [kPa]	N_{spt}	R_k/L [kN/m]	R_k [kN]	N_{\max} [kN]	$FS = R_k/N_{\max}$
1	220	1,00	130,00	20,00	89,85	449,25	156,33	2,87 > 2,50 VERIFICA OK
$R_k = \pi * D' * L * T_{LIM}$ $R_d = R_k / Y_R$					VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE			
			Y_R	L [m]	R_d/L [kN/m]	R_d [kN]	E_d [kN]	$FS = R_d/E_d$
			1,50	5,00	59,90	299,50	162,53	1,84 > 1,00 VERIFICA OK

7.6.2 Verifica di stabilità globale

Combinazioni statiche

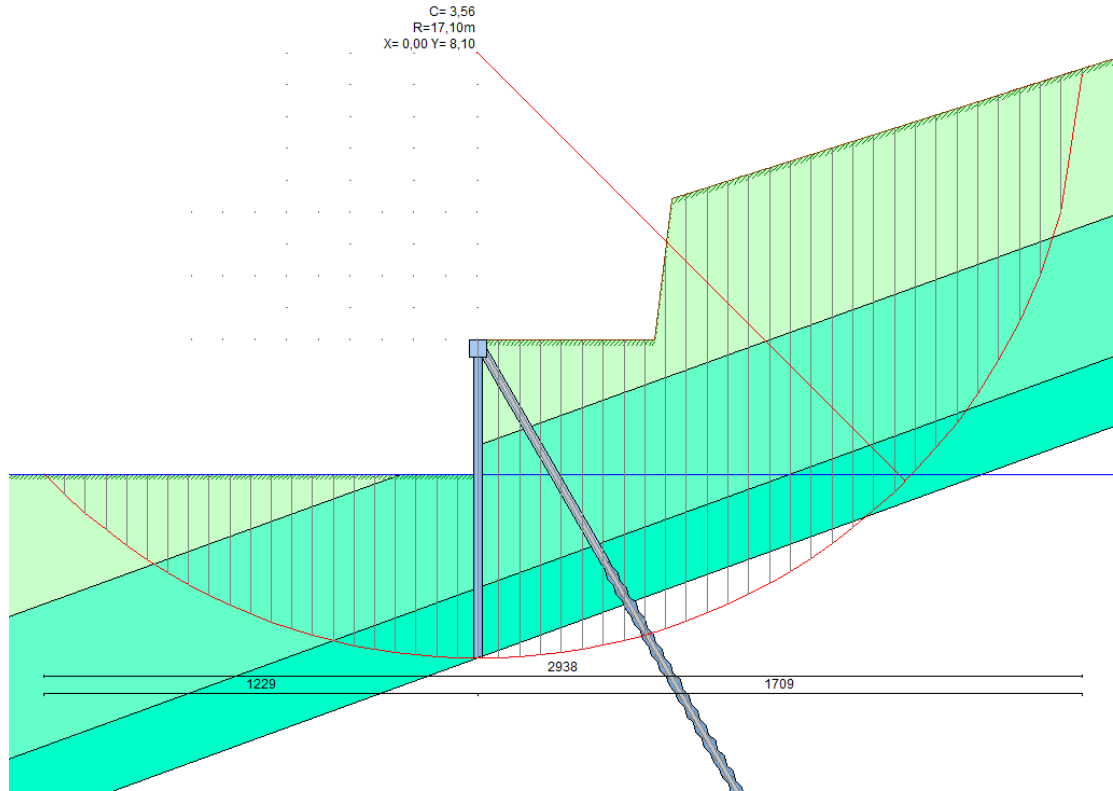
Metodo di Bishop

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; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,56
2	(0,00; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,61



Cerchio di stabilità globale critico in codizioni statiche

Combinazione Sismiche

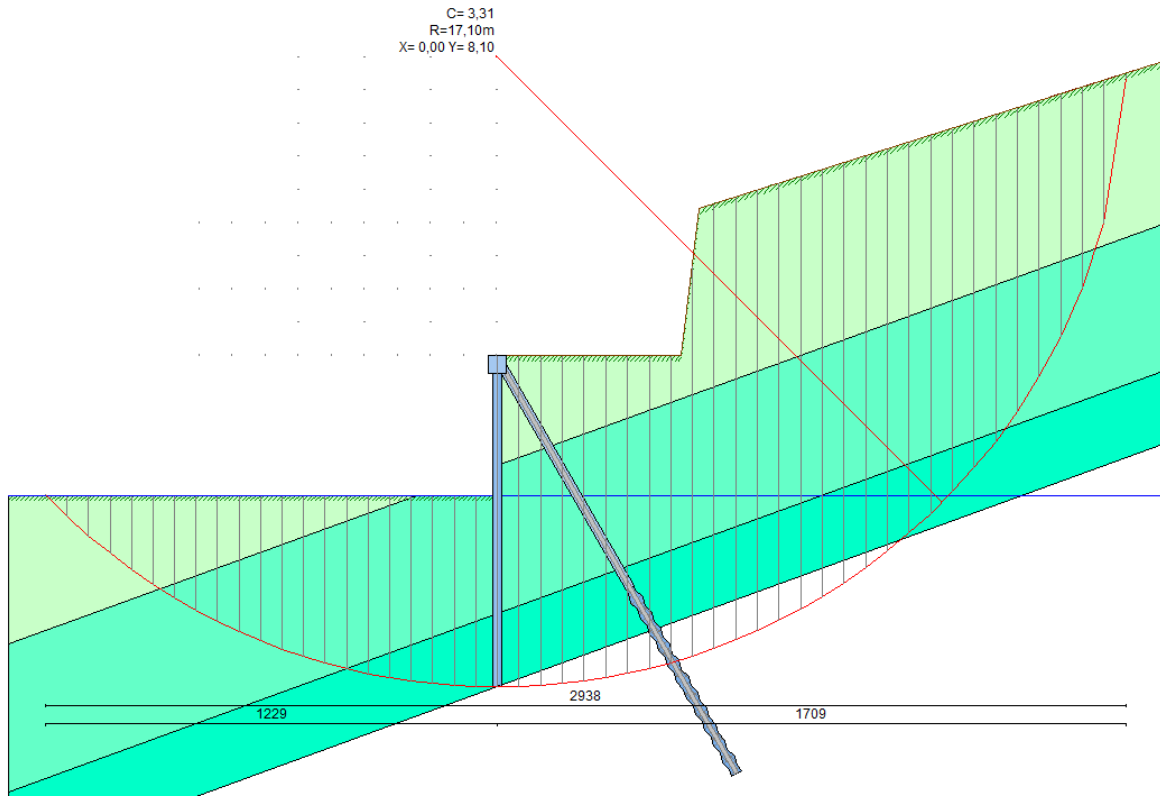
Metodo di Bishop

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; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,31



Cerchio di stabilità globale critico in codizioni sismiche

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
<p>Muri definitivi spondali Relazione di calcolo</p>	<p>ig51-01-e-cv-cl-nv05-05-004-a00.doc</p>	<p>Foglio 35 di 39</p>

8 Appendice: Allegati di calcolo paratie

PARATIA TIPO "A" – ANALISI STATICHE

Geometria paratia

Tipo paratia: Paratia di micropali		
Altezza fuori terra	3,80	[m]
Profondità di infissione	5,20	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[m]
Lunghezza paratia	1,60	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,40	[m]
Diametro dei micropali	22,00	[cm]
Numero totale di micropali	3	
Numero di micropali per metro lineare	1,88	
Diametro esterno del tubolare	114,30	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[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 [cm ²]
W	Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm ³]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

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	5,00	0,00	0,00
3	5,50	4,00	82,87
4	15,00	7,00	17,53

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-3,80	0,00
2	0,00	-3,80	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 [MPa]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	COPERTURA	19,0000	19,0000	27,00	18,00	0,0000
2	ROCCE ALTERATE	23,0000	23,0000	22,00	14,67	0,0700
3	ROCCE	25,0000	25,0000	24,00	16,00	0,1000

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	3,00	20,00	0,44	COPERTURA
2	4,00	20,00	3,27	ROCCE ALTERATE
3	2,00	20,00	5,28	ROCCE

Falda

Profondità della falda a monte rispetto alla sommità della paratia	3,80	[m]
Profondità della falda a valle rispetto alla sommità della paratia	3,80	[m]
Regime delle pressioni neutre:	Idrostatico	

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo

Peso specifico	25,00	[kN/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	30,0	[MPa]
Tensione di progetto a compressione σ_c	9,7	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	0,60	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1,81	[MPa]

Acciaio

Tipo	Fe 430	
Tensione ammissibile σ_{ta}	186,3	[MPa]
Tensione di snervamento f_{yk}	274,6	[MPa]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione ammissibile σ_{ta}	450,0	[MPa]
Tensione di snervamento f_{yk}	450,0	[MPa]

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	24,5	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	0,52	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1,65	[MPa]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo	Precomp	
Tensione di progetto σ_{ta}	980,68	[MPa]
Tensione di snervamento f_{yk}	1569,09	[MPa]

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia	
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia	
F_x	Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F_y	Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q_i, Q_j	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espressa in [kN/mq]
V_i, V_s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espressa in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n°1

Carico distribuito sul profilo	$X_i = 0,00$	$X_j = 5,00$	$Q_i = 20,00$	$Q_j = 20,00$
--------------------------------	--------------	--------------	---------------	---------------

Condizione n°2

Carico concentrato sulla paratia	$Y=0,00$	$F_x=19,56$	$F_y=0,00$	$M=11,74$
----------------------------------	----------	-------------	------------	-----------

Condizione n°3

Carico distribuito sulla paratia	$Y_s=0,00$	$Y_i=3,80$	$V_s=0,04$	$V_i=0,04$
Risultante carico distribuito	$R=0,15$			

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata**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	diámetro 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

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	numero d'ordine della fila
Dt	diámetro esterno del tubolare espresso in [mm]
St	spessore del tubolare espresso in [mm]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr
1	0,25	1,60	60,00	22,00	1,00	Centrati	1

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	Dt	St
1	114,30	8,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1

Spinta terreno

Combinazione n°2

Spinta terreno

Condizione 1 (ACC)	x 1.00
Condizione 2 (URTO)	x 1.00

Impostazioni di progetto**Spinte e verifiche secondo :**

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

Verifica materiali

Stato limite ultimo

Impostazioni di analisi**Analisi per Combinazioni di Carico.**

Rottura del terreno: Pressione passiva Spostamento limite (spostamento limite molle pari a 1.50)

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

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

Analisi della spinta**Pressioni terreno****Simbologia adottata**

Sono riportati i valori delle pressioni in corrispondenza delle sezioni di calcolo
Y ordinata rispetto alla testa della paratia espressa in [m] e positiva verso il basso.
Le pressioni sono tutte espresse in [MPa]

σ_{am}	sigma attiva da monte
σ_{av}	sigma attiva da valle
σ_{pm}	sigma passiva da monte

σ_{pv}	sigma passiva da valle
δ_a	inclinazione spinta attiva espressa in [°]
δ_p	inclinazione spinta passiva espressa in [°]

Combinazione n°1

n°	Y(m)	σ_{am}	σ_{av}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	18,0	0,0
11	1,00	0,00635	0,00000	0,05060	0,00000	18,0	0,0
21	2,00	0,01269	0,00000	0,10119	0,00000	18,0	0,0
31	2,98	0,07420	0,00000	0,15002	0,00000	18,0	0,0
41	3,80	0,00000	0,00000	0,53387	0,20548	14,7	0,0
51	4,80	0,00000	0,00000	0,63544	0,23656	14,7	0,0
61	5,80	0,00000	0,00000	0,88555	0,26556	14,7	0,0
71	6,80	0,00000	0,00000	1,31860	0,29455	14,7	0,0
81	7,60	0,00000	0,00000	1,25920	0,38953	16,0	0,0
91	8,60	0,00000	0,00000	1,32377	0,42332	16,0	0,0

Combinazione n°2

n°	Y(m)	σ_{am}	σ_{av}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00661	0,00000	0,05273	0,00000	18,0	0,0
11	1,00	0,01302	0,00000	0,10385	0,00000	18,0	0,0
21	2,00	0,01937	0,00000	0,15445	0,00000	18,0	0,0
31	2,98	0,06439	0,00000	0,20328	0,00000	18,0	0,0
41	3,80	0,00000	0,00000	0,57534	0,20548	14,7	0,0
51	4,80	0,00000	0,00000	0,70112	0,23656	14,7	0,0
61	5,80	0,00000	0,00000	0,97658	0,26556	14,7	0,0
71	6,80	0,00000	0,00000	1,45013	0,29455	14,7	0,0
81	7,60	0,00000	0,00000	1,25533	0,38953	16,0	0,0
91	8,60	0,00000	0,00000	1,32348	0,42332	16,0	0,0

Analisi della paratia**L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico**

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 76 elementi fuori terra e 104 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva oppure lo spostamento limite di 1.50 [cm] non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3,80	[m]
Profondità di infissione	5,20	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Pa	Y _{Pa}	Is	Y _{Is}	Pw	Y _{Pw}	Pp	Y _{Pp}	Pc	Y _{Pc}
1	41,69	2,30	--	--	0,00	0,00	-34,27	4,29	8,51	6,48
2	49,13	1,86	--	--	0,00	0,00	-28,04	4,28	8,20	6,39

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Rc	Y _{Rc}	Rt	Y _{Rt}	Rv	Y _{Rv}	Rp	Y _{Rp}
1	0,00	0,00	15,93	0,25	--	--	--	--
2	19,56	0,00	48,85	0,25	--	--	--	--

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]

P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
Pp	Portanza di punta, espressa in [kN]

n°	P _{NUL}	P _{INV}	C _{ROT}	MP	R/R _{MAX}	Pp
1	3,80	3,80	5,26	0,00	0,98	120,96
2	3,80	3,80	5,17	0,00	0,82	120,96

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]
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 _t	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [MPa]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti passivi armati con tubolare

n°	Y	nt	A _f	L	L _f
1	0,25	1	26,72	14,80	7,80

Combinazione n°1

N°	N	Rt/ml	σ _t	u
1	50,97	31,8551	19,078	0,15437

Combinazione n°2

N°	N	Rt/ml	σ _t	u
1	156,33	97,7034	58,514	0,46173

Sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kNm]
N	sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio espresso in [kN]

Combinazione n°1

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,45	-3,0933	28,3892	-15,3165
21	0,95	-10,2857	29,2801	-13,2044
31	1,45	-16,0449	30,1710	-9,5835
41	1,95	-19,6165	31,0620	-4,4539
51	2,45	-20,2461	31,9529	2,1843
61	2,95	-15,7948	32,8438	22,2127
71	3,45	-3,0037	33,7348	25,7595
81	3,95	9,2352	34,6257	16,2645
91	4,45	12,9582	35,5166	-0,8789
101	4,95	10,7500	36,4076	-7,2371
111	5,45	6,8780	37,2985	-7,6525
121	5,95	3,4500	38,1895	-5,6796
131	6,45	1,1403	39,0804	-3,3768
141	6,95	-0,1268	39,9713	-1,6425
151	7,45	-0,5624	40,8623	-0,0978
161	7,95	-0,4399	41,7532	0,5198
171	8,45	-0,1635	42,6441	0,4998
181	8,95	-0,0017	43,5351	0,0342

Combinazione n°2

n°	Y	M	N	T
1	0,00	11,7400	0,0000	19,5600
11	0,45	11,5046	85,4155	-25,8285
21	0,95	-0,1497	86,3064	-20,5401

31	1,45	-8,7827	87,1974	-13,7430
41	1,95	-13,6401	88,0883	-5,4373
51	2,45	-13,9673	88,9792	4,3772
61	2,95	-8,9590	89,8702	16,8697
71	3,45	0,8852	90,7611	19,8366
81	3,95	10,2500	91,6520	11,6666
91	4,45	12,3787	92,5430	-2,5971
101	4,95	9,7174	93,4339	-7,3612
111	5,45	5,9599	94,3248	-7,1267
121	5,95	2,8338	95,2158	-5,0480
131	6,45	0,8160	96,1067	-2,8734
141	6,95	-0,2392	96,9977	-1,3135
151	7,45	-0,5610	97,8886	0,0184
161	7,95	-0,4115	98,7795	0,5149
171	8,45	-0,1486	99,6705	0,4597
181	8,95	-0,0015	100,5614	0,0306

Spostamenti della paratia

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
u	spostamento orizzontale espresso in [cm] positivo verso valle
v	spostamento verticale espresso in [cm] positivo verso il basso

Combinazione n°1

N°	Y	u	v
1	0,00	0,09626	0,01425
11	0,50	0,21206	0,01393
21	1,00	0,31770	0,01327
31	1,50	0,39556	0,01259
41	2,00	0,43149	0,01189
51	2,50	0,41713	0,01118
61	3,00	0,35207	0,01044
71	3,50	0,25135	0,00968
81	4,00	0,14617	0,00890
91	4,50	0,06449	0,00810
101	5,00	0,01484	0,00728
111	5,50	-0,00840	0,00644
121	6,00	-0,01482	0,00558
131	6,50	-0,01285	0,00470
141	7,00	-0,00817	0,00380
151	7,50	-0,00384	0,00288
161	8,00	-0,00086	0,00194
171	8,50	0,00109	0,00098
181	9,00	0,00264	0,00000

Combinazione n°2

N°	Y	u	v
1	0,00	0,47408	0,03692
11	0,50	0,45891	0,03595
21	1,00	0,46921	0,03400
31	1,50	0,47718	0,03203
41	2,00	0,46170	0,03003
51	2,50	0,41153	0,02802
61	3,00	0,32726	0,02599
71	3,50	0,22343	0,02393
81	4,00	0,12439	0,02186
91	4,50	0,05120	0,01976
101	5,00	0,00857	0,01765
111	5,50	-0,01021	0,01551
121	6,00	-0,01442	0,01336
131	6,50	-0,01176	0,01118
141	7,00	-0,00717	0,00899
151	7,50	-0,00320	0,00677
161	8,00	-0,00058	0,00453
171	8,50	0,00107	0,00228
181	9,00	0,00236	0,00000

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_I, Y_I) 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; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,56
2	(0,00; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,61

Combinazione n°1

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 [MPa]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 L sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cox)
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [MPa]
 Ctn, Ctt contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsin α	L	φ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	3,0914	-44,57	-221,23	0,82	22,00	0,0700	0,0027	(0,00; 0,00)
2	9,2142	-41,88	-627,21	0,79	22,00	0,0700	0,0081	(0,00; 0,00)
3	14,7941	-39,29	-955,38	0,76	22,00	0,0700	0,0130	(0,00; 0,00)
4	19,8912	-36,80	-1215,09	0,73	22,00	0,0700	0,0175	(0,00; 0,00)
5	24,5527	-34,39	-1414,12	0,71	22,00	0,0700	0,0217	(0,00; 0,00)
6	29,1076	-32,05	-1574,84	0,69	22,00	0,0700	0,0254	(0,00; 0,00)
7	34,2432	-29,76	-1733,15	0,67	22,00	0,0700	0,0289	(0,00; 0,00)
8	39,0463	-27,52	-1839,94	0,66	22,00	0,0700	0,0320	(0,00; 0,00)
9	43,4621	-25,33	-1896,30	0,65	22,00	0,0700	0,0348	(0,00; 0,00)
10	47,5121	-23,18	-1907,15	0,64	22,00	0,0700	0,0374	(0,00; 0,00)
11	51,2144	-21,06	-1877,00	0,63	22,00	0,0700	0,0398	(0,00; 0,00)
12	54,5846	-18,98	-1809,98	0,62	22,00	0,0700	0,0419	(0,00; 0,00)
13	57,6355	-16,92	-1709,97	0,61	22,00	0,0700	0,0437	(0,00; 0,00)
14	60,3784	-14,88	-1580,59	0,61	22,00	0,0700	0,0453	(0,00; 0,00)
15	63,0376	-12,86	-1430,17	0,60	24,00	0,1000	0,0468	(0,00; 0,00)
16	65,5833	-10,85	-1259,02	0,60	24,00	0,1000	0,0480	(0,00; 0,00)
17	67,8194	-8,86	-1065,22	0,59	24,00	0,1000	0,0490	(0,00; 0,00)
18	69,6091	-6,88	-850,37	0,59	24,00	0,1000	0,0498	(0,00; 0,00)
19	70,7576	-4,91	-617,43	0,59	24,00	0,1000	0,0504	(0,00; 0,00)
20	71,5948	-2,94	-374,84	0,59	24,00	0,1000	0,0507	(0,00; 0,00)
21	72,1375	-0,98	-125,89	0,59	24,00	0,1000	0,0509	(0,00; 0,00)
22	117,5771	0,99	206,62	0,59	24,00	0,1000	0,0509	(0,00; 0,00)
23	118,0360	2,96	622,29	0,59	24,00	0,1000	0,0507	(0,00; 0,00)
24	118,1942	4,94	1038,54	0,59	24,00	0,1000	0,0503	(0,00; 0,00)
25	118,0496	6,93	1452,17	0,59	24,00	0,1000	0,0497	(0,00; 0,00)
26	117,5989	8,92	1859,95	0,60	24,00	0,1000	0,0489	(0,00; 0,00)
27	116,8376	10,93	2258,56	0,60	24,00	0,1000	0,0479	(0,00; 0,00)
28	115,7599	12,95	2644,60	0,60	24,00	0,1000	0,0467	(0,00; 0,00)
29	114,3586	14,98	3014,53	0,61	24,00	0,1000	0,0453	(21,50; 5,77)
30	119,6392	17,04	3574,24	0,62	24,00	0,1000	0,0436	(0,00; 0,00)
31	152,8743	19,11	5104,47	0,62	24,00	0,1000	0,0417	(0,00; 0,00)
32	155,3369	21,22	5732,69	0,63	24,00	0,1000	0,0396	(0,00; 0,00)
33	154,6194	23,35	6249,69	0,64	24,00	0,1000	0,0372	(0,00; 0,00)
34	153,5145	25,52	6744,64	0,65	24,00	0,1000	0,0346	(0,00; 0,00)
35	152,0018	27,73	7212,49	0,67	24,00	0,1000	0,0317	(0,00; 0,00)
36	150,0567	29,99	7647,68	0,68	24,00	0,1000	0,0285	(0,00; 0,00)
37	147,6500	32,30	8044,07	0,70	24,00	0,1000	0,0250	(0,00; 0,00)
38	144,7465	34,66	8394,75	0,72	24,00	0,1000	0,0212	(0,00; 0,00)
39	141,3034	37,10	8691,86	0,74	24,00	0,1000	0,0170	(0,00; 0,00)
40	137,2681	39,62	8926,28	0,77	24,00	0,1000	0,0124	(0,00; 0,00)
41	132,5748	42,24	9087,28	0,80	24,00	0,1000	0,0074	(0,00; 0,00)
42	127,1395	44,97	9161,86	0,83	24,00	0,1000	0,0019	(0,00; 0,00)
43	120,8526	47,83	9133,94	0,88	24,00	0,1000	0,0000	(0,00; 0,00)
44	113,5660	50,87	8982,83	0,93	24,00	0,1000	0,0000	(0,00; 0,00)

45	105,1859	54,12	8690,27	1,01	23,00	0,0850	0,0000	(0,00; 0,00)
46	95,8838	57,65	8259,56	1,10	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
47	84,7922	61,57	7603,28	1,24	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
48	71,0031	66,08	6618,14	1,45	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
49	52,8279	71,65	5112,91	1,87	24,50	0,0350	0,0000	(0,00; 0,00)
50	22,4278	81,41	2261,33	3,95	27,00	0,0000	0,0000	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]

ΣW_i= 4440,9435 [kN]ΣW_isinα= 1355,7580 [kN]ΣW_itanφ_i= 1946,5424 [kN]Σtanα_itanφ_i= 9.04

PARATIA TIPO "A" – ANALISI SISMICHE

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	3,80	[m]
Profondità di infissione	5,20	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[m]
Lunghezza paratia	1,60	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,40	[m]
Diametro dei micropali	22,00	[cm]
Numero totale di micropali	3	
Numero di micropali per metro lineare	1,88	
Diametro esterno del tubolare	114,30	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[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 [cm ²]
W	Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm ³]

n°	Y	Tipo	B	H	A	W
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

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	5,00	0,00	0,00
3	5,50	4,00	82,87
4	15,00	7,00	17,53

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-3,80	0,00
2	0,00	-3,80	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 in [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 [MPa]

n°	Descrizione	γ	γ _s	φ	δ	c
1	COPERTURA	19,0000	19,0000	27,00	0,00	0,0000
2	ROCCE ALTERATE	23,0000	23,0000	22,00	0,00	0,0700
3	ROCCE	25,0000	25,0000	24,00	0,00	0,1000

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 GRAD(°)
Terreno	Terreno associato allo strato

n°	sp	α	kw	Terreno
1	3,00	20,00	0,44	COPERTURA
2	4,00	20,00	3,27	ROCCE ALTERATE
3	2,00	20,00	5,28	ROCCE

Falda

Profondità della falda a monte rispetto alla sommità della paratia	3,80	[m]
Profondità della falda a valle rispetto alla sommità della paratia	3,80	[m]
Regime delle pressioni neutre:	Idrostatico	

Caratteristiche materiali utilizzati

Calcestruzzo		
Peso specifico	25,00	[kN/mc]
Classe di Resistenza	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	30,0	[MPa]
Tensione di progetto a compressione σ _c	9,7	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ _{cd}	0,60	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ _{ct1}	1,81	[MPa]

Acciaio

Tipo	Fe 430	
Tensione ammissibile σ _{ta}	186,3	[MPa]
Tensione di snervamento f _{yk}	274,6	[MPa]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione ammissibile σ _{ta}	450,0	[MPa]
Tensione di snervamento f _{yk}	450,0	[MPa]

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	24,5	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ _{cd}	0,52	[MPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ _{ct1}	1,65	[MPa]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo	Precomp	
Tensione di progetto σ _{ta}	980,68	[MPa]
Tensione di snervamento f _{yk}	1569,09	MPa

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia	
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia	
F _x	Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F _y	Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q _i , Q _i	intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
V _i , V _s	intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n°1

Carico distribuito sul profilo	X _i = 0,00	X _i = 5,00	Q _i = 20,00	Q _i = 20,00
--------------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------

Condizione n°2

Carico concentrato sulla paratia	Y=0,00	F _x =19,56	F _y =0,00	M=11,74
----------------------------------	--------	-----------------------	----------------------	---------

Condizione n°3

Carico distribuito sulla paratia	Y _s =0,00	Y _i =3,80	V _s =0,04	V _i =0,04
Risultante carico distribuito	R=0,15			

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

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N numero d'ordine della fila
 Dt diametro esterno del tubolare espresso in [mm]
 St spessore del tubolare espresso in [mm]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr
1	0,25	1,60	60,00	22,00	1,00	Centrati	1

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	Dt	St
1	114,30	8,00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n°1

Spinta terreno
 Condizione 3 (SISMA) x 1.00

Impostazioni di progetto**Spinte e verifiche secondo :**

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

Verifica materiali

Stato limite ultimo

Impostazioni di analisi**Analisi per Combinazioni di Carico.**

Rottura del terreno: Pressione passiva Spostamento limite (spostamento limite molle pari a 1.50)

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva Ka 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) 4.00

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

Analisi della spinta**Pressioni terreno****Simbologia adottata**

Sono riportati i valori delle pressioni in corrispondenza delle sezioni di calcolo
 Y ordinata rispetto alla testa della paratia espressa in [m] e positiva verso il basso.
 Le pressioni sono tutte espresse in [MPa]
 σ_{am} sigma attiva da monte
 σ_{pm} sigma passiva da monte
 σ_{pv} sigma passiva da valle
 δ_a inclinazione spinta attiva espressa in [°]
 δ_p inclinazione spinta passiva espressa in [°]

n°	Y(m)	σ_{am}	σ_{pv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,01300	0,00000	0,00000	0,00000	0,0	0,0
11	1,00	0,01672	0,00000	0,05060	0,00000	0,0	0,0
21	2,00	0,02043	0,00000	0,10119	0,00000	0,0	0,0
31	2,98	0,07676	0,00000	0,15002	0,00000	0,0	0,0

41	3,80	0,00000	0,00000	0,53387	0,20548	0,0	0,0
51	4,80	0,00000	0,00000	0,63544	0,23656	0,0	0,0
61	5,80	0,00000	0,00000	0,88555	0,26556	0,0	0,0
71	6,80	0,00000	0,00000	1,31860	0,29455	0,0	0,0
81	7,60	0,00000	0,00000	1,25920	0,38953	0,0	0,0
91	8,60	0,00000	0,00000	1,32377	0,42332	0,0	0,0

Analisi della paratia**L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico**

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 76 elementi fuori terra e 104 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva oppure lo spostamento limite di 1.50 [cm] non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3,80	[m]
Profondità di infissione	5,20	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase
 Pa Spinta attiva, espressa in [kN]
 Is Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
 Pw Spinta della falda, espressa in [kN]
 Pp Resistenza passiva, espressa in [kN]
 Pc Controspinta, espressa in [kN]

n°	Pa	Y _{Pa}	Is	Y _{Is}	Pw	Y _{Pw}	Pp	Y _{Pp}	Pc	Y _{Pc}
1	42,70	2,22	24,70	1,27	0,00	0,00	-45,96	4,28	12,26	6,44

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase
 Rc Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
 Rt Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
 Rv Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
 Rp Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Rc	Y _{Rc}	Rt	Y _{Rt}	Rv	Y _{Rv}	Rp	Y _{Rp}
1	0,15	1,90	33,86	0,25	--	--	--	--

Simbologia adottata

n° Indice della Combinazione/Fase
 P_{NUL} Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
 P_{INV} Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
 C_{ROT} Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
 MP Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
 R/R_{MAX} Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]
 Pp Portanza di punta, espressa in [kN]

n°	P _{NUL}	P _{INV}	C _{ROT}	MP	R/R _{MAX}	Pp
1	3,80	3,80	5,22	0,00	1,33	120,96

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_i lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
 A_i area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
 Rt/ml reazione a metro lineare del tirante della fila espressa in [kN]
 σ_t tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [MPa]
 u spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

1 file di tiranti passivi armati con tubolare

n°	Y	nt	A _i	L	L _i
1	0,25	1	26,72	12,80	5,80

N°	N	Rt/ml	σ_t	u
1	108,35	67,7181	40,556	0,32176

Pressioni orizzontali agenti sulla paratia

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della sezione
 Y ordinata della sezione espressa in [m]
 P pressione sulla paratia espressa in [MPa] positiva da monte verso valle

N°	Y	P
1	0,00	0,0000
11	0,45	14,6735
21	0,95	16,5301
31	1,45	18,3868
41	1,95	20,2434
51	2,45	22,1000
61	2,95	76,8536
71	3,45	1,1976
1	3,80	-82,4465
11	4,30	-40,2750
21	4,80	-12,6641
31	5,30	1,5257
41	5,80	6,5066
51	6,30	6,4924
61	6,80	4,5266
71	7,30	3,8391
81	7,80	1,2884
91	8,30	-0,3308
101	8,80	-1,4821

Sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della sezione
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
 M momento flettente espresso in [kNm]
 N sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)
 T taglio espresso in [kN]

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,45	-5,3945	59,4474	-27,6139
21	0,95	-17,2845	60,3384	-19,7930
31	1,45	-25,0320	61,2293	-11,0438
41	1,95	-28,1728	62,1202	-1,3662
51	2,45	-26,2428	63,0112	9,2396
61	2,95	-18,0826	63,9021	28,7286
71	3,45	-1,6651	64,7931	33,4726
81	3,95	14,2757	65,6840	20,6755
91	4,45	18,6293	66,5749	-2,4928
101	4,95	15,0687	67,4659	-10,7176
111	5,45	9,4611	68,3568	-10,8732
121	5,95	4,6368	69,2477	-7,9011
131	6,45	1,4482	70,1387	-4,6081
141	6,95	-0,2648	71,0296	-2,1826
151	7,45	-0,8252	71,9205	-0,0624
161	7,95	-0,6263	72,8115	0,7601
171	8,45	-0,2298	73,7024	0,7061
181	8,95	-0,0024	74,5933	0,0477

Spostamenti della paratia

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della sezione
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
 u spostamento orizzontale espresso in [cm] positivo verso valle
 v spostamento verticale espresso in [cm] positivo verso il basso

N°	Y	u	v
1	0,00	0,24407	0,02660
11	0,50	0,39887	0,02592
21	1,00	0,53620	0,02456
31	1,50	0,62755	0,02318
41	2,00	0,65423	0,02177
51	2,50	0,60952	0,02035
61	3,00	0,49992	0,01891
71	3,50	0,34969	0,01744

81	4,00	0,19948	0,01596
91	4,50	0,08543	0,01445
101	5,00	0,01741	0,01293
111	5,50	-0,01361	0,01138
121	6,00	-0,02149	0,00982
131	6,50	-0,01812	0,00823
141	7,00	-0,01130	0,00663
151	7,50	-0,00519	0,00500
161	8,00	-0,00106	0,00335
171	8,50	0,00158	0,00169
181	9,00	0,00369	0,00000

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; 8,10)	17,10	(-12,29; -3,79)	(17,09; 7,52)	3,31

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)
e	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [MPa]
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 [MPa]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsin α	L	φ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	3,0914	-44,57	-221,23	0,82	22,00	0,0700	0,0027	(0,00; 0,00)
2	9,2142	-41,88	-627,21	0,79	22,00	0,0700	0,0081	(0,00; 0,00)
3	14,7941	-39,29	-955,38	0,76	22,00	0,0700	0,0130	(0,00; 0,00)
4	19,8912	-36,80	-1215,09	0,73	22,00	0,0700	0,0175	(0,00; 0,00)
5	24,5527	-34,39	-1414,12	0,71	22,00	0,0700	0,0217	(0,00; 0,00)
6	29,1076	-32,05	-1574,84	0,69	22,00	0,0700	0,0254	(0,00; 0,00)
7	34,2432	-29,76	-1733,15	0,67	22,00	0,0700	0,0289	(0,00; 0,00)
8	39,0463	-27,52	-1839,94	0,66	22,00	0,0700	0,0320	(0,00; 0,00)
9	43,4621	-25,33	-1896,30	0,65	22,00	0,0700	0,0348	(0,00; 0,00)
10	47,5121	-23,18	-1907,15	0,64	22,00	0,0700	0,0374	(0,00; 0,00)
11	51,2144	-21,06	-1877,00	0,63	22,00	0,0700	0,0398	(0,00; 0,00)
12	54,5846	-18,98	-1809,98	0,62	22,00	0,0700	0,0419	(0,00; 0,00)
13	57,6355	-16,92	-1709,97	0,61	22,00	0,0700	0,0437	(0,00; 0,00)
14	60,3784	-14,88	-1580,59	0,61	22,00	0,0700	0,0453	(0,00; 0,00)
15	63,0376	-12,86	-1430,17	0,60	24,00	0,1000	0,0468	(0,00; 0,00)
16	65,5833	-10,85	-1259,02	0,60	24,00	0,1000	0,0480	(0,00; 0,00)
17	67,8194	-8,86	-1065,22	0,59	24,00	0,1000	0,0490	(0,00; 0,00)
18	69,6091	-6,88	-850,37	0,59	24,00	0,1000	0,0498	(0,00; 0,00)
19	70,7576	-4,91	-617,43	0,59	24,00	0,1000	0,0504	(0,00; 0,00)
20	71,5948	-2,94	-374,84	0,59	24,00	0,1000	0,0507	(0,00; 0,00)
21	72,1375	-0,98	-125,89	0,59	24,00	0,1000	0,0509	(0,00; 0,00)
22	117,5771	0,99	206,62	0,59	24,00	0,1000	0,0509	(0,00; 0,00)
23	118,0360	2,96	622,29	0,59	24,00	0,1000	0,0507	(0,00; 0,00)
24	118,1942	4,94	1038,54	0,59	24,00	0,1000	0,0503	(0,00; 0,00)
25	118,0496	6,93	1452,17	0,59	24,00	0,1000	0,0497	(0,00; 0,00)
26	117,5989	8,92	1859,95	0,60	24,00	0,1000	0,0489	(0,00; 0,00)
27	116,8376	10,93	2258,56	0,60	24,00	0,1000	0,0479	(0,00; 0,00)
28	115,7599	12,95	2644,60	0,60	24,00	0,1000	0,0467	(0,00; 0,00)
29	114,3586	14,98	3014,53	0,61	24,00	0,1000	0,0453	(38,90; 10,44)
30	119,6392	17,04	3574,24	0,62	24,00	0,1000	0,0436	(0,00; 0,00)

31	152,8743	19,11	5104,47	0,62	24,00	0,1000	0,0417	(0,00; 0,00)
32	155,3369	21,22	5732,69	0,63	24,00	0,1000	0,0396	(0,00; 0,00)
33	154,6194	23,35	6249,69	0,64	24,00	0,1000	0,0372	(0,00; 0,00)
34	153,5145	25,52	6744,64	0,65	24,00	0,1000	0,0346	(0,00; 0,00)
35	152,0018	27,73	7212,49	0,67	24,00	0,1000	0,0317	(0,00; 0,00)
36	150,0567	29,99	7647,68	0,68	24,00	0,1000	0,0285	(0,00; 0,00)
37	147,6500	32,30	8044,07	0,70	24,00	0,1000	0,0250	(0,00; 0,00)
38	144,7465	34,66	8394,75	0,72	24,00	0,1000	0,0212	(0,00; 0,00)
39	141,3034	37,10	8691,86	0,74	24,00	0,1000	0,0170	(0,00; 0,00)
40	137,2681	39,62	8926,28	0,77	24,00	0,1000	0,0124	(0,00; 0,00)
41	132,5748	42,24	9087,28	0,80	24,00	0,1000	0,0074	(0,00; 0,00)
42	127,1395	44,97	9161,86	0,83	24,00	0,1000	0,0019	(0,00; 0,00)
43	120,8526	47,83	9133,94	0,88	24,00	0,1000	0,0000	(0,00; 0,00)
44	113,5660	50,87	8982,83	0,93	24,00	0,1000	0,0000	(0,00; 0,00)
45	105,1859	54,12	8690,27	1,01	23,00	0,0850	0,0000	(0,00; 0,00)
46	95,8838	57,65	8259,56	1,10	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
47	84,7922	61,57	7603,28	1,24	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
48	71,0031	66,08	6618,14	1,45	22,00	0,0700	0,0000	(0,00; 0,00)
49	52,8279	71,65	5112,91	1,87	24,50	0,0350	0,0000	(0,00; 0,00)
50	22,4278	81,41	2261,33	3,95	27,00	0,0000	0,0000	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]

ΣW_i= 4440,9435 [kN]ΣW_isinα_i= 1355,7580 [kN]ΣW_itanφ_i= 1946,5424 [kN]Σtanα_itanφ_i= 9.04