

VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)  
 VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA  
 INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA  
 3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE

PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO

PROGETTO ESECUTIVO

GE265



VISTO: IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE  
DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI  
PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio CARDONE

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Alessandro RODINO

Dott. Domenico TRIMBOLI

OPERE MINORI  
 OPERE DI SOSTEGNO - PARATIE  
 SVINCOLO MELARA  
 PARATIA DEFINITIVA SBOCCO FORNACI 3 (MU59)  
 RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPGE0265 E 20

NOME FILE

0000\_V04OM17STRRE01\_A

CODICE ELAB. V04OM17STRRE01

REVISIONE

A

SCALA:

-

A	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS	Ottobre 2021	M. Barale	E. Giraudò	A. Rodino
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



INDICE	pag.
1. PREMESSA .....	1
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	4
3.1 Calcestruzzo.....	4
3.2 Acciaio di armatura – barre.....	6
3.3 Acciaio di precompressione – trefoli .....	7
3.4 Acciaio di carpenteria - tubi.....	7
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	8
5. ANALISI STRUTTURALE.....	9
5.1 Criteri progettuali.....	9
5.1.1 Stati limite .....	9
5.1.2 Vita nominale .....	10
5.1.3 Classe d'uso .....	11
5.1.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	11
5.2 Metodo di analisi.....	11
5.2.1 Cenni teorici modello di calcolo.....	11
5.2.2 Descrizione dei modelli di calcolo .....	12
5.3 Analisi sismica .....	13
5.4 Verifiche agli stati limite .....	14
5.4.1 Verifica della paratia .....	14
5.4.2 Verifica dei tiranti.....	14
5.4.3 Verifica della trave di collegamento.....	16
6. RISULTATI DELLE ANALISI.....	17
6.1 Sezione di calcolo 1 - Micropali .....	17
6.1.1 Verifica della paratia .....	18
6.1.2 Verifica dei tiranti.....	19
6.1.3 Verifica trave di collegamento .....	19
6.2 Sezione di calcolo 2 - Pali.....	20
6.2.1 Verifica della paratia .....	20

6.2.2	Verifica dei tiranti.....	20
6.2.3	Verifica trave di collegamento .....	21
6.3	Sezione di calcolo 3 - Pali.....	21
6.3.1	Verifica della paratia .....	22
6.3.2	Verifica dei tiranti.....	24
6.3.3	Verifica trave di collegamento .....	25
7.	ANALISI DI STABILITÀ .....	27
7.1	Metodo di analisi.....	27
7.2	Descrizione del modello di calcolo.....	28
7.3	Risultati delle analisi.....	30
8.	ALLEGATO A: VERIFICHE DI STABILITÀ .....	1

## 1. Premessa

La presente Relazione viene redatta nell'ambito del Contratto applicativo per la progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 1 "Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Aurelia (Aurelia bis), viabilità di accesso all'HUB portuale di La Spezia, interconnessione tra i caselli della A 12 e il porto di La Spezia – 3° lotto tra Felettino ed il raccordo autostradale - Progetto Esecutivo di Stralcio e completamento C – 3° tratto".

Nella presente relazione si riportano i calcoli strutturali e geotecnici relativi alla progettazione esecutiva della paratia di pali e micropali allo sbocco della galleria naturale Le Fornaci 3 nello svincolo di Melara ( MU59).

Trattandosi del Progetto di completamento di un'infrastruttura in avanzata fase realizzativa, essendo l'attività da svolgere il progetto di completamento di opere già parzialmente realizzate il riferimento normativo di riferimento resteranno le Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Questo con riferimento al quadro normativo di riferimento progettuale per le strutture, si evidenzia che, per le opere progettate secondo le norme tecniche di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, il D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»", prevede, all'Art. 2 "Ambito di applicazione e disposizioni transitorie", che *"per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all'ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi"*.

La paratia ha una lunghezza complessiva di circa 40m ed è suddivisa in un tratto realizzato con dei pali Ø1200mm in corrispondenza delle maggiori altezze di scavo ed il restante tratto realizzato con dei micropali Ø 300mm.

La paratia di pali è caratterizzata da un'altezza massima di scavo all'incirca di 12m. L'opera sarà realizzata con dei pali Ø1200mm in c.a.. posti ad interasse di 140cm di lunghezza variabile. Il tratto di micropali invece è caratterizzato da un'altezza massima di scavo pari a 8m. I micropali Ø300mm di lunghezza variabile hanno un interasse orizzontale di 40cm e sono armati con tubi in acciaio.

Lungo tutta la paratia sono previsti dei tiranti attivi a trefoli inclinati di 25° rispetto all'orizzontale. Una volta completati i lavori, la struttura sarà rivestita con dei pannelli prefabbricati avente funzione di protezione dagli agenti atmosferici ed estetica.

Sono previsti dei microdreni suborizzontali con dei tubi microfessurati da 1.5" disposti a

quinconce ( int.orizzontale= 2.4m, int.verticale=2.5m) di lunghezza pari a 6m. La paratia è stata quindi dimensionata senza considerare la presenza di un battente idraulico a monte.

## 2. Riferimenti Normativi

- LEGGE n. 1086 05.11.1971: Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- LEGGE n. 64 02.02.1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolare prescrizione per le zone sismiche.
- Ministero dei LL.PP 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Ministero dei LL.PP. Circ. 30483 del 24.09.1988: Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”, Maggio 1993.
- Linee guida A.G.I. “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”, 2005.
- Ministero dei LL.PP – D.M. 14.01.2008: Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

### 3. Caratteristiche dei materiali

#### 3.1 Calcestruzzo

Elemento strutturale: Micropalo gettato in opera

$\gamma_c$  = peso specifico = 25.00 kN/mc

Classe di resistenza = C28/35

Rck = resistenza cubica = 35.00 N/mm<sup>2</sup>

fck = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 Rck = 29.05 N/mm<sup>2</sup>

fcm = resistenza cilindrica media = fck + 8 = 37.05 N/mm<sup>2</sup>

fctm = resistenza a trazione media = 0.30 x fck<sup>(2/3)</sup> = 2.83 N/mm<sup>2</sup>

fctm = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 x fctm = 3.40 N/mm<sup>2</sup>

fcfk = resistenza a traz. per flessione caratt. = 0.70 x fctm = 2.38 N/mm<sup>2</sup>

Ecm = modulo elast. tra 0 e 0.40fcm = 22000 x (fcm/10)<sup>0.3</sup> = 32588 N/mm<sup>2</sup>

$\nu_1$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo non fessurato = 0.00

$\nu_2$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo fessurato = 0.20

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 1/°C

VN = vita nominale della struttura = 50 anni

Tolleranza di posa del copriferro = 0 mm

CARATTERISTICHE PER LA DURABILITA'						
CLASSE DI ESPOSIZIONE		XC2				
Classe di esposizione vecchia		2a				
RAPPORTO a/c (max)	0.60					
COPRIFERRO (min)	elementi a piastra: 20		altri elementi: 25			
CLASSE DI RESIST. PER ESPOSIZ.	C25/30					
CONTENUTO DI ARIA (min)	0%					
CONTENUTO DI CEMENTO kg/mc (min)	280					
CLASSE DI CONSISTENZA	S5					

Tipo di ambiente (ved. tabella 4.1.III delle NTC) = Ordinario

Velocità di maturazione = Normale

N = numero min. di giorni di maturazione per togliere i casseri = 28 gg

Elemento strutturale: Palo gettato in opera

$\gamma_c$  = peso specifico = 25.00 kN/mc

Classe di resistenza = C25/30

Rck = resistenza cubica = 30.00 N/mm<sup>2</sup>

fck = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 Rck = 24.90 N/mm<sup>2</sup>

fcm = resistenza cilindrica media = fck + 8 = 32.90 N/mm<sup>2</sup>

fctm = resistenza a trazione media = 0.30 x fck<sup>(2/3)</sup> = 2.56 N/mm<sup>2</sup>



$f_{cm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \times f_{ctm} = 3.07 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{ck}$  = resistenza a traz. per flessione caratt. =  $0.70 \times f_{cm} = 2.15 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e  $0.40f_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu_1$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo non fessurato = 0.00  
 $\nu_2$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo fessurato = 0.20  
 $\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica =  $0.00001 \text{ } 1/^\circ\text{C}$   
 $V_N$  = vita nominale della struttura = 50 anni  
 Tolleranza di posa del copriferro = 0 mm

CARATTERISTICHE PER LA DURABILITA'						
CLASSE DI ESPOSIZIONE		XC2				
Classe di esposizione vecchia		2a				
RAPPORTO a/c (max)	0.60					
COPRIFERRO (min)	elementi a piastra:	20	altri elementi:	25		
CLASSE DI RESIST. PER ESPOSIZ.	C25/30					
CONTENUTO DI ARIA (min)	0%					
CONTENUTO DI CEMENTO kg/mc (min)	280					
CLASSE DI CONSISTENZA	S5					

Tipo di ambiente (ved. tabella 4.1.III delle NTC) = Ordinario

Velocità di maturazione = Normale

N = numero min. di giorni di maturazione per togliere i casseri = 28 gg

Elemento strutturale: Cordolo gettato in opera

$\gamma_c$  = peso specifico = 25.00 kN/mc

Classe di resistenza = C28/35

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 35.00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica =  $0.83 R_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8 = 37.05 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media =  $0.30 \times f_{ck}^{(2/3)} = 2.83 \text{ N/mm}^2$

$f_{cm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \times f_{ctm} = 3.40 \text{ N/mm}^2$

$f_{ck}$  = resistenza a traz. per flessione caratt. =  $0.70 \times f_{cm} = 2.38 \text{ N/mm}^2$

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e  $0.40f_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 32588 \text{ N/mm}^2$

$\nu_1$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo non fessurato = 0.00

$\nu_2$  = coefficiente di Poisson per calcestruzzo fessurato = 0.20

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica =  $0.00001 \text{ } 1/^\circ\text{C}$

$V_N$  = vita nominale della struttura = 50 anni

Tolleranza di posa del copriferro = 0 mm

CARATTERISTICHE PER LA DURABILITA'					
CLASSE DI ESPOSIZIONE		XC2			
Classe di esposizione vecchia		2a			
RAPPORTO a/c (max)	0.60				
COPRIFERRO (min)	elementi a piastra:	20	altri elementi:	25	
CLASSE DI RESIST. PER ESPOSIZ.	C25/30				
CONTENUTO DI ARIA (min)	0%				
CONTENUTO DI CEMENTO kg/mc (min)	280				
CLASSE DI CONSISTENZA	S4				

Copriferro = 30mm

Tipo di ambiente (ved. tabella 4.1.III delle NTC) = Ordinario

Velocità di maturazione = Normale

N = numero min. di giorni di maturazione per togliere i casseri = 28 gg

### 3.2 Acciaio di armatura – barre

Tipo = B 450 C

$\gamma_a$  = peso specifico = 78.50 kN/mc

$f_y$  nom = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_t$  nom = tensione nominale di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk}$  min = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk}$  min = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$(f_t/f_y)_k$  min = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_k$  max = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

$(f_y/f_y \text{ nom})_k$  = massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

$(A_{gt})_k$  = allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

$\phi$  min = minimo diametro consentito delle barre = 6 mm

$\phi$  max = massimo diametro consentito delle barre = 40 mm

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C<sup>-1</sup>

Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:

$\phi < 12$  mm      4  $\phi$

$12 \leq \phi \leq 16$  mm      5  $\phi$

$16 < \phi \leq 25$  mm      8  $\phi$

$25 < \phi \leq 40$  mm      10  $\phi$

L'uso di acciai forniti in rotoli è ammesso, senza limitazioni, per diametri fino a  $\phi \leq 16$  mm.

### 3.3 Acciaio di precompressione – trefoli

Tipo di precompressione : Post tesa

$\gamma_a$  = peso specifico = 78.50 kN/mc

$f_{ptk}$  = tensione caratteristica di rottura = 1860 N/mm<sup>2</sup>

$f_{p(1)k}$  = tensione caratteristica all'1% di deformazione totale = 1670 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{spi}$  = tensione max di tiro iniziale =  $\min(0.85 \times 1670; 0.75 \times 1860) = 1395$  N/mm<sup>2</sup>

$A_{gt}$  = allungamento sotto carico massimo = 3.5 %

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C<sup>-1</sup>

### 3.4 Acciaio di carpenteria - tubi

Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte

Tipo di profilo : profilo a sezione aperta

Tipo di laminazione: laminazione a caldo

t = spessore nominale dell'elemento =  $t \leq 40$ mm

tipo di materiale = S355

$f_{tk}$  = resistenza a trazione caratteristica = 510 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk}$  = tensione di snervamento caratteristica = 355 N/mm<sup>2</sup>

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 210000 N/mm<sup>2</sup>

$\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.3

G = modulo di elasticità a taglio =  $E/[2 \times (1 + \nu)] = 80769$  N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C<sup>-1</sup>

$\gamma$  = peso specifico = 78.50 kN/mc

## 4. Caratterizzazione Geotecnica

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nelle relazioni geologica e geotecnica di riferimento ed è riportato nella tabella sottostante:

<b>Unità litologiche</b>	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	$\phi'_k$ (°)	$c'_k$ KPa	$E'$ (MPa)
Verrucano dettritico	20	30	0	80

Tabella 4.1 Modello Geotecnico adottato per il calcolo della paratia allo sbocco della GN  
Le Fornaci 3

Sulla base delle indagini sismiche nella zona dello svincolo di Melara, è stato considerato nei calcoli un sottosuolo appartenente alla categoria B.

## 5. Analisi Strutturale

### 5.1 Criteri progettuali

L'analisi strutturale mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti :

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi;
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio.

#### 5.1.1 Stati limite

Gli stati limite ultimi analizzati sono:

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera ( atto di moto rigido);
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Dato che i tiranti sono di tipo attivo, è stata anche considerata l'ipotesi di un decadimento della rigidità dei tiranti del 20% rispetto al valore iniziale.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione,

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica.

La verifica della suddetta condizione è stata effettuata applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) in cui sono previste le due seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR)
- Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO)

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle tab.6.2.I, 6.2..II e 6.5.I delle NTC 2008.

Nelle condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera sono stati valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti.

Le combinazioni da analizzare sono riepilogate nella tabella sottostante:

STATICA (SLU)	A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3	Combinazione
Collasso di rotazione rispetto ad un punto dell'opera	X		X		X			STR
		X		X	X			GEO
Resistenza strutturale della paratia	X		X		X			STR
		X		X	X			GEO
Sfilamento degli ancoraggi	X		X				X (*)	STR
Resistenza strutturale degli ancoraggi	X		X		X			STR

(\*) R3 = 1.10 o 1.20 (Tab. 6.6.1)

SISMICA (SLV)	A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3	Combinazione
Collasso di rotazione rispetto ad un punto dell'opera	X (')		X		X			Comb.sismica
		X (')		X	X			Comb.sismica
Resistenza strutturale della paratia	X (')		X		X			Comb.sismica
		X (')		X	X			Comb.sismica
Sfilamento degli ancoraggi	X (')		X				X (*)	Comb.sismica
Resistenza strutturale degli ancoraggi	X (')		X		X			Comb.sismica

(\*) R3 = 1.10 o 1.20 (Tab. 6.6.1)

(') A =valori unitari (§C.7.11.1)

ESERCIZIO (SLE)	A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3	Combinazione
Cedimenti	X (')		X (*)					SLE

(') A = valori caratteristici (§C.6.2.3.3)

(\*) M = valori caratteristici (§C.6.2.3.3)

Tabella 5.1 Combinazioni da analizzare

### 5.1.2 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione :

*2) Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*

La cui vita nominale è pari a :50 anni.

### 5.1.3 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un' interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso:

Classe III: *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*

Il coefficiente d'uso è pari a : 1.50.

### 5.1.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ .

Pertanto  $V_R = 75$  anni

## 5.2 Metodo di analisi

### 5.2.1 Cenni teorici modello di calcolo

L'analisi delle paratie è stata condotta mediante un programma di calcolo operante agli elementi finiti (*"Paratie for Windows release 7.0"*), in grado di modellare la parete flessibile con elementi tipo Beam e di simulare l'interazione terreno-struttura attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse ai nodi della parete stessa. Scopo precipuo di tale analisi è il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno.

In tale metodo si assume che gli elementi del terreno reagiscano elasticamente fino al valore limite, corrispondente al valore massimo della pressione attiva o passiva, oltre il quale il comportamento diventa di tipo elasto-plastico. Ogni molla è un elemento finito la cui legge costitutiva incorpora sia il criterio di rottura tipico dei terreni, sia una correlazione, in campo elastico ed elastoplastico, fra le deformazioni (estensioni o compressioni) e lo sforzo.

Tale modello numerico consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali, permettendo di seguire il comportamento della struttura al variare delle configurazioni di carico, delle fasi esecutive e di esercizio.

In una generica fase di calcolo dell'analisi di interazione tra paratia e terreno, la soluzione dipende dal percorso tenso-deformativo seguito dagli elementi schematizzanti il terreno nelle fasi precedenti, dalle variazioni di spinta o reazione del terreno indotte

dalla progressione degli scavi, dall'inserimento di tiranti, dalle variazioni delle condizioni idrostatiche e di sovraccarico, etc.

La legge costitutiva è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta del terreno sono:

- Il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , corrispondente alla condizione iniziale indeformata, calcolata mediante l'espressione  $K_0 = 1 - \text{sen}\varphi'$ ;
- I coefficienti di spinta attiva  $K_a$  e passiva  $K_p$  corrispondenti alle condizioni d'equilibrio limite attivo e passivo, calcolati rispettivamente mediante le espressioni di Coulomb e Caquot – Kerisel ipotizzando un angolo di attrito terreno  $\delta = \varphi'/2$  in condizioni statiche.

I parametri di deformabilità del terreno, che compaiono nella definizione della rigidità delle molle, sono assegnati sulla base dei valori di modulo di Young dei vari strati, tenendo conto della diversa rigidità in fase di carico vergine oppure di scarico e ricarico.

La verifica strutturale dell'opera è stata condotta con riferimento alla sezione maggiormente sollecitata, operando con il metodo agli stati limite ultimi.

### 5.2.2 Descrizione dei modelli di calcolo

Per ogni sezione di calcolo sono stati analizzati 4 modelli di calcolo:

- Tiranti attivi al 100%:     Modello 1 combinazione SLE e STR  

Modello 2 combinazione GEO
- Decadimento dei tiranti attivi al 80% :     Modello 3 combinazione SLE e STR  

Modello 4 combinazione GEO

Ogni singolo modello a sua volta è strutturato in due “history”:

- History 00 : condizioni statiche;
- History 01: condizioni sismiche.

FASE	TIRANTI AL 100%	DECADIMENTO DEI TIRANTI
0	Condizione geostatica	Condizione geostatica
1	Realizzazione paratia	Realizzazione paratia
2	1° fase di scavo	1° fase di scavo
3	Applicazione del 1° ordine di tiranti	Applicazione del 1° ordine di tiranti
4	2° fase di scavo	2° fase di scavo
5	Applicazione del 2° ordine di tiranti	Applicazione del 2° ordine di tiranti
-	.....	.....



N-1	Applicazione dell'ultimo ordine di tiranti	Applicazione dell'ultimo ordine di tiranti
N	Ultima fase di scavo	Ultima fase di scavo
N+1	Realizzazione trave di seconda fase	Realizzazione trave di seconda fase
N+2	Sisma ( solo HIST 01)	Decadimento dei tiranti al 80%
N+3	-	Sisma ( solo HIST 01)

Tabella 5.2 Fasi di calcolo

A monte della paratia è stato considerato l'effetto dell'inclinazione del piano campagna attraverso un sovraccarico equivalente. La realizzazione della trave di seconda fase è stata simulata mediante l'applicazione di una forza orizzontale ed un momento in testa alla paratia. La modellazione dell'azione sismica è descritta nel paragrafo successivo.

### 5.3 Analisi sismica

L'analisi sismica è stata svolta in conformità con quanto prescritto dalla normativa tecnica in vigore, adottando un metodo pseudostatico in cui l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante:

- $a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$  dove  $a_{max}$  è valutata come  $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$  ;
- $a_v = 0$  per le paratie.

I parametri che caratterizzano l'azione sismica sono riportati nella tabella seguente:

$a_g$ (g) (SLV)	0.142
Categoria di sottosuolo	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.2
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.2
Coefficiente di deformabilità $\alpha$	1
Coefficiente di spostamento $\beta$	1
$a_h$ (g)= $k_h$	0.204

Tabella 5.3 – parametri azione sismica

L'evento sismico è stato modellato in uno step di calcolo successivo all'ultima fase costruttiva: in aggiunta alla spinta statica  $F_s$  è stato considerato un incremento di spinta  $\Delta F$  pari alla differenza fra la spinta totale  $F_{sd}$  esercitata dal terreno retrostante in condizioni sismiche e quella statica  $F_s$ :

$$\Delta F = F_s - F_{sd} = \text{incremento di spinta corrispondente all'effetto sismico.}$$

Dove:

- $F_{sd} = \int_H \sigma'_{h(\text{statico}+\text{dinamico})} z dz$  = spinta statica più dinamica del terreno;
- $F_s = \int_H \sigma'_{h(\text{statico})} z dz$  = spinta statica del terreno;
- $\sigma'_h(\text{statico}+\text{dinamico}) = K_{ac} \sigma'_v$  = tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni sismiche;
- $\sigma'_h(\text{statico}) = K_a \sigma'_v$  = tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni di equilibrio limite.

L'incremento di carico dovuto al sisma orizzontale agente sulla struttura viene distribuito uniformemente su tutta l'altezza fuori terra della paratia  $\Delta P = \Sigma \Delta F/H$ .

Inoltre, Nella fase sismica, viene considerato un angolo di attrito terreno-calcestruzzo  $\delta_{\text{sismico}} = \varphi'/3$ .

## 5.4 Verifiche agli stati limite

### 5.4.1 Verifica della paratia

Sia le sezioni del tratto di paratia di pali che di micropali, sono state verificate secondo le nuove norme tecniche determinando, come prescritto, la resistenza di calcolo delle membrature e confrontandola con le sollecitazioni derivanti dalla combinazione più gravosa. Nello specifico, le verifiche di resistenza dei micropali sono state effettuate considerando reagenti le sole armature, costituite da tubi in acciaio.

### 5.4.2 Verifica dei tiranti

L'armatura in trefoli e la lunghezza delle fondazioni dei tiranti sono state dimensionate in base ai criteri nel seguito esposti tenendo conto del loro massimo carico di esercizio, della loro inclinazione rispetto all'orizzontale e del loro interasse.

Devono essere soddisfatte le seguenti verifiche:

- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali;
- verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

#### 5.4.2.1 Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali

La verifica allo snervamento si esegue confrontando la tensione limite ultima dell'armatura dei trefoli Nys con la tensione massima derivante dagli SLU ( $\sigma_f$ ):

$$N_{ys} = \min(0.85 \times f_p(1)k; 0.75 \times f_{ptk}) = 1395 \text{ N/mm}^2$$

La verifica è soddisfatta se  $\sigma_f < 1395 \text{ MPa}$  dove  $\sigma_f = T_{max} / \text{Area tot trefoli}$ .

Nel rispetto della gerarchia delle resistenze, si deve verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

#### 5.4.2.2 Verifica allo sfilamento della fondazione

La verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione  $T_{max,d}$  considerando tutti i possibili SLU con la resistenza di progetto  $R_{ad}$  determinata applicando alla resistenza caratteristica i seguenti fattori parziali:

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R$$

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

Tabella 5.4

Il valore caratteristico  $R_{ak}$  è stato determinato analiticamente in funzione dei parametri geotecnici:

$$R_{ak} = R_{a,c} / \xi$$

dove  $\xi$  è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine. Cautelativamente si considera il valore massimo  $\xi = 1.8$ . Il valore di  $R_{a,c}$  è stato stimato con l'approccio di Bustamante e Doix:

$$R_{a,c} = \pi \cdot D_e \cdot \tau_{lim} \cdot L_{anc}$$

ove:

- $D_e$  = diametro efficace della fondazione dopo l'iniezione;
- $\tau_{lim}$  = adesione unitaria limite fondazione - terreno.

Il valore di  $D_e$  non dipende oltre che dal diametro di perforazione dal tipo di terreno e dalla modalità di iniezione ed è calcolato come:

$$D_e = \alpha \cdot D, \text{ con } D = \text{diametro di perforazione.}$$

Con riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) (cfr. Tabella 5.5) e tenendo conto del tipo di iniezione del bulbo di ancoraggio (IGU) e della natura del terreno in sito si assumeranno cautelativamente i seguenti valori:

- $\alpha = 1.2$ ;
- $\tau_{lim} = 200 \text{ KPa}$ .

Tipo di terreno	Coefficiente $\alpha$	
	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 a 1.4
Ghiaia sabbiosa	1.6 a 1.8	1.2 a 1.4
Sabbia ghiaiosa	1.5 a 1.6	1.2 a 1.3
Sabbia grossolana	1.4 a 1.5	1.1 a 1.2
Sabbia media	1.4 a 1.5	1.1 a 1.2
Sabbia fine	1.4 a 1.5	1.1 a 1.2
Sabbia limosa	1.4 a 1.5	1.1 a 1.2
Limo	1.4 a 1.6	1.1 a 1.2
Argilla	1.8 a 2.0	1.2
Marna	1.8	1.1 a 1.2
Marna calcare	1.8	1.1 a 1.2
Arenaria alterata o fratturata	1.8	1.1 a 1.2
Roccia alterata o fratturata	1.2	1.2
IRS = iniezione ripetuta selettiva IGU = iniezione globale unica		

Tabella 5.5 Valori dei coefficienti  $\alpha$  per il calcolo del diametro efficace dopo l'iniezione

#### 5.4.2.3 Determinazione della lunghezza libera dell'ancoraggio

La fondazione dell'ancoraggio deve essere posizionata oltre la potenziale superficie di scorrimento dei cunei di spinta attiva sia in condizioni statiche che sismiche.

La lunghezza libera minima in condizioni statiche ( $L_s$ ) è data dall'intersezione dell'asse del tirante con un piano inclinato di  $45^\circ - \varphi/2$  sulla verticale passante per il piede della paratia. La corrispondente lunghezza libera minima in condizioni sismiche ( $L_e$ ) può essere ottenuta mediante la relazione fornita al §C.7.11.6.4 delle NTC2008:

$$L_e = L_s (1 + 1.5 \cdot a_{\max} / g)$$

#### 5.4.3 **Verifica della trave di collegamento**

Le verifiche delle travi di contrasto sono state effettuate considerando lo schema statico più cautelativo di trave appoggiata caricata dalla massima reazione dei tiranti e di luce pari all'interasse dei tiranti stessi. Pertanto si ha:

$$M_{\max} = q \cdot l^2 / 8$$

$$T_{\max} = q \cdot l / 2$$

## 6. Risultati delle analisi

Sono stati effettuati i calcoli relativamente alle sezioni trasversali più significative della paratia:

Sezione di calcolo	Ordini di tiranti	H <sub>max</sub> scavo m	H totale m	D tubo acciaio e Spessore (Micropali)  Armatura Long. e Trasv.(Pali)	Inclinazione terreno a monte (°)	Inclinazione Tiranti (°)
1 - Micropali	3	9	13	D=193.7 – sp=14.2	30	25
2 – Pali	3	9	17	24Φ24 – Spirale Φ10/20	30	25
3 - Pali	4	11.5	22	24Φ24 – Spirale Φ10/20	30	25

Tabella 6.1 Sezioni di calcolo paratia

I risultati delle analisi numeriche svolte sono riportati, sotto forma di tabulati e di diagrammi, in allegato alla presente relazione. Di seguito si riportano i principali risultati delle varie analisi e le verifiche strutturali.

Per ogni sezione analizzata sono forniti i seguenti valori:

- *SLU* : valore massimo del momento flettente e taglio (analisi statica e sismica);
- *SLE*: valore massimo dello spostamento orizzontale;
- Tiro massimo e di esercizio degli ancoraggi in condizioni SLE e SLU (STR).

### 6.1 Sezione di calcolo 1 - Micropali

I principali risultati delle analisi, con riferimento al singolo palo ed al singolo tirante, sono riportati nelle tabelle sottostanti:

SEZIONE 1	SLE		SLU	
	s max (cm)	M max (kNm)	T max (kN)	
			PARATIA	
	1.06	47.58	52.60	

Tabella 6.2

SEZIONE 1	SLU	SLE
TIRANTI	T <sub>max</sub> (kN)	T <sub>max</sub> (kN)
1° ordine	262.08	33.60
2° ordine	510.21	64.03
3° ordine	496.11	63.60

Tabella 6.3

### 6.1.1 Verifica della paratia

Caratteristiche Sezione tubolare		
de	0.1937	m
t	0.0142	m
di	0.1653	m
AREA	0.008008	m <sup>2</sup>
INERZIA	0.000032	m <sup>4</sup>
W	0.000335	m <sup>3</sup>
<b>Materiale</b> S355H		
fyk	355	MPa
fyd = fyk/γ <sub>m0</sub>	338.10	MPa

Tabella 6.4

Sollecitazioni modello		
M <sub>max mod</sub>	118.96	kN*m/m
T <sub>max mod</sub>	131.49	kN/m
i pali	0.4	m
M <sub>Ed</sub>	47.58	kN*m
V <sub>Ed</sub>	52.60	kN

Tabella 6.5

Verifica a flessione		
M <sub>rd</sub>	113.29	kN*m
M <sub>Ed</sub> /M <sub>rd</sub>	0.42	<1- Verifica
Verifica a taglio		
A <sub>v</sub>	0.00510	m <sup>2</sup>
V <sub>c,rd</sub>	995.09	kN
V <sub>Ed</sub> / V <sub>c,rd</sub>	0.053	<1- Verifica
Verifica σ <sub>id</sub>		
fyk/γ <sub>m0</sub>	338.10	MPa
σ	142.01	MPa
τ <sub>max</sub>	10.32	MPa
σ <sub>id</sub>	143.13	MPa
<b>σ<sup>2</sup>+3*τ<sup>2</sup>&lt; (fyk/γ<sub>m0</sub>)<sup>2</sup> - Verifica</b>		

Tabella 6.6 Verifiche Strutturali

### 6.1.2 Verifica dei tiranti

Le caratteristiche dei tiranti e le verifiche sono riepilogate nella tabelle sottostanti:

TIRANTI	Profondità (m)	i (m)	L lib (m)	L anc (m)	Ltot (m)	N° trefoli	A tot (mm <sup>2</sup> )	Dperf (mm)	T <sub>0</sub> (kN)	Tipo di Tirante
1° ordine	0.65	2.40	9.00	8.00	17.00	3	417	130	200	Permanente
2° ordine	3.65	2.40	7.00	12.00	19.00	5	695	160	350	Permanente
3° ordine	6.15	2.40	6.00	12.00	18.00	5	695	160	350	Permanente

Tabella 6.7 Caratteristiche dei tiranti

TIRANTI	Tiro di progetto (SLU)  T <sub>max</sub> (kN)	Verifica armatura		Verifica fondazione tirante: Bustamante e Doix						
		σf ( N/mm <sup>2</sup> )	Nys/ σf	Resistenza di progetto			Verifica			
			α	De (mm)	T <sub>lim</sub> (kPa)	R <sub>ac</sub> (kN)	R <sub>ak</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> /T <sub>max</sub>	
1° ordine	262.08	628.5	<b>2.22</b>	1.2	156	200	784.14	435.63	363.03	<b>1.39</b>
2° ordine	510.21	734.1	<b>1.90</b>	1.2	192	200	1447.65	804.25	670.21	<b>1.31</b>
3° ordine	496.11	713.8	<b>1.95</b>	1.2	192	200	1447.65	804.25	670.21	<b>1.35</b>

Tabella 6.8 Verifica dei tiranti

R<sub>ac</sub>: Resistenza di calcolo allo sfilamento  $R_{ac} = \pi \cdot D_e \cdot \tau_{lim} \cdot L_{anc}$

R<sub>ak</sub>: Resistenza caratteristica  $R_{ak} = R_{a,c} / \xi = R_{a,c} / 1.8$

R<sub>ad</sub>: Resistenza di progetto  $R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = R_{ak} / 1.2$

Tutti i tiranti soddisfano i requisiti di sicurezza.

### 6.1.3 Verifica trave di collegamento

Le travi di contrasto dei tiranti sono composte di 2 profilati HEB 220.

Le verifiche strutturali non vengono riportate in quanto le sollecitazioni più gravose sono quelle della sezione di calcolo 3 ( cfr. paragrafo 5.3.3).

## 6.2 Sezione di calcolo 2 - Pali

I principali risultati delle analisi, con riferimento al singolo palo ed al singolo tirante, sono riportati nelle tabelle sottostanti:

SEZIONE 2	SLE	SLU	
	s max (cm)	M max (kNm)	T max (kN)
PARATIA	0.47	471.80	209.06

Tabella 6.9

SEZIONE 2	SLU	SLE
TIRANTI	T <sub>max</sub> (kN)	T <sub>max</sub> (kN)
1° ordine	329.71	126.70
2° ordine	473.31	182.04
3° ordine	467.27	179.72

Tabella 6.10

### 6.2.1 Verifica della paratia

Le verifiche strutturali non sono riportate in quanto le sollecitazioni più gravose per la paratia di pali si verificano in corrispondenza della sezione di calcolo 3 ( cfr. paragrafo 5.3.1).

### 6.2.2 Verifica dei tiranti

Le caratteristiche dei tiranti e le verifiche sono riepilogate nella tabelle sottostanti:

TIRANTI	Profondità (m)	i (m)	L lib (m)	L anc (m)	Ltot (m)	N° trefoli	A tot (mm <sup>2</sup> )	Dperf (mm)	T <sub>0</sub> (kN)	Tipo di Tirante
1° ordine	0.95	2.80	14.00	9.50	23.50	3	417	130	250	Permanente
2° ordine	4.65	2.80	12.00	11.00	23.00	5	695	160	350	Permanente
3° ordine	7.15	2.80	10.00	11.00	21.00	5	695	160	350	Permanente

Tabella 6.11 Caratteristiche dei tiranti



	Tiro di progetto (SLU)	Verifica armatura		Verifica fondazione tirante: Bustamante e Doix						
							Resistenza di progetto			Verifica
TIRANTI	T <sub>max</sub> (kN)	σ (N/mm <sup>2</sup> )	Nys/σ	α	De (mm)	T <sub>lim</sub> (kPa)	R <sub>ac</sub> (kN)	R <sub>ak</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> /T <sub>max</sub>
1° ordine	329.71	790.7	<b>1.76</b>	1.2	156	200	931.17	517.32	431.10	<b>1.31</b>
2° ordine	473.31	681.0	<b>2.05</b>	1.2	192	200	1327.01	737.23	614.36	<b>1.30</b>
3° ordine	467.27	672.3	<b>2.07</b>	1.2	192	200	1327.01	737.23	614.36	<b>1.31</b>

Tabella 6.12 Verifica dei tiranti

R<sub>ac</sub>: Resistenza di calcolo allo sfilamento  $R_{ac} = \pi \cdot D_e \cdot \tau_{lim} \cdot L_{anc}$

R<sub>ak</sub>: Resistenza caratteristica  $R_{ak} = R_{a,c} / \xi = R_{a,c} / 1.8$

R<sub>ad</sub>: Resistenza di progetto  $R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = R_{ak} / 1.2$

Tutti i tiranti soddisfano i requisiti di sicurezza.

### 6.2.3 Verifica trave di collegamento

Le travi di contrasto dei tiranti sono composte di 2 profilati HEB 220:

Trave di collegamento			
q <sub>max</sub> (kN/m)	i (m)	M <sub>max</sub> (kN m)	T <sub>max</sub> (kN)
169.04	2.80	165.66	236.65

Tabella 6.13 Trave di collegamento: sollecitazioni massime

Le verifiche strutturali non vengono riportate in quanto le sollecitazioni più gravose sono quelle della sezione di calcolo 3 ( cfr. paragrafo 5.3.3).

### 6.3 Sezione di calcolo 3 - Pali

I principali risultati delle analisi, con riferimento al singolo palo ed al singolo tirante, sono riportati nelle tabelle sottostanti:

SEZIONE 3	SLE	SLU	
	s max (cm)	M max (kNm)	T max (kN)
PARATIA	0.7	940.73	331.56

Tabella 6.14

SEZIONE 3	SLU	SLE
TIRANTI	$T_{max}$ (kN)	$T_{max}$ (kN)
1° ordine	327.70	124.96
2° ordine	544.00	209.23
3° ordine	564.60	217.15
4° ordine	560.12	215.43

Tabella 6.15

### 6.3.1 Verifica della paratia

Verifiche allo SLU: Pressoflessione

Sollecitazioni:  $N = 298,29$  kN

$M = 940,73$  kNm

Risultati Analisi: Armatura Longitudinale =  $24\Phi 24$

Coefficiente di sicurezza = 2,21

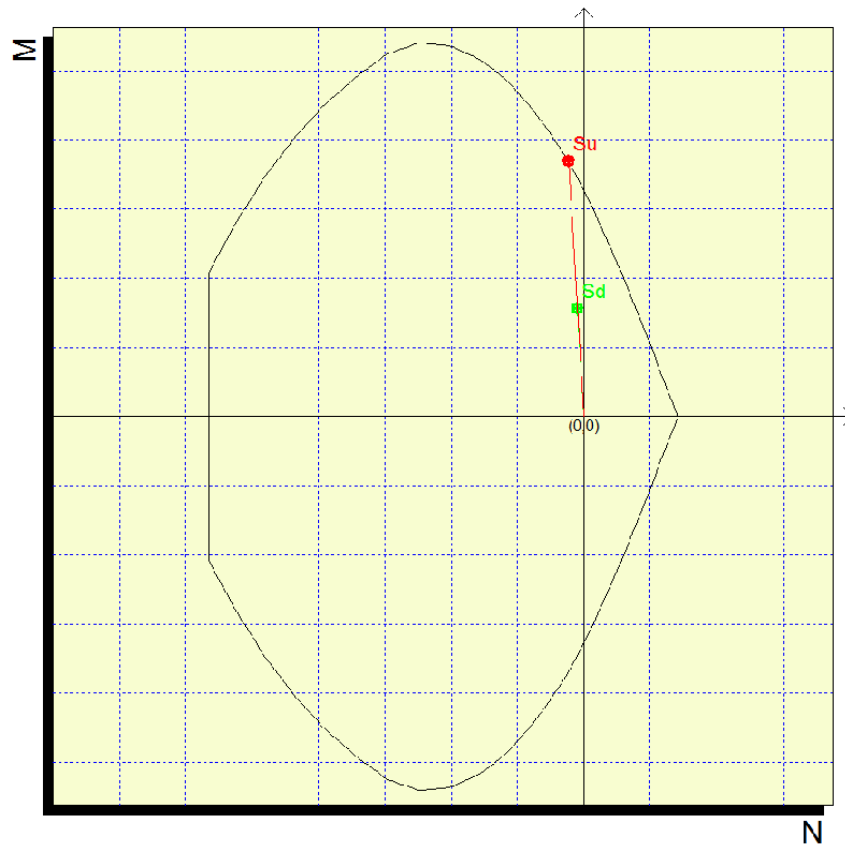


Fig. 6.1 Dominio di Resistenza

Verifiche allo SLU: Taglio

Sollecitazioni:  $V_{sd} = 331,53 \text{ kN}$

Risultati Analisi:

$$V_{rd1} = (\tau_{rd} k (1,2 + 40 \rho_l) + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d = 302,45 \text{ kN}$$

dove:

$\tau_{rd} =$	$0,3 \text{ N/mm}^2$	$=$	$300 \text{ kN/m}^2$
$k =$			$0,58156$
$d =$			$1,01844 \text{ m}$
$\rho_l = A_{sl}/b_w d =$	$0,010016$	$< 0,02 \Rightarrow$	scelgo $0,01002$
$A_{sl} =$			$0,01085 \text{ m}^2/\text{m}$
$b_w =$			$1,06344 \text{ m}$
$\sigma_{cp} =$			$0 \text{ kN/m}^2$
$N_{sd} =$			$0$
$A_c =$			$1,1304 \text{ m}^2$

$V_{rd1} < V_{sd} \Rightarrow$  Necessaria armatura specifica a taglio

Inserisco Spirale  $\Phi 10/20$ :

$$V_{rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 585,80 \text{ kN}$$

dove:

$V_{cd} = V_{rd1} =$		$302,45 \text{ kN}$
$V_{wd} = A_{sw}/s * 0,9 * d * f_{ywd} =$		$283,35 \text{ kN}$
$A_{sw} =$	$1,58 \text{ cm}^2$	$= 0,00016 \text{ m}^2$
$s =$	$20 \text{ cm}$	$= 0,2 \text{ m}$
$d =$		$1,01844 \text{ m}$
$f_{ywd} =$	$391,30 \text{ N/mm}^2$	$= 391304 \text{ kN/m}^2$
$f_{yk} =$		$450 \text{ N/mm}^2$

$V_{rd3} > V_{sd} \Rightarrow$  Verifica soddisfatta

Verifiche allo SLE: Fessurazione

Sollecitazioni:  $N = 298,28 \text{ kN}$   
 $M = 560,48 \text{ kNm}$

Risultati Analisi: Armatura Longitudinale =  $24\Phi 24$

$w_k = 0.08 \text{ mm} < w_2 = 0.30 \text{ mm} \Rightarrow$  La verifica è soddisfatta

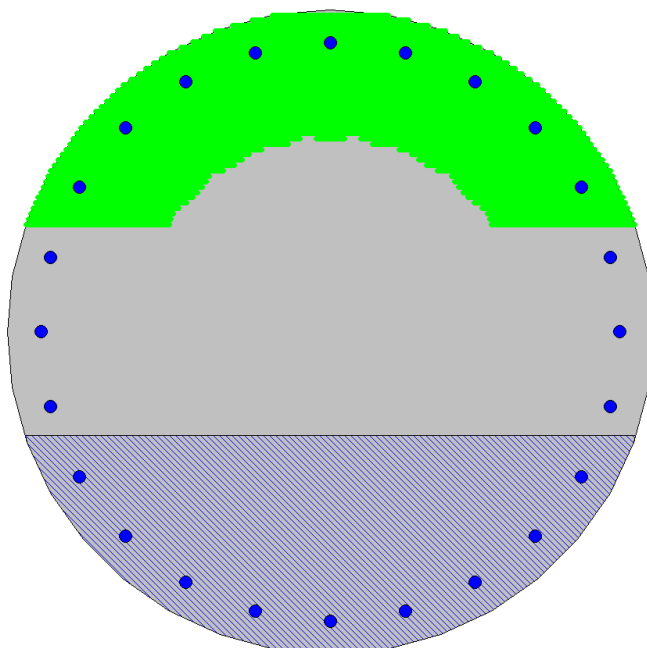


Fig. 6.2 Diagramma Verifica a Fessurazione

### 6.3.2 Verifica dei tiranti

Le caratteristiche dei tiranti e le verifiche sono riepilogate nella tabelle sottostanti:

TIRANTI	Profondità (m)	i (m)	L lib (m)	L anc (m)	Ltot (m)	N° trefoli	A tot (mm <sup>2</sup> )	Dperf (mm)	T <sub>0</sub> (kN)	Tipo di Tirante
1° ordine	0.95	2.80	18.00	9.50	27.50	3	417	130	250	Permanente
2° ordine	3.95	2.80	15.00	11.00	26.00	6	834	200	400	Permanente
3° ordine	6.45	2.80	13.00	11.00	24.00	6	834	200	400	Permanente
4° ordine	8.95	2.80	12.00	11.00	23.00	6	834	200	400	Permanente

Tabella 6.16 Caratteristiche dei tiranti

TIRANTI	Tiro di progetto (SLU) T <sub>max</sub> (kN)	Verifica armatura σf (N/mm <sup>2</sup> ) Nys/σf		Verifica fondazione tirante: Bustamante e Doix						
				Resistenza di progetto			Verifica			
		α	De (mm)	T <sub>lim</sub> (kPa)	R <sub>ac</sub> (kN)	R <sub>ak</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> (kN)	R <sub>ad</sub> /T <sub>max</sub>		
1° ordine	327.70	785.9	<b>1.78</b>	1.2	156	200	931.17	517.32	431.10	<b>1.32</b>
2° ordine	544.00	652.3	<b>2.14</b>	1.2	240	200	1658.76	921.53	767.94	<b>1.41</b>
3° ordine	564.60	677.0	<b>2.06</b>	1.2	240	200	1658.76	921.53	767.94	<b>1.36</b>
4° ordine	560.12	671.6	<b>2.08</b>	1.2	240	200	1658.76	921.53	767.94	<b>1.37</b>

Tabella 6.17 Verifica dei tiranti

R<sub>ac</sub>: Resistenza di calcolo allo sfilamento  $R_{ac} = \pi \cdot D_e \cdot \tau_{lim} \cdot L_{anc}$

R<sub>ak</sub>: Resistenza caratteristica  $R_{ak} = R_{a,c} / \xi = R_{a,c} / 1.8$

R<sub>ad</sub>: Resistenza di progetto  $R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = R_{ak} / 1.2$

Tutti i tiranti soddisfano i requisiti di sicurezza.

### 6.3.3 Verifica trave di collegamento

Le travi di di contrasto dei tiranti sono composte di 2 profilati HEB 220:

Trave di collegamento			
qmax (kN/m)	i (m)	Mmax (kN m)	Tmax (kN)
201.64	2.80	197.61	282.30

Tabella 6.18 Trave di collegamento: sollecitazioni massime

Caratteristiche Sezione		
2 HEB 220		
AREA	0.009100	m2
INERZIA	0.000081	m4
W	0.000736	m3
Materiale S355		
fyk	355	MPa
fyd = fyk/γ <sub>m0</sub>	338.10	MPa
Sollecitazioni modello		
M <sub>Ed</sub>	197.61	kN*m
V <sub>Ed</sub>	282.30	kN

Tabella 6.19

<b>Verifica a flessione</b>		
Mrd	497.68	kN*m
$M_{Ed}/Mrd$	0.40	<b>&lt;1- Verifica</b>
<b>Verifica a taglio</b>		
Av	0.00558	m2
Vc,rd	1088.43	kN
$V_{Ed} / Vc,rd$	0.259	<b>&lt;1- Verifica</b>
<b>Verifica in campo elastico</b>		
$f_{yk}/\gamma_{m0}$	338.10	MPa
$\sigma$	134.25	MPa
$T_{max}$	50.63	MPa
$\sigma_{id}$	160.35	MPa
<b><math>\sigma^2+3\tau^2 &lt; (f_{yk}/\gamma_{m0})^2</math> - Verifica</b>		

Tabella 6.20 Verifiche strutturali

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## 7. Analisi di stabilità

### 7.1 Metodo di analisi

In accordo con la normativa vigente, le verifiche di stabilità sia in condizioni statiche che sismiche sono state effettuate con l'Approccio 1- Combinazione 2: A2+M2+R2 tenendo conto dei vari coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I. In particolare per la condizione sismica i coefficienti parziali sulle azioni (A2) risultano essere unitari (paragrafo 7.11 NTC).

Le analisi sono state condotte con i metodi all'equilibrio limite tenendo conto della stratigrafia reale del sito e della posizione della falda. Il livello di sicurezza è espresso come rapporto tra la resistenza a taglio disponibile e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la potenziale superficie di scorrimento. In particolare, nei metodi delle strisce la massa di terreno viene discretizzata in strisce verticali e si determina la superficie di scorrimento critica in corrispondenza della quale si ha il minimo coefficiente di sicurezza.

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma_R$ :

$$F = R_d / E_d \geq 1.1$$

Nelle analisi è stato adottato il metodo di Morgenstern e Price (1965) che tiene conto sia delle forze di taglio sia di quelle normali scambiate tra le strisce e considera delle superfici di scorrimento a direttrice circolare.

In condizioni sismiche, la stabilità è stata analizzata mediante un approccio pseudostatico. Gli effetti del sisma sono stati quindi rappresentati con delle forze d'inerzia orizzontali e verticali applicate alla massa instabile:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = \pm k_v \cdot W$$

W è il peso totale della massa di terreno al disopra della superficie di scorrimento.

In base ai criteri progettuali riportati nel paragrafo 5.1 si sono determinati i parametri sismici impiegati nelle analisi:

$a_g$ (g) (SLV)	0.142
Categoria di sottosuolo	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.2
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.2
$a_{max}$ (g) attesa al sito	0.204

Coefficiente di riduzione dell' $a_{max}$ attesa al sito $\beta_s$	0.24
$k_h$	0.049
$k_v (+/-)$	0.025

Tabella 7.1 – parametri azione sismica relativi alle analisi di stabilità

I calcoli sono stati svolti mediante l'ausilio del codice di calcolo SLOPE/W 2007 [Geoslope International Ltd, Calgary], che consente l'analisi rapida di numerose superfici di scorrimento.

## 7.2 Descrizione del modello di calcolo

Il modello di calcolo è stato costruito sulla base delle informazioni relative alle condizioni stratigrafiche ed idrauliche riportate nel profilo geotecnico e nelle relazioni geologica e geotecnica di riferimento. I materiali presenti sono stati caratterizzati con i parametri di resistenza di Mohr- Coulomb di seguito riportati:

Unità litologiche	$\gamma$	$\phi'_k$	$c_k$
	KN/m3	(°)	Kpa
V1	20	31	0
V2	21	30	0
V3	21	31	0

Tabella 7.2 Analisi di Stabilità- Modello Geotecnico analisi di stabilità

Le condizioni di stabilità sono state analizzate nella situazione definitiva ritenuta più critica caratterizzata dalla maggiore altezza di scavo e/o dalle condizioni topografiche più gravose. Il modello di calcolo è stato costruito prendendo come riferimento la sezione stradale N° 14 della rampa W.



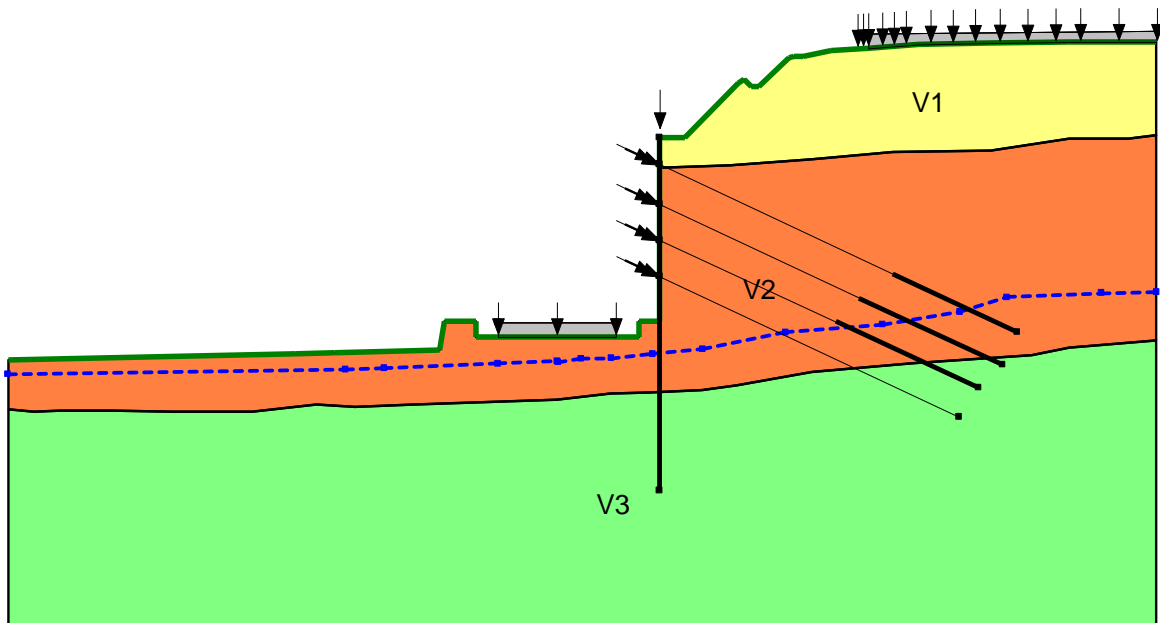


Figura 7.1 – Modello di calcolo

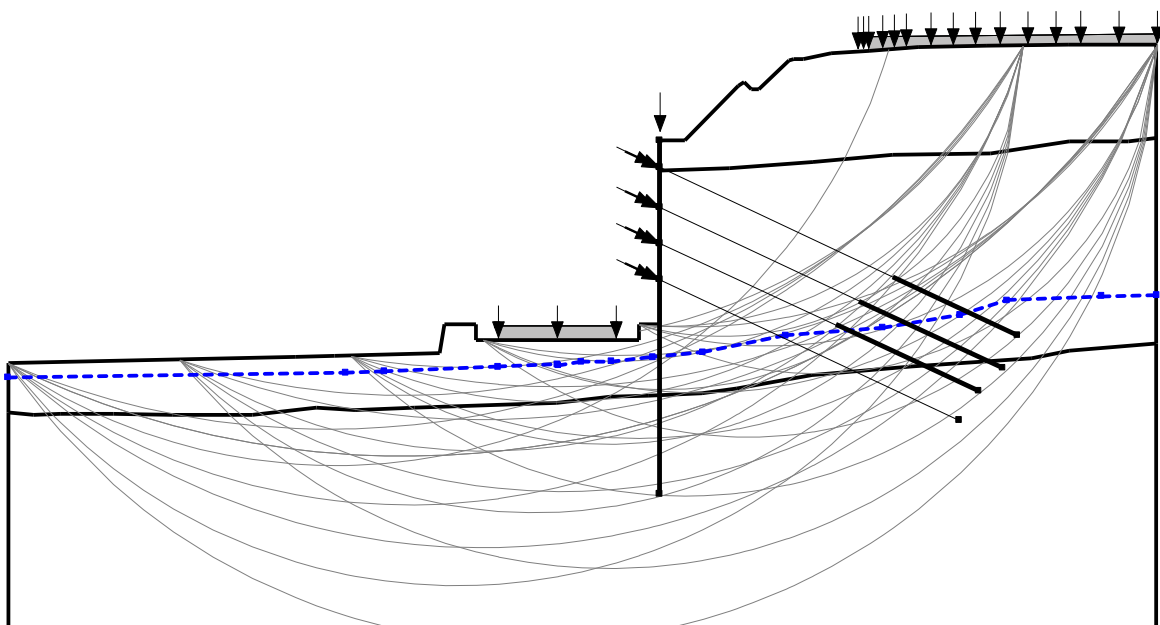


Figura 7.2 – Alcune delle superfici di scorrimento indagate  
 (sono rappresentate le prime 50 superfici di scorrimento calcolate)

Nel calcolo si è tenuto conto della presenza del sovraccarico permanente dovuto alla presenza dell'arco rovescio pari a 13 kPa. Inoltre, in condizioni statiche si è tenuto conto della presenza del sovraccarico stradale applicando un sovraccarico accidentale distribuito di 10 kPa e di un sovraccarico accidentale a monte della paratia dovuto alla

presenza di abitazioni pari a 5kPa.

I tabulati di calcolo delle analisi di stabilità della paratia MU59 sono riportati nell'ALLEGATO A.

### 7.3 Risultati delle analisi

I principali risultati delle analisi sono di seguito riportati:

	$F_{min}$
Condizioni Statiche	1.28
Condizioni Sismiche (+/- kv)	1.17

La verifica di stabilità è soddisfatta in entrambe le condizioni analizzate ( $F_{min} \geq 1.1$ ).  
 Le superfici di scorrimento critiche sono riportate nei paragrafi seguenti.

#### 7.3.1.1 Condizioni Statiche

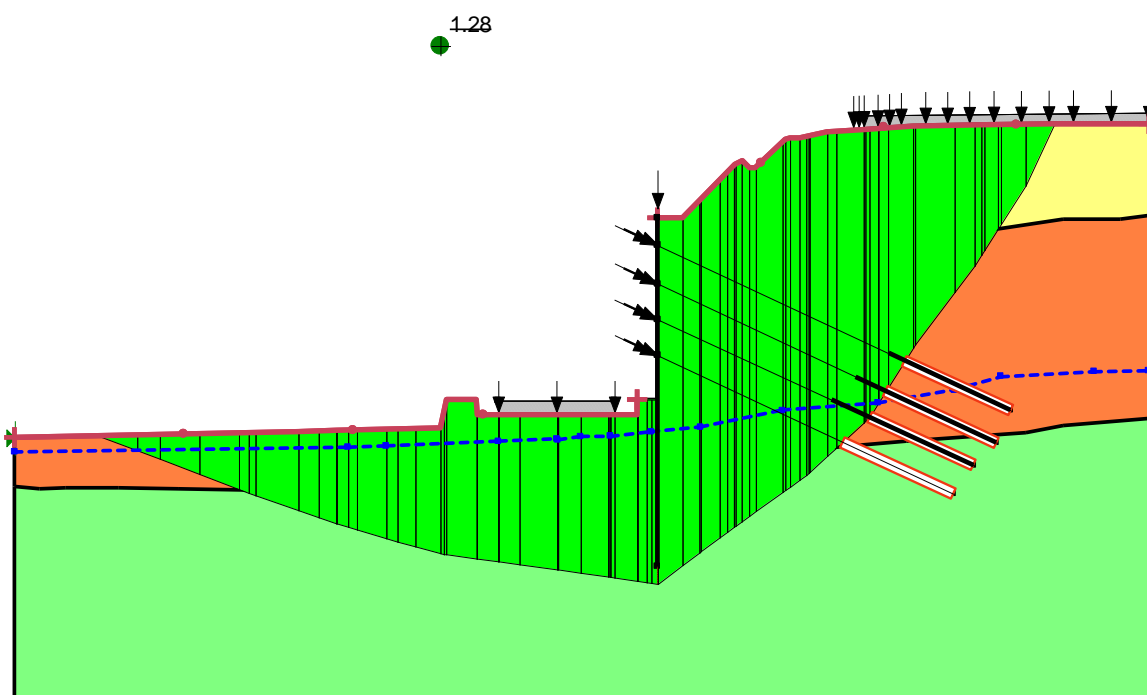


Figura 7.3 – Condizioni statiche: Superficie di scorrimento critica ottimizzata <sup>1</sup>

<sup>1</sup> il programma individua la superficie di scorrimento circolare critica e ne modifica la forma per minimizzare il valore del coefficiente di sicurezza

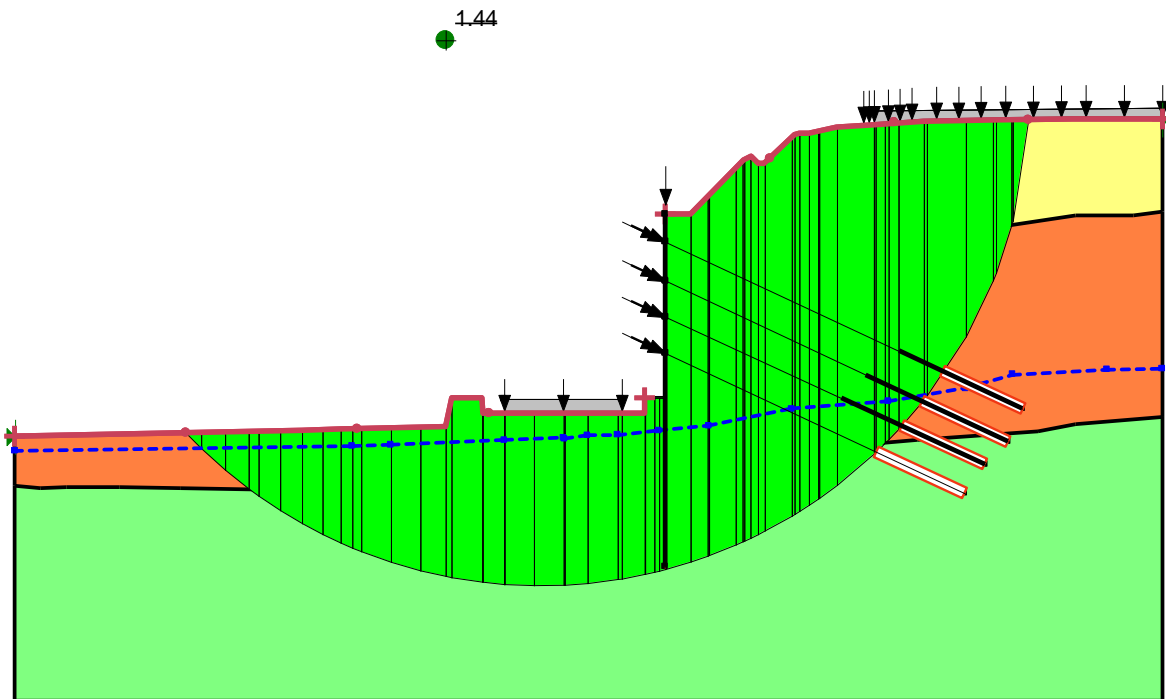


Figura 7.4 – Condizioni statiche: Superficie di scorrimento critica Non ottimizzata

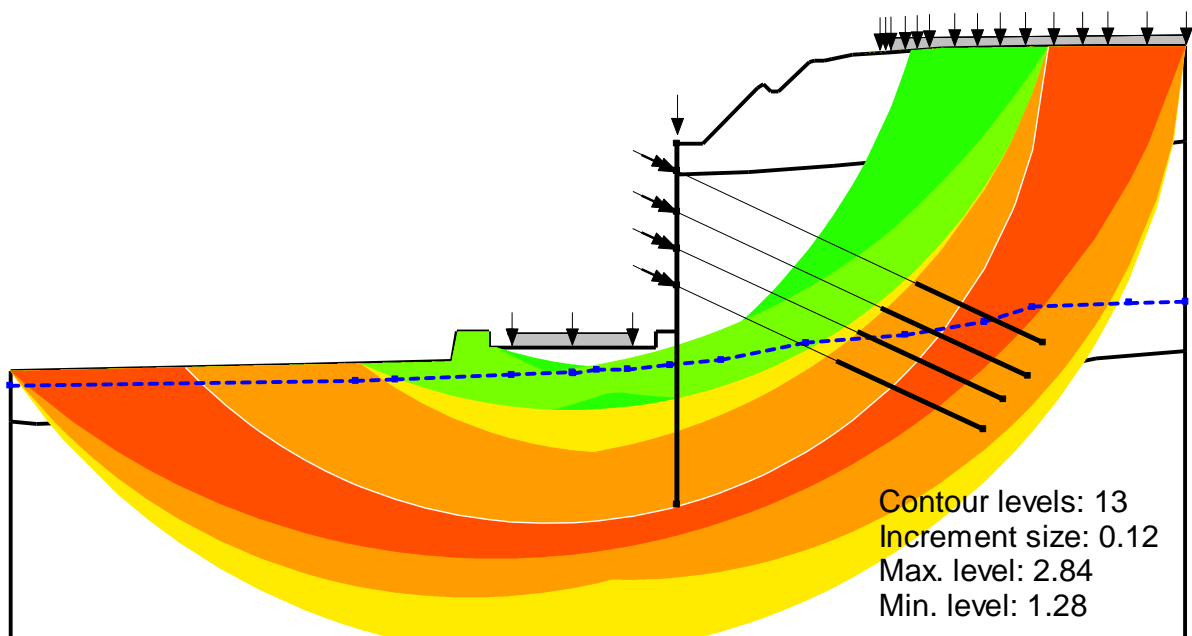


Figura 7.5- Condizioni statiche: distribuzione dei valori del coefficiente di sicurezza (Safety Map)

7.3.1.2 Condizioni Sismiche

- Risultati (+)  $k_v$

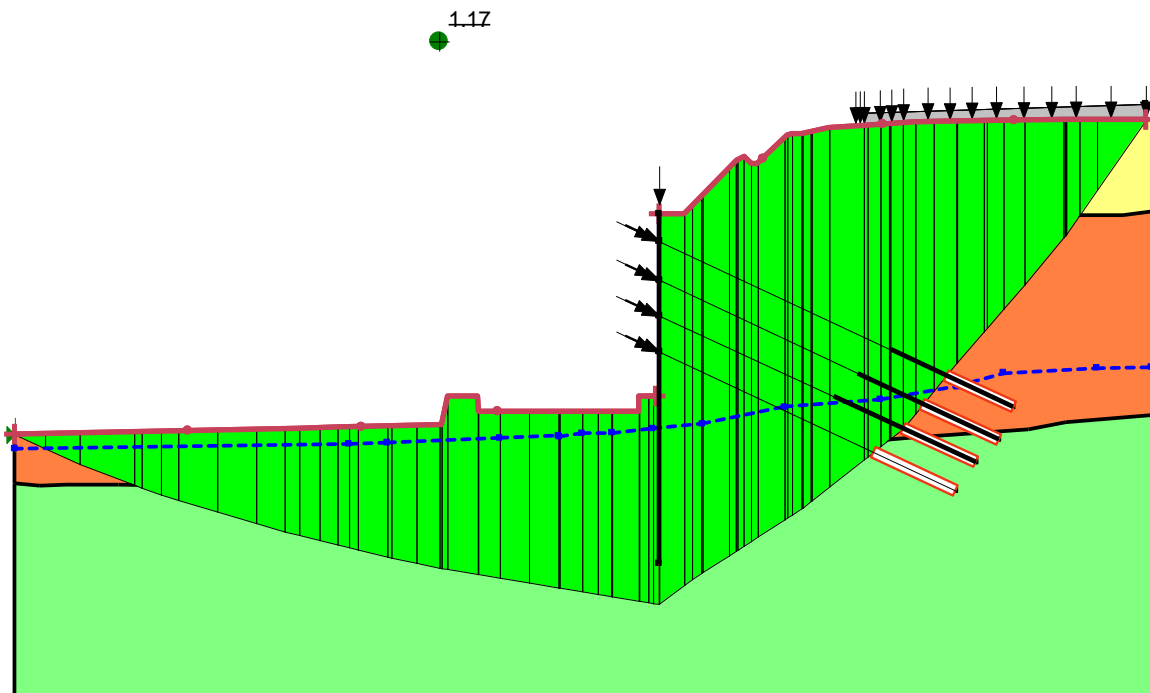


Figura 7.6 - Condizioni sismiche (+ $k_v$ ) – superficie di scorrimento critica ottimizzata

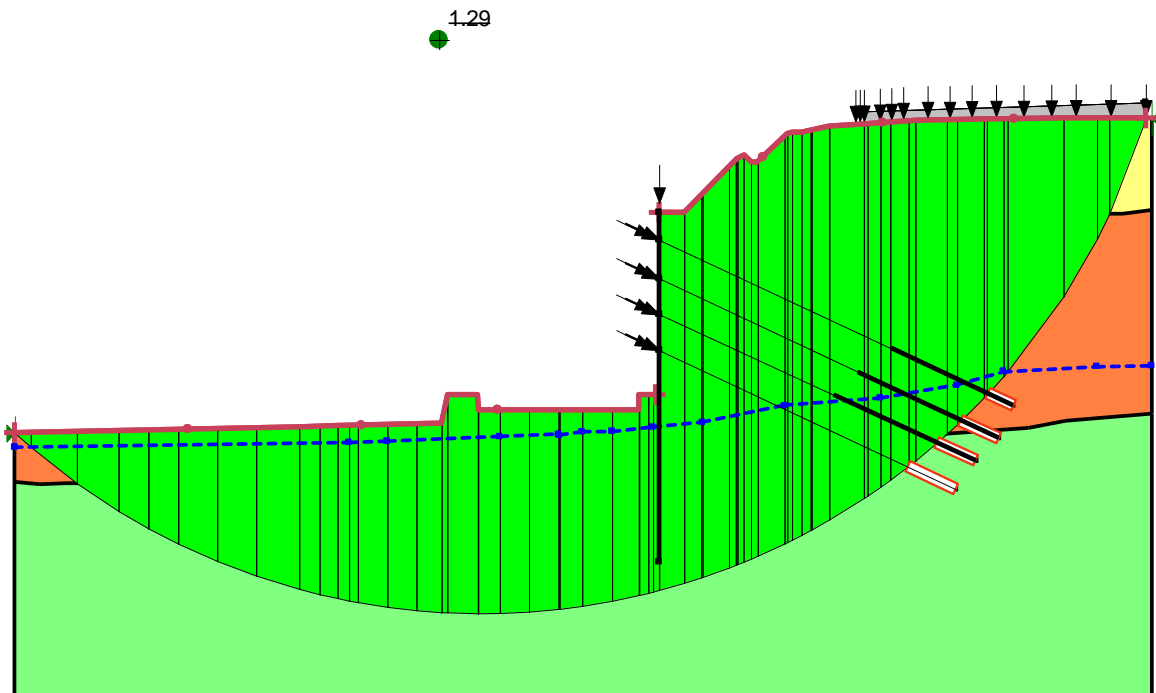


Figura 7.7- Condizioni sismiche (+k<sub>v</sub>): superficie di scorrimento critica Non ottimizzata

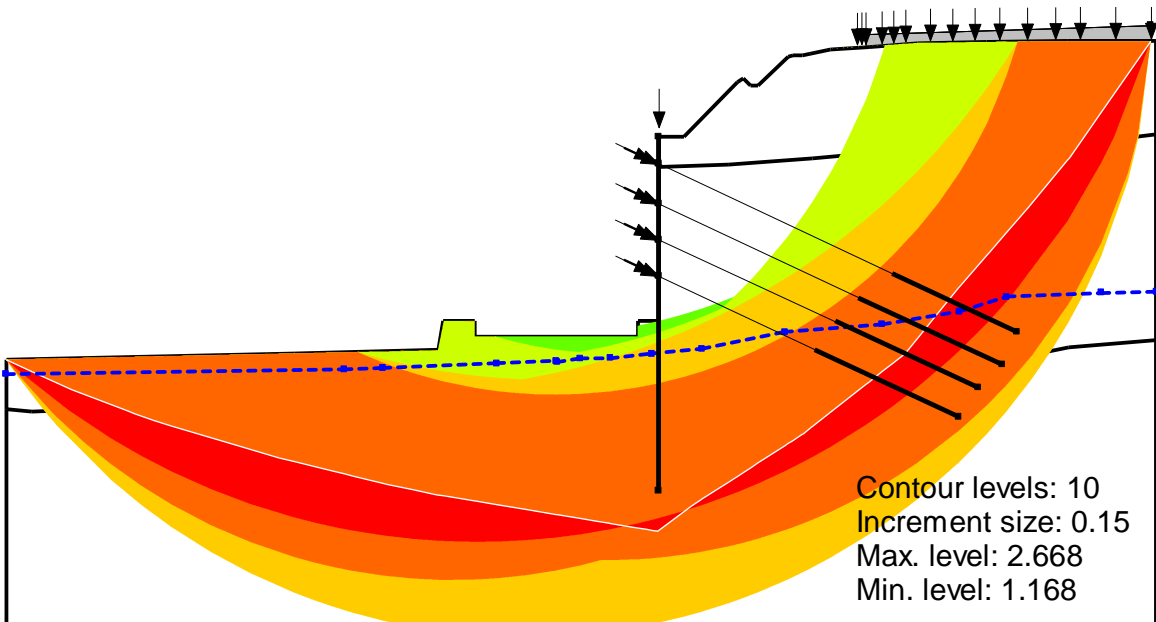


Figura 7.8 - Condizioni sismiche: distribuzione dei valori del coefficiente di sicurezza (Safety Map)

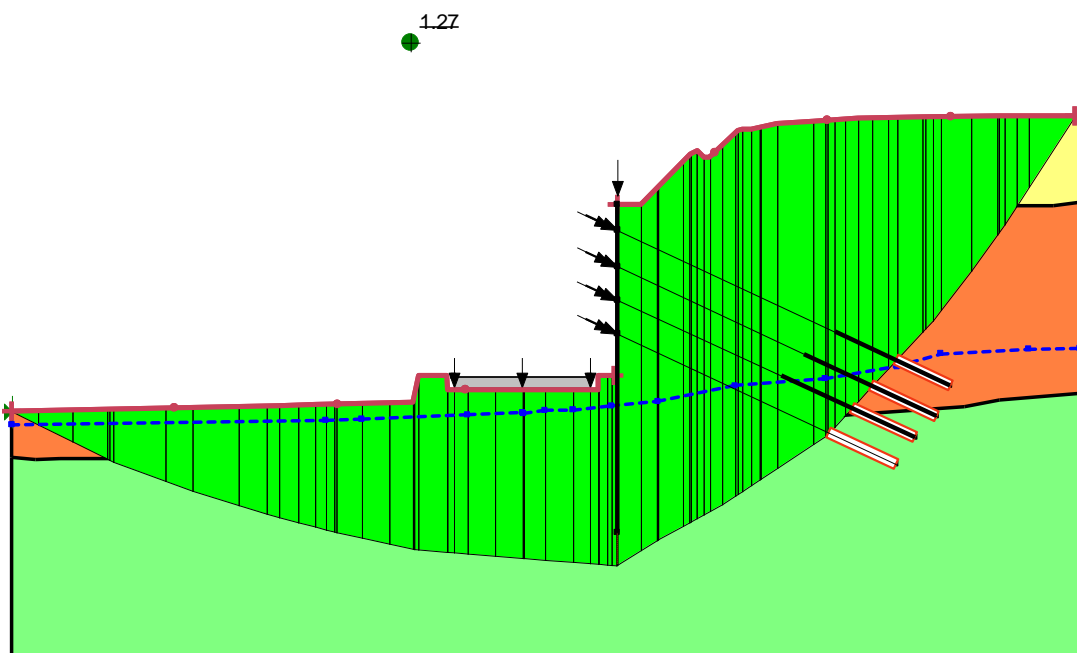


Figura 7.9 - Condizioni sismiche (-kv): superficie di scorrimento critica ottimizzata

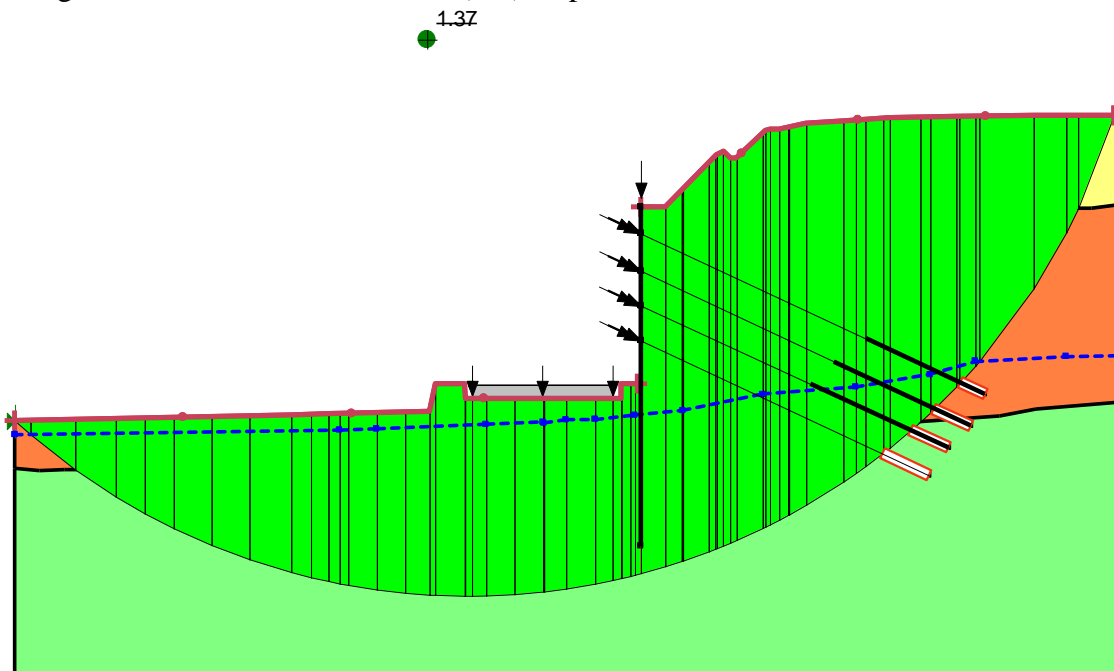


Figura 7.10 - Condizioni sismiche (-kv) : superficie di scorrimento critica Non ottimizzata

L'andamento del coefficiente di sicurezza con la profondità non è stato riportato in quanto l'andamento è qualitativamente uguale a quello dell'analisi sismica con (+)k<sub>v</sub> che è anche la più gravosa.

## 8. Allegato A: Verifiche di stabilità

# Analisi Statica EE

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
 Time(t) Units: Seconds  
 Force(F) Units: kN  
 Pressure(p) Units: kPa  
 Strength Units: kPa  
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
 View: 2D

## Analysis Settings

### Analisi Statica EE

Kind: SLOPE/W  
 Method: Morgenstern-Price  
 Settings  
   Apply Phreatic Correction: No  
   Side Function  
     Interslice force function option: Half-Sine  
   PWP Conditions Source: Piezometric Line  
   Use Staged Rapid Drawdown: No  
 Slip Surface  
   Direction of movement: Right to Left  
   Use Passive Mode: No  
   Slip Surface Option: Entry and Exit  
   Critical slip surfaces saved: 1  
   Optimize Critical Slip Surface Location: Yes  
   Tension Crack  
     Tension Crack Option: (none)  
 FOS Distribution  
   FOS Calculation Option: Constant  
 Advanced  
   Number of Slices: 30  
   Optimization Tolerance: 0.01  
   Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m  
   Optimization Maximum Iterations: 2000  
   Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
   Starting Optimization Points: 8  
   Ending Optimization Points: 16  
   Complete Passes per Insertion: 1  
   Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
   Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### V1

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 25.7 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
   Piezometric Line: 1

### V2

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 24.8 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
   Piezometric Line: 1

### V3

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 25.7 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure



Piezometric Line: 1

### Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (0, 20.866506) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (43.92423, 23.556827) m  
 Left-Zone Increment: 4  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (45.35026, 36.348069) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (80, 42.974186) m  
 Right-Zone Increment: 4  
 Radius Increments: 4

### Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0, 20.866506) m  
 Right Coordinate: (80, 42.974186) m

### Piezometric Lines

#### Piezometric Line 1

##### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	0	19.8698
	23.521	20.1913
	26.2125	20.2983
	34.1323	20.613
	38.2503	20.7766
	38.32108	20.704657
	39.9288	20.9437
	42.0336	20.999
	44.9139	21.2758
	48.4035	21.6079
	54.164	22.7704
	60.9216	23.3239
	66.2944	24.2096
	69.5624	25.206
	76.1538	25.5381
	80	25.5868

### Surcharge Loads

#### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 13 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

##### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	34.1	23.5
	42.3	23.5

#### Surcharge Load 2

Surcharge (Unit Weight): 5 kN/m<sup>3</sup>  
 Direction: Vertical

##### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	59.89106	43.6

	80.08326	43.8
--	----------	------

### Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0  
 Vert Seismic Load: 0

### Reinforcements

#### Reinforcement 1

Type: Pile  
 Outside Point: (45.35026, 36.39) m  
 Inside Point: (45.35026, 11.79) m  
 Slip Surface Intersection: (45.35, 10.566) m  
 Total Length: 24.6 m  
 Reinforcement Direction: 90 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Pile Spacing: 1.4 m  
 Shear Capacity: 585.8 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Load Used: 418.42857 kN  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Resisting Force Used: 0 kN/m

#### Reinforcement 2

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.35026, 34.453082) m  
 Inside Point: (70.27372, 22.83108) m  
 Slip Surface Intersection: (62.797, 26.317) m  
 Total Length: 27.499996 m  
 Reinforcement Direction: 155 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 9.5 m  
 Bond Diameter: 0.156 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 19.447955 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 696.39 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 248.71071 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 184.75557 kN  
 Anchor Load Used: 160.43 kN  
 Resisting Force Used: 19.448 kN/m  
 Available Bond Length: 8.2492 m  
 Required Bond Length: 8.2492 m  
 Governing Component: Bond

#### Reinforcement 3

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.37138, 31.690298) m  
 Inside Point: (69.23538, 20.502223) m  
 Slip Surface Intersection: (61.442, 24.156) m  
 Total Length: 26.35647 m  
 Reinforcement Direction: 154.88 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip

Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 257.54 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 8.6075 m  
 Required Bond Length: 8.6075 m  
 Governing Component: Bond

**Reinforcement 4**

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.36621, 29.211463) m  
 Inside Point: (67.6176, 18.968625) m  
 Slip Surface Intersection: (60.301, 22.337) m  
 Total Length: 24.495716 m  
 Reinforcement Direction: 155.28 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 241 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 8.0547 m  
 Required Bond Length: 8.0547 m  
 Governing Component: Bond

**Reinforcement 5**

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.35026, 26.663329) m  
 Inside Point: (66.19534, 16.943109) m  
 Slip Surface Intersection: (58.39, 20.583) m  
 Total Length: 23.000001 m  
 Reinforcement Direction: 155 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 257.68 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 8.6123 m  
 Required Bond Length: 8.6123 m  
 Governing Component: Bond

**Point Loads**

	Coordinate (m)	Magnitude (kN)	Direction (°)
Point Load 1	(45.3608, 34.452654)	89.3	155
Point Load 2	(45.36115, 31.689054)	142.9	155
Point Load 3	(45.36026, 29.195921)	142.9	155
Point Load 4	(45.36026, 26.695921)	142.9	155

### Regions

	Material	Points	Area (m²)
Region 1	V1	13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37	222.76739
Region 2	V3	38,39,40,41,42,43,44,65,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57	1316.2658
Region 3	V2	41,37,36,35,34,33,32,31,30,64,63,66,67,68,62,61,60,59,58,38,57,56,55,54,53,52,51,50,49,48,47,46,45,65,44,43,42	694.82738

### Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	780.86802	4.371752
Point 2	1208.2496	4.371752
Point 3	1208.2496	91.578049
Point 4	780.86802	91.578049
Point 5	1063.352	66.292919
Point 6	1061.352	66.292919
Point 7	1061.352	67.992919
Point 8	1063.352	67.992919
Point 9	1114.352	68.492919
Point 10	1112.352	68.492919
Point 11	1112.352	70.192919
Point 12	1114.352	70.192919
Point 13	80	42.974186
Point 14	73.7969	42.967036
Point 15	68.18688	42.922445
Point 16	63.36227	42.848692
Point 17	60	42.620799
Point 18	57.31772	42.43898
Point 19	55.36344	42.029111
Point 20	54.68169	41.979405
Point 21	54.361	41.933422
Point 22	52.29084	39.863262
Point 23	51.79084	39.863262
Point 24	51.2789	40.375203
Point 25	50.838	40.113281
Point 26	47.11472	36.39
Point 27	45.35026	36.39
Point 28	45.35026	35.62555
Point 29	45.35026	34.466859
Point 30	45.35026	34.249281
Point 31	50.24182	34.42633
Point 32	56.07197	34.87811
Point 33	61.60979	35.31792
Point 34	68.39454	35.464524
Point 35	73.90762	36.272587
Point 36	78.01514	36.272587
Point 37	80	36.574437
Point 38	0	17.462068
Point 39	0	2.462068
Point 40	80	2.462068
Point 41	80	22.252017
Point 42	73.91922	21.733259
Point 43	71.31036	21.228642
Point 44	62.89468	20.639922
Point 45	50.72299	19.129043

Point 47	44.57362	18.570368
Point 48	41.94288	18.537505
Point 49	38.25035	18.107483
Point 50	28.27195	17.790093
Point 51	24.13567	17.566653
Point 52	21.45268	17.790093
Point 53	16.98103	17.231494
Point 54	11.50325	17.287354
Point 55	7.31107	17.343214
Point 56	3.62196	17.343214
Point 57	1.7774	17.287354
Point 58	0	20.866506
Point 59	20	21.290496
Point 60	22.69476	21.347145
Point 61	30.02899	21.517426
Point 62	30.44085	23.549865
Point 63	43.92423	23.556827
Point 64	45.35026	23.556827
Point 65	56	20
Point 66	43.91894	22.482717
Point 67	32.59777	22.489314
Point 68	32.58907	23.535083
Point 69	45.35026	24.325247
Point 70	45.35026	26.695921
Point 71	45.35026	29.195921
Point 72	45.35026	31.695921

### Critical Slip Surfaces

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	Optimized	1.28	(36.624, 44.564)	39.46211	(73.3217, 42.9633)	(5.93135, 20.9922)
2	45	1.44	(36.624, 44.564)	34.056	(70.6407, 42.9419)	(11.9221, 21.1193)

### Slices of Slip Surface: Optimized

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	Optimized	7.2787	20.48998	-5.1063111	13.268411	0	6.1334
2	Optimized	9.430696	19.68775	3.0495403	34.92284	0	14.741
3	Optimized	11.62866	18.851705	11.543363	58.329719	0	21.656
4	Optimized	14.4153	17.779535	22.431622	89.956243	0	31.284
5	Optimized	16.158735	17.10874	29.244123	111.59043	0	39.76
6	Optimized	16.74494	16.89236	31.444911	116.17064	0	40.912
7	Optimized	18.490515	16.2885	37.601976	135.89865	0	47.489
8	Optimized	20.72634	15.51504	45.485506	161.754	0	56.204
9	Optimized	22.062095	15.052945	50.196131	177.51401	0	61.563
10	Optimized	22.683135	14.83863	52.380542	179.67399	0	61.546
11	Optimized	23.10788	14.71105	53.689081	184.002	0	63.009
12	Optimized	23.828335	14.494645	55.986306	191.30576	0	65.442
13	Optimized	25.174085	14.09042	60.475094	204.86088	0	69.84
14	Optimized	26.60634	13.660215	65.252916	219.16333	0	74.463
15	Optimized	27.636065	13.373555	68.465651	223.20716	0	74.857
16	Optimized	29.15047	12.97258	72.986958	235.75789	0	78.747
17	Optimized	30.14666	12.708815	75.962366	260.21413	0	89.127
18	Optimized	30.35259	12.665855	76.466397	265.75695	0	91.463
19	Optimized	31.51496	12.510415	78.441704	280.39876	0	97.572
20	Optimized	32.59342	12.3662	80.276226	269.98751	0	91.664
21	Optimized	33.348885	12.26518	81.564949	258.47155	0	85.481
22	Optimized	34.11615	12.16258	82.866079	276.50156	0	93.549

24	Optimized	36.93419	11.77979	87.71844	283.16471	0	94.4
25	Optimized	38.28569	11.59296	89.710581	285.50192	0	94.549
26	Optimized	39.12494	11.476945	91.669239	286.50488	0	94.074
27	Optimized	40.894285	11.23235	95.489072	288.13445	0	92.985
28	Optimized	41.901325	11.092535	97.118235	291.64849	0	93.883
29	Optimized	41.98824	11.07926	97.271435	291.72277	0	93.844
30	Optimized	42.1668	11.051985	97.677311	291.85564	0	93.709
31	Optimized	43.10947	10.908005	99.97466	275.84165	0	84.848
32	Optimized	43.921585	10.783965	101.95751	290.31943	0	90.857
33	Optimized	44.248925	10.73397	102.75666	304.49633	0	97.304
34	Optimized	44.74376	10.658395	103.96361	304.56717	0	96.738
35	Optimized	45.13208	10.599085	104.90906	304.56227	0	96.274
36	Optimized	45.35177	10.56553	105.44278	638.03141	0	256.95
37	Optimized	46.234	11.23233	99.727826	523.71138	0	203.96
38	Optimized	47.702135	12.34425	90.191749	372.80432	0	135.49
39	Optimized	48.346525	12.83229	86.00631	374.06519	0	138.11
40	Optimized	49.059745	13.37246	82.062152	375.69658	0	140.79
41	Optimized	49.978905	14.057635	77.162611	384.40571	0	147.37
42	Optimized	50.482405	14.41796	74.626853	386.08022	0	149.4
43	Optimized	50.780495	14.631285	73.126168	387.09071	0	150.61
44	Optimized	51.05845	14.8302	71.722786	386.72315	0	151.11
45	Optimized	51.53487	15.171145	69.321767	379.49061	0	148.79
46	Optimized	52.04084	15.53324	66.772861	369.99533	0	145.46
47	Optimized	53.22742	16.382405	60.79253	370.71591	0	148.69
48	Optimized	54.2625	17.12315	55.463547	374.72157	0	153.19
49	Optimized	54.521345	17.30839	53.853217	373.67849	0	153.46
50	Optimized	55.022565	17.66708	50.738243	368.85901	0	152.66
51	Optimized	55.600355	18.08057	47.147192	363.62257	0	151.87
52	Optimized	55.918635	18.32447	45.010769	334.94403	0	139.01
53	Optimized	56.035985	18.431705	44.052769	333.76262	0	138.91
54	Optimized	56.694845	19.033795	38.677736	327.15281	0	138.34
55	Optimized	57.633975	19.892005	31.016339	317.13087	0	137.23
56	Optimized	58.920645	21.067805	20.518069	357.14259	0	155.25
57	Optimized	59.94553	22.004375	12.156448	293.82149	0	129.76
58	Optimized	60.144825	22.186495	10.530474	291.37905	0	129.39
59	Optimized	60.60478	22.8213	4.6744714	347.83078	0	158.24
60	Optimized	60.920755	23.32511	-0.012564742	220.3644	0	101.33
61	Optimized	61.265695	23.87511	-4.8494225	333.38043	0	153.76
62	Optimized	62.48603	25.820895	-21.958832	223.41143	0	102.88
63	Optimized	63.43891	27.34023	-35.318468	179.37234	0	82.539
64	Optimized	64.904975	29.30543	-52.221312	171.58338	0	79.043
65	Optimized	66.99976	32.08405	-75.116197	139.41068	0	64.265
66	Optimized	67.946	33.39736	-85.165773	115.95859	0	53.452
67	Optimized	68.29071	33.937845	-89.43692	109.80551	0	50.623
68	Optimized	68.874315	34.852905	-96.667358	99.256362	0	45.77
69	Optimized	69.458245	35.768475	-103.89667	87.442748	0	42.011
70	Optimized	70.432735	37.296415	-118.13958	70.23564	0	33.759
71	Optimized	72.31236	40.812155	-151.69089	25.306014	0	12.172

**Slices of Slip Surface: 45**

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	45	12.453895	20.583275	-5.3275931	17.582931	0	8.1283
2	45	13.81371	19.299695	7.4426484	56.516799	0	22.706
3	45	15.469785	17.895275	21.438047	97.704999	0	35.331
4	45	16.639425	16.990875	30.4639	126.27615	0	46.258
5	45	17.735775	16.239985	37.974816	149.44327	0	53.85
6	45	19.24526	15.288645	47.507312	178.61314	0	63.379

7	45	20.72634	14.45708	55.860834	203.65105	0	71.481
8	45	22.07372	13.780015	62.681654	223.2953	0	77.71
9	45	23.10788	13.30784	67.450939	236.37489	0	81.746
10	45	23.828335	13.004595	70.600378	244.38071	0	84.106
11	45	25.174085	12.50908	75.983817	256.37793	0	87.312
12	45	27.242225	11.84294	83.321509	269.90922	0	90.303
13	45	29.15047	11.35004	88.902289	276.74037	0	90.886
14	45	30.23492	11.11304	91.647067	304.88605	0	103.11
15	45	31.51496	10.91066	94.130653	328.79225	0	113.41
16	45	32.59342	10.74709	96.155196	313.08334	0	104.82
17	45	33.348885	10.673995	97.168948	297.172	0	96.631
18	45	34.11615	10.600225	98.187904	309.34392	0	101.98
19	45	35.1618	10.55478	99.044059	303.3382	0	98.623
20	45	37.2208	10.528595	100.10115	289.78054	0	91.479
21	45	38.28569	10.54839	99.955619	282.0314	0	87.762
22	45	39.12494	10.60934	100.17512	274.85039	0	84.156
23	45	40.9812	10.804405	99.704937	258.15851	0	76.255
24	45	42.1668	10.962225	98.555264	247.25482	0	71.505
25	45	43.10947	11.141285	97.687161	224.83813	0	61.092
26	45	43.921585	11.29895	96.906893	227.85113	0	62.889
27	45	44.248925	11.37413	96.479247	235.25118	0	66.639
28	45	44.74376	11.490505	95.802832	230.06322	0	64.447
29	45	45.13208	11.588575	95.206437	225.91697	0	62.731
30	45	46.23249	11.90444	93.136042	641.24138	0	264.16
31	45	47.702135	12.36613	89.976828	445.23197	0	170.59
32	45	48.346525	12.58914	88.392837	446.32286	0	171.85
33	45	49.32266	12.9796	86.435972	447.06869	0	173.1
34	45	50.482405	13.456355	84.056777	447.79151	0	174.54
35	45	50.780495	13.589825	83.334783	447.79991	0	174.89
36	45	51.05845	13.71928	82.618143	446.24644	0	174.47
37	45	51.53487	13.947115	81.327041	436.03306	0	170.18
38	45	52.04084	14.198715	79.859875	423.2313	0	164.71
39	45	53.22742	14.84899	75.833377	418.00167	0	164.11
40	45	54.2625	15.43197	72.045784	416.89463	0	165.38
41	45	54.521345	15.59066	70.700045	414.22533	0	164.75
42	45	55.022565	15.908585	67.983104	406.04226	0	162.12
43	45	55.68172	16.3424	64.258423	395.6818	0	158.93
44	45	56.035985	16.582305	62.190304	390.4946	0	157.43
45	45	56.694845	17.061855	58.01645	380.4284	0	154.6
46	45	58.60439	18.60599	44.406538	347.09104	0	145.16
47	45	59.94553	19.74673	34.297147	326.4092	0	140.1
48	45	60.326985	20.114935	30.992508	440.81161	0	197.03
49	45	60.787785	20.5667	26.931873	310.60251	0	130.62
50	45	61.265695	21.06225	22.735808	300.73725	0	128.03
51	45	62.48603	22.44773	11.121841	352.56125	0	157.53
52	45	63.475875	23.618055	1.2446378	249.04397	0	114.15
53	45	64.94194	25.805455	-17.837011	225.45339	0	103.91
54	45	67.24064	29.81101	-52.103738	148.00342	0	68.226
55	45	68.29071	32.0373	-70.797278	115.13835	0	53.1
56	45	68.939865	33.962085	-87.732811	87.77854	0	40.495
57	45	69.523795	35.768805	-103.70581	62.553932	0	30.071
58	45	70.10155	39.42759	-139.20499	22.51316	0	10.826

# Analisi Sismica\_EE(+kv)

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.17. Copyright © 1991-2010 GEO-SLOPE International Ltd.

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
 Time(t) Units: Seconds  
 Force(F) Units: kN  
 Pressure(p) Units: kPa  
 Strength Units: kPa  
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
 View: 2D

## Analysis Settings

### Analisi Sismica\_EE(+kv)

Kind: SLOPE/W  
 Method: Morgenstern-Price  
 Settings  
   Apply Phreatic Correction: No  
   Side Function  
     Interslice force function option: Half-Sine  
   PWP Conditions Source: Piezometric Line  
   Use Staged Rapid Drawdown: No  
 Slip Surface  
   Direction of movement: Right to Left  
   Use Passive Mode: No  
   Slip Surface Option: Entry and Exit  
   Critical slip surfaces saved: 1  
   Optimize Critical Slip Surface Location: Yes  
   Tension Crack  
     Tension Crack Option: (none)  
 FOS Distribution  
   FOS Calculation Option: Constant  
 Advanced  
   Number of Slices: 30  
   Optimization Tolerance: 0.01  
   Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m  
   Optimization Maximum Iterations: 2000  
   Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
   Starting Optimization Points: 8  
   Ending Optimization Points: 16  
   Complete Passes per Insertion: 1  
   Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
   Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### V1

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 25.7 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
   Piezometric Line: 1

### V2

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 24.8 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
   Piezometric Line: 1

### V3

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 25.7 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
   Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (0, 20.866506) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (45.10465, 23.556827) m  
 Left-Zone Increment: 4  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (45.35026, 36.39) m



Right-Zone Right Coordinate: (79.5865, 42.973709) m  
Right-Zone Increment: 4  
Radius Increments: 4

### Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0, 20.866506) m  
Right Coordinate: (80, 42.974186) m

### Piezometric Lines

#### Piezometric Line 1

##### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	0	19.8698
	23.521	20.1913
	26.2125	20.2983
	34.1323	20.613
	38.2503	20.7766
	38.32108	20.704657
	39.9288	20.9437
	42.0336	20.999
	44.9139	21.2758
	48.4035	21.6079
	54.164	22.7704
	60.9216	23.3239
	66.2944	24.2096
	69.5624	25.206
	76.1538	25.5381
	80	25.5868

### Surcharge Loads

#### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 0 kN/m<sup>3</sup>  
Direction: Vertical

##### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	59.75194	43.48
	79.5864	44.1

### Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0.049  
Vert Seismic Load: 0.025  
Ignore seismic load in strength: Yes

### Reinforcements

#### Reinforcement 1

Type: Pile  
Outside Point: (45.35026, 36.39) m  
Inside Point: (45.35026, 11.79) m  
Slip Surface Intersection: (45.35, 8.9821) m  
Total Length: 24,6 m  
Reinforcement Direction: 90 °  
Applied Load Option: Variable  
F of S Dependent: No  
Pile Spacing: 1.4 m  
Shear Capacity: 585.8 kN  
Shear Safety Factor: 1  
Shear Load Used: 418.42857 kN  
Shear Option: Parallel to Slip  
Resisting Force Used: 0 kN/m

#### Reinforcement 2

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.35026, 34.453082) m  
 Inside Point: (70.27372, 22.83108) m  
 Slip Surface Intersection: (65.547, 25.035) m  
 Total Length: 27.499996 m  
 Reinforcement Direction: 155 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 9.5 m  
 Bond Diameter: 0.156 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 19.447955 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 696.39 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 248.71071 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 184.75557 kN  
 Anchor Load Used: 101.42 kN  
 Resisting Force Used: 19.448 kN/m  
 Available Bond Length: 5.2152 m  
 Required Bond Length: 5.2152 m  
 Governing Component: Bond

#### Reinforcement 3

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.37138, 31.690298) m  
 Inside Point: (69.23538, 20.502223) m  
 Slip Surface Intersection: (63.894, 23.007) m  
 Total Length: 26.35647 m  
 Reinforcement Direction: 154.88 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 176.52 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 5.8997 m  
 Required Bond Length: 5.8997 m  
 Governing Component: Bond

#### Reinforcement 4

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.36621, 29.211463) m  
 Inside Point: (67.6176, 18.968625) m  
 Slip Surface Intersection: (62.516, 21.317) m  
 Total Length: 24.495716 m  
 Reinforcement Direction: 155.28 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 168.03 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 5.6159 m  
 Required Bond Length: 5.6159 m  
 Governing Component: Bond

#### Reinforcement 5

Type: Anchor  
 Outside Point: (45.35026, 26.663329) m

Total Length: 23.000001 m  
 Reinforcement Direction: 155 °  
 Applied Load Option: Variable  
 F of S Dependent: No  
 Bond Length: 11 m  
 Bond Diameter: 0.24 m  
 Bond Safety Factor: 1.8  
 Bond Skin Friction: 200 kPa  
 Bond Resistance: 29.91993 kN/m  
 Anchor Spacing: 2.8 m  
 Bar Capacity: 1392.78 kN  
 Bar Safety Factor: 1  
 Bar Load: 497.42143 kN  
 Load Distribution: Conc. in 1 slice  
 Shear Capacity: 0 kN  
 Shear Safety Factor: 1  
 Shear Option: Parallel to Slip  
 Shear Load: 0 kN  
 Applied Load: 329.11923 kN  
 Anchor Load Used: 191.25 kN  
 Resisting Force Used: 29.92 kN/m  
 Available Bond Length: 6.392 m  
 Required Bond Length: 6.392 m  
 Governing Component: Bond

### Point Loads

	Coordinate (m)	Magnitude (kN)	Direction (°)
Point Load 1	(45.3608, 34.452654)	89.3	155
Point Load 2	(45.36115, 31.689054)	142.9	155
Point Load 3	(45.36026, 29.195921)	142.9	155
Point Load 4	(45.36026, 26.695921)	142.9	155

### Regions

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	V1	13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37	222.76739
Region 2	V3	38,39,40,41,42,43,44,65,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57	1316.2658
Region 3	V2	41,37,36,35,34,33,32,31,30,64,63,66,67,68,62,61,60,59,58,38,57,56,55,54,53,52,51,50,49,48,47,46,45,65,44,43,42	694.82738

### Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	780.86802	4.371752
Point 2	1208.2496	4.371752
Point 3	1208.2496	91.578049
Point 4	780.86802	91.578049
Point 5	1063.352	66.292919
Point 6	1061.352	66.292919
Point 7	1061.352	67.992919
Point 8	1063.352	67.992919
Point 9	1114.352	68.492919
Point 10	1112.352	68.492919
Point 11	1112.352	70.192919
Point 12	1114.352	70.192919
Point 13	80	42.974186
Point 14	73.7969	42.967036
Point 15	68.18688	42.922445
Point 16	63.36227	42.848692
Point 17	60	42.620799
Point 18	57.31772	42.43898
Point 19	55.36344	42.029111
Point 20	54.68169	41.979405
Point 21	54.361	41.933422
Point 22	52.29084	39.863262
Point 23	51.79084	39.863262
Point 24	51.2789	40.375203
Point 25	50.838	40.113281
Point 26	47.11472	36.39
Point 27	45.35026	36.39
Point 28	45.35026	35.62555
Point 29	45.35026	34.466859

Point 30	45.35026	34.249281
Point 31	50.24182	34.42633
Point 32	56.07197	34.87811
Point 33	61.60979	35.31792
Point 34	68.39454	35.464524
Point 35	73.90762	36.272587
Point 36	78.01514	36.272587
Point 37	80	36.574437
Point 38	0	17.462068
Point 39	0	2.462068
Point 40	80	2.462068
Point 41	80	22.252017
Point 42	73.91922	21.733259
Point 43	71.31036	21.228642
Point 44	62.89468	20.639922
Point 45	50.72299	19.129043
Point 46	48.28955	18.800411
Point 47	44.57362	18.570368
Point 48	41.94288	18.537505
Point 49	38.25035	18.107483
Point 50	28.27195	17.790093
Point 51	24.13567	17.566653
Point 52	21.45268	17.790093
Point 53	16.98103	17.231494
Point 54	11.50325	17.287354
Point 55	7.31107	17.343214
Point 56	3.62196	17.343214
Point 57	1.7774	17.287354
Point 58	0	20.866506
Point 59	20	21.290496
Point 60	22.69476	21.347145
Point 61	30.02899	21.517426
Point 62	30.44085	23.549865
Point 63	43.92423	23.556827
Point 64	45.35026	23.556827
Point 65	56	20
Point 66	43.91894	22.482717
Point 67	32.59777	22.489314
Point 68	32.58907	23.535083
Point 69	45.35026	24.325247
Point 70	45.35026	26.695921
Point 71	45.35026	29.195921
Point 72	45.35026	31.695921

### Critical Slip Surfaces

	Slip Surface	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	Optimized	1.17	(32.81, 57.062)	43.08936	(79.5865, 42.9737)	(0, 20.8665)
2	24	1.29	(32.81, 57.062)	48.852	(79.5865, 42.9737)	(0, 20.8665)

### Slices of Slip Surface: Optimized

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	Optimized	1.062054	20.38267	-4.8874448	13.501309	0	5.9712
2	Optimized	3.337124	19.34622	5.5819317	42.548116	0	16.173
3	Optimized	6.474106	18.06117	18.604987	77.625417	0	25.536
4	Optimized	8.659526	17.229195	27.057178	103.41922	0	34.134
5	Optimized	9.60203	16.884145	30.567634	113.27408	0	36.9
6	Optimized	10.893165	16.45776	34.922022	123.14326	0	39.374
7	Optimized	12.872695	15.87089	40.942016	142.26091	0	45.001
8	Optimized	15.611585	15.05889	49.273241	169.40739	0	53.042
9	Optimized	17.988635	14.35416	56.501019	193.4765	0	60.205
10	Optimized	19.49812	13.93224	60.843282	201.77891	0	62.091
11	Optimized	20.72634	13.63076	63.964931	211.9997	0	65.122
12	Optimized	22.07372	13.300025	67.388768	223.15927	0	68.425

13	Optimized	23.10788	13.046175	70.016787	231.68495	0	70.947
14	Optimized	23.828335	12.86933	71.925725	237.58257	0	72.654
15	Optimized	25.174085	12.538995	75.689204	248.40985	0	75.672
16	Optimized	26.35725	12.24857	78.998571	257.79452	0	78.277
17	Optimized	27.386975	12.028375	81.561972	258.29156	0	77.677
18	Optimized	29.074605	11.67622	85.670537	268.84779	0	80.499
19	Optimized	29.953125	11.496155	87.782093	266.23962	0	78.85
20	Optimized	30.23492	11.449435	88.348656	295.12628	0	91.659
21	Optimized	31.51496	11.237205	90.928045	327.77723	0	105.25
22	Optimized	32.59342	11.0584	93.102616	317.36874	0	99.569
23	Optimized	33.365035	10.93047	94.659005	305.66167	0	93.604
24	Optimized	35.1618	10.632575	98.279533	311.35907	0	94.641
25	Optimized	37.2208	10.2912	102.42882	317.03678	0	95.511
26	Optimized	38.28569	10.114645	104.20897	319.7381	0	96.045
27	Optimized	39.12494	9.975501	106.39597	321.4399	0	95.933
28	Optimized	40.479245	9.75096	109.90951	323.91269	0	95.652
29	Optimized	41.486285	9.5854345	111.79328	324.90631	0	95.465
30	Optimized	41.98824	9.5037935	112.71638	325.66982	0	95.475
31	Optimized	42.97627	9.343094	115.19731	326.80772	0	95.051
32	Optimized	43.921585	9.189342	117.59648	342.53106	0	101.25
33	Optimized	44.248925	9.1361015	118.42718	357.56448	0	107.73
34	Optimized	44.74376	9.0556185	119.68331	357.90997	0	107.43
35	Optimized	45.118365	8.9946905	120.63134	358.14316	0	107.19
36	Optimized	45.336545	8.971779	121.05957	226.34053	0	54.466
37	Optimized	46.23249	9.6474965	115.27035	549.99452	0	211.16
38	Optimized	47.38379	10.5158	107.8288	394.21012	0	143.76
39	Optimized	47.971205	10.924055	104.37338	415.8067	0	154.53
40	Optimized	48.346525	11.16613	102.34823	417.26188	0	156.23
41	Optimized	49.32266	11.795725	98.04679	421.31594	0	160.28
42	Optimized	50.482405	12.54374	93.006465	426.32111	0	165.13
43	Optimized	50.780495	12.736	91.708663	427.64982	0	166.39
44	Optimized	51.05845	12.91528	90.503559	427.55846	0	166.92
45	Optimized	51.53487	13.222565	88.432456	420.59259	0	164.5
46	Optimized	52.04084	13.548905	86.233151	411.35836	0	161.02
47	Optimized	53.22742	14.31423	81.077225	413.24172	0	164.34
48	Optimized	54.2625	14.98184	76.460368	418.3266	0	168.96
49	Optimized	54.521345	15.14879	75.032435	417.49616	0	169.22
50	Optimized	55.022565	15.47207	72.264551	413.06356	0	168.34
51	Optimized	55.390295	15.70925	70.233248	409.7461	0	167.66
52	Optimized	55.708575	15.95561	68.073644	382.0779	0	156.91
53	Optimized	56.035985	16.21293	65.812624	379.25585	0	156.56
54	Optimized	56.694845	16.730745	61.263762	373.61371	0	155.88
55	Optimized	58.53483	18.176835	48.558898	355.51935	0	152.8
56	Optimized	59.87597	19.23087	39.299226	341.45541	0	150.13
57	Optimized	60.4608	19.6905	35.262984	426.10078	0	190.92
58	Optimized	61.21314	20.28178	30.305837	326.54793	0	147.01
59	Optimized	61.557235	20.552215	28.209649	325.08454	0	141.34
60	Optimized	62.050575	20.939945	25.204883	319.96404	0	140.23
61	Optimized	62.926815	21.820565	17.984816	328.26823	0	149.32
62	Optimized	64.008035	23.146955	6.7252058	290.53848	0	136.86
63	Optimized	65.455605	24.922765	-8.3502001	242.18063	0	117.15
64	Optimized	66.275905	25.92766	-16.878941	214.61812	0	103.81
65	Optimized	67.24064	27.03752	-24.90408	201.93378	0	97.511
66	Optimized	68.29071	28.24555	-33.61069	188.01009	0	90.607
67	Optimized	68.97847	29.03677	-39.314245	178.75269	0	86.032
68	Optimized	70.307555	30.56579	-52.194851	160.65643	0	77.109
69	Optimized	72.424805	33.07132	-75.721457	127.88881	0	61.247
70	Optimized	73.85226	34.786105	-91.829689	106.83031	0	50.97
71	Optimized	73.947895	34.90099	-92.913019	105.38297	0	50.266
72	Optimized	74.449755	35.61098	-99.626509	89.567169	0	43.107
73	Optimized	75.53257	37.16303	-114.31474	70.270661	0	35.172
74	Optimized	77.8701	40.51352	-146.65004	30.449161	0	15.152
75	Optimized	79.58645	42.97364	-170.56447	0.000891863	0	0.00044032

**Slices of Slip Surface: 24**

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	24	0.558198	20.375785	-4.887367	15.703027	0	6.823
2	24	2.741508	18.614135	12.681865	67.937786	0	23.656
3	24	5.838845	16.367475	35.128812	135.49321	0	44.114
4	24	8.359115	14.7856	50.982797	183.695	0	57.91
5	24	10.455205	13.63991	62.496978	218.74791	0	67.887
6	24	12.872695	12.48784	74.12076	253.26176	0	77.593
7	24	15.611585	11.359985	85.548914	285.10154	0	86.337
8	24	18.490515	10.381619	95.5282	309.65438	0	92.767
9	24	20.72634	9.73315	102.18932	323.36274	0	96.079
10	24	22.07372	9.4078	105.55996	328.83813	0	97.22
11	24	23.10788	9.1841755	107.89146	331.89709	0	97.746
12	24	23.828335	9.0429805	109.45122	333.4086	0	97.891
13	24	25.174085	8.8211395	112.1519	334.61043	0	97.566
14	24	27.242225	8.538635	115.72818	333.95708	0	96.299
15	24	29.15047	8.354492	118.27529	330.51247	0	94.274
16	24	30.23492	8.2776265	119.4545	352.44495	0	104.22
17	24	31.51496	8.238278	120.34109	370.78142	0	112.82
18	24	32.59342	8.2097785	121.0333	352.55977	0	104.63
19	24	33.365035	8.2184855	121.25406	335.57296	0	97.069
20	24	35.1618	8.276852	121.384	324.13049	0	92.581
21	24	37.2208	8.419856	120.78164	309.4827	0	87.046
22	24	38.28569	8.5172125	119.87545	301.5769	0	84.288
23	24	39.12494	8.626018	119.63025	294.69034	0	81.575
24	24	40.9812	8.9094285	118.29159	279.01619	0	75.69
25	24	42.97627	9.288639	115.73181	261.42896	0	69.451
26	24	43.921585	9.48987	114.64914	263.86128	0	71.486
27	24	44.248925	9.5686955	114.18466	271.60232	0	75.494
28	24	44.74376	9.6897655	113.46431	266.8446	0	73.778
29	24	45.13208	9.7895015	112.85051	263.0717	0	72.427
30	24	46.23249	10.098533	110.84852	689.98325	0	270.11
31	24	47.702135	10.53873	107.89944	491.35183	0	184.69
32	24	48.346525	10.745885	106.47255	494.1235	0	187.09
33	24	49.32266	11.0952	104.91752	497.60308	0	190.08
34	24	50.482405	11.51876	103.05779	501.48423	0	193.51
35	24	50.780495	11.634865	102.5124	502.35037	0	194.36
36	24	51.05845	11.74639	101.96527	501.54752	0	194.39
37	24	51.53487	11.9414	100.99663	492.318	0	190.69
38	24	52.04084	12.15469	99.906236	480.4383	0	185.77
39	24	53.22742	12.69275	96.979508	478.67052	0	186.92
40	24	54.2625	13.171895	94.210853	480.67692	0	189.73
41	24	54.521345	13.299595	93.167563	478.75719	0	189.42
42	24	55.022565	13.55318	91.082296	471.83294	0	187.3
43	24	55.68172	13.89586	88.252458	463.2154	0	184.77
44	24	56.035985	14.083955	86.691223	458.99164	0	183.62
45	24	56.694845	14.452565	83.605834	450.92534	0	181.46
46	24	58.53483	15.556095	74.263303	425.19477	0	174.1
47	24	59.87597	16.39301	67.129703	405.67107	0	168.43
48	24	60.4608	16.79197	63.688171	396.78983	0	165.92
49	24	61.265695	17.354975	59.093904	384.56569	0	162.37
50	24	62.252235	18.086895	53.51026	407.48105	0	175.58
51	24	63.128475	18.757275	48.35328	354.91492	0	153.51
52	24	64.469115	19.88491	39.461828	348.39491	0	154.53
53	24	65.93518	21.158925	29.337267	308.15486	0	134.58
54	24	67.24064	22.43115	20.270726	301.6627	0	135.63
55	24	68.29071	23.48165	13.108103	263.97933	0	121.54
56	24	68.97847	24.23474	7.7792037	262.02301	0	123.04
57	24	69.71112	25.049555	1.6077796	235.07096	0	113.36
58	24	71.82837	27.850445	-24.815157	190.32261	0	92.875
59	24	74.97535	32.50325	-68.889204	122.32686	0	60.232
60	24	76.58579	35.399595	-96.660416	83.231651	0	41.273
61	24	78.30209	39.622985	-137.8633	32.090626	0	16.98