


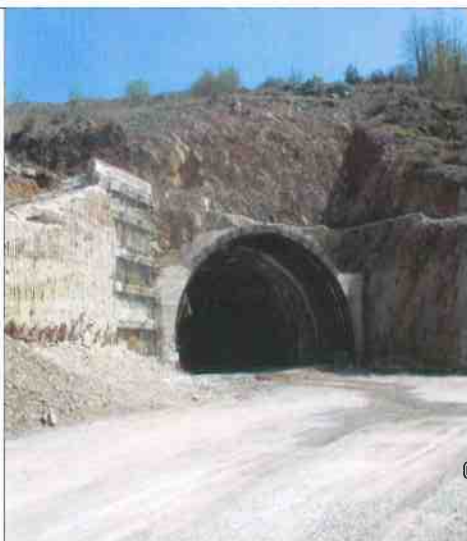
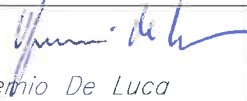
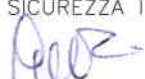




# Anas SpA

Ufficio per l'Autostrada SA-RC

AUTOSTRADA A3 SALERNO – REGGIO CALABRIA  
 LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI ACCESSO ALLA GALLERIA SERRA  
 ROTONDA IN DIR. SUD DA PARTE DEI V.V.FF. MEDIANTE LA MESSA IN SICUREZZA  
 DELLA FINESTRA D'ACCESSO REALIZZATA NELL'AMBITO DEI LAVORI DI  
 AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO AL TIPO 1/A DELLE NORME CNR/80 DAL KM  
 139+000 AL KM 148+000

## PROGETTO DEFINITIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE  Geom. Enzo Risoli  Geom. Pasquale Ferrazzano  		IL RESPONSABILE DELLE VERIFICHE STRUTTURALI  Dott. Ing. Pietro Coppola Ordine Ing. Prov. Modena n° A-2453
IL GEOLOGO  Dott. Geol. Upremio De Luca  	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  Geom. Enzo Risoli  	DATA
IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Dott. Ing. Antonio Citarella  	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Dott. Ing. Francesco Ruocco  	PROTOCOLLO



### D.1 – GALLERIA NATURALE "FINESTRA" (GN01) GALLERIA ARTIFICIALE RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROC.	N. PROC.	P01GA01STRRE01_A.dwg		
ASR311	E	1601	CODICE ELAB. P01GA01STRRE01	A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	30/06/16	COPPOLA	COPPOLA	COPPOLA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## GALLERIA NATURALE SERRA ROTONDA – FINESTRA DI ACCESSO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE

# INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
2.1. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI .....	6
2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO .....	6
<b>3. QUADRO GEOLOGICO E GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE.....</b>	<b>8</b>
<b>5. PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>9</b>
5.1. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	9
5.2. PARAMETRI SISMICI.....	10
<b>6. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....</b>	<b>11</b>
<b>7. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>13</b>
7.1. CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI .....	13
7.1. CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI.....	13
7.1.1. PRESSIONE VERTICALE.....	13
7.1.2. PRESSIONE ORIZZONTALE .....	13
7.2. CARICHI ACCIDENTALI.....	14
7.2.1. PRESSIONE ORIZZONTALE .....	14
7.3. CARICO SISMICO .....	14
7.3.1. INERZIA SISMICA ORIZZONTALE DELLA STRUTTURA .....	14
7.3.2. INERZIA SISMICA VERTICALE DELLA STRUTTURA.....	15
7.3.3. INERZIA SISMICA VERTICALE TERRENO.....	15
7.3.4. INCREMENTO DI PRESSIONE STATICA ORIZZONTALE PER INERZIA VERTICALE DEL TERRENO .....	15
7.3.5. SPINTA SISMICA ORIZZONTALE TERRENO .....	15
<b>8. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>17</b>
<b>9. MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>20</b>

<b><u>10. VERIFICHE STRUTTURALI.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b>10.1. SLU – VERIFICA A PRESSOFLESSIONE .....</b>	<b>23</b>
<b>10.2. SLU – VERIFICA A TAGLIO.....</b>	<b>24</b>
<b>10.3. SLE – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI .....</b>	<b>25</b>
<b>10.4. SLE – STATO LIMITE DI FESSURAZIONE .....</b>	<b>26</b>
<b><u>11. VERIFICHE DI STABILITÀ.....</u></b>	<b><u>28</u></b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli e le verifiche secondo il metodo semi-probabilistico agli stati limite del tratto in artificiale della galleria artificiale da realizzare all'imbocco della finestra di accesso intermedia della galleria naturale Serra Rotonda, dell'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria. Sono inoltre riportate le verifiche di stabilità del ritombamento della sistemazione finale dell'imbocco.

Allo stato attuale, la finestra intermedia di accesso risulta già interamente scavata e sono stati applicati i seguenti interventi previsti nel Progetto Esecutivo:

- per il primo tratto della finestra di accesso a partire dall'innesto (tratto di lunghezza pari a 45 m): rivestimento costituito da centine (HEB 180/0,5 m) e spritz beton dello spessore di 30 cm, con arco rovescio di spessore pari a 60 cm;
- per il restante tratto della finestra di accesso: rivestimento costituito da centine (HEB 180/1,0 m) e spritz beton dello spessore di 30 cm, con arco rovescio di spessore pari a 40 cm.

Nell'immagine seguente è rappresentata la situazione attuale dell'imbocco, nella quale i fronti di scavo risultano sostenuti con i seguenti interventi provvisori:

- lato Nord-Ovest: berlinese tirantata in aderenza alla spalla del viadotto autostradale demolito;
- lato Sud-Est: parete chiodata (maglia chiodi: 2x2 m).



Figura 1.1 – Immagine della situazione attuale dell'imbocco della finestra intermedia della galleria naturale Serra Rotonda

La tratta della finestra di accesso da realizzare in artificiale all'imbocco prevede:

- una porzione inclinata a becco di flauto di lunghezza pari a 15 m circa;
- un tratto in artificiale ritombato di lunghezza pari a circa 24,0 m;

per uno sviluppo complessivo di circa 39 m.

La galleria artificiale è connessa alla galleria naturale per il tramite di dima in c.a. di lunghezza 4,75 m, realizzata in opera che ad oggi risulta già eseguita, unitamente all'arco rovescio di spessore 40 cm, da demolire per la realizzazione del concio d'attacco.

La sistemazione definitiva dell'imbocco prevede il ricoprimento completo delle pareti di scavo con materiale arido selezionato e compattato, sistemato con pendenza massima  $H=3:V=2$ , scarpate di altezza massima 5 m intervallate da berme di larghezza 1,5 m. La superficie del ritombamento sarà inerbita posizionando un adeguato spessore di terreno vegetale.

Dall'analisi del profilo longitudinale della GA, si nota uno spessore variabile del terreno di ritombamento, da un massimo di 9,85 m (in asse galleria) in corrispondenza dell'inizio del tratto in artificiale, fino ad annullarsi in prossimità del becco di flauto. L'analisi delle strutture è stata affrontata considerando terreno di ricoprimento con spessore variabile trasversalmente all'asse della galleria da 11,4 m a 7,4 m.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

2.1.1 D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n°29 del 4 Febbraio 2008).

2.1.2 Circolare 2 Febbraio 2009, n.617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/1/2008" (G.U. n. 47 del 26 Febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n.°27).

### 2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

Le presenti verifiche sono state condotte con riferimento al pacchetto degli elaborati del presente progetto ed agli elaborati del Progetto Esecutivo dei lavori di ammodernamento ed adeguamento del tipo 1/a delle norme CNR/80 dal km 139+000 al km 148+000 (PEA).

### 3. QUADRO GEOLOGICO E GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO

La finestra di accesso intermedia alla galleria naturale Serra Rotonda si sviluppa interamente all'interno delle Formazioni dell'unità carbonatica di Monte Pollino, consistenti in calcari e calcareniti gradate e in calcari dolomitici, con copertura massime di circa 75 m.

Dalle indagini effettuate lungo il tracciato, il livello della falda risulta sempre inferiore alla quota di progetto della galleria.

Per le caratteristiche meccaniche e di deformabilità dell'ammasso roccioso si rimanda alla "Relazione Geologica" del presente progetto.

La caratterizzazione geotecnica della roccia interessata dallo scavo della finestra è riportata nella relazione del PE (cod. P00GN01STRTR01\_A); i valori dei parametri geotecnici sono riassunti nella seguente tabella (rocce calcaree alterate/fratturate e rocce calcaree sane).

<b>Rocce Calcaree alterate– Fascia 0 / -12 m</b>	
Peso specifico $\gamma$	19 KN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico Ed	60 MPa
Coesione c'	0 kPa
Angolo d'attrito $\phi'$	40°

<b>Rocce Calcaree – Al di sotto di -12 m</b>	
Peso specifico $\gamma$	22 KN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico Ed	800 MPa
Coesione c'	100 kPa
Angolo d'attrito $\phi'$	25°



## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

### CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA:

- Calcestruzzo classe C25/30

Per le verifiche allo SLU si utilizzano i seguenti coefficienti parziali e i seguenti valori delle resistenze di progetto:

- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.5 = 14.16 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a trazione:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.795 / 1.5 = 1.197 \text{ MPa}$

Per le verifiche allo SLE si utilizzano i seguenti coefficienti parziali e i seguenti valori delle resistenze di progetto:

- Tensione massima a compressione combinazione rara:  $\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} = 15 \text{ MPa}$
- Tensione massima a compressione combinazione quasi permanente:  $\sigma_c < 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ MPa}$

### ACCIAIO PER ARMATURA ORDINARIA (RIVESTIMENTO DEFINITIVO):

- Acciaio in barre B450C
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{pyk} \geq 450 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica a rottura:  $f_{ptk} \geq 540 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a trazione allo SLU:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
- Tensione massima in esercizio:  $\sigma_s = 0.8 \times f_{yk} = 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$

### COPRIFERRO NETTO MINIMO (RIVESTIMENTO DEFINITIVO):

- $c = 4.0 \text{ cm}$

## 5. PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici di riferimento adottati nelle analisi, di cui al seguito, sono riepilogati nelle tabelle seguenti.

### Terreno di ritombamento

peso di volume:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;

angolo d'attrito:  $\phi = 35^\circ$ ;

coesione:  $c = 0 \text{ kN/m}^2$

attrito terreno-struttura:  $\delta = 0^\circ$ ;

modulo elastico:  $E = 30 \text{ MPa}$ .

### Terreno di sottofondo

peso di volume:  $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ ;

angolo d'attrito:  $\phi = 25^\circ$ ;

coesione:  $c = 100 \text{ kN/m}^2$

attrito terreno-struttura:  $\delta = 0^\circ$ ;

modulo elastico:  $E = 800 \text{ MPa}$ ;

modulo di Poisson:  $\nu = 0,3$ .

### 5.1. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Per simulare l'interazione della struttura con il terreno di fondazione si è adoperato un modello del terreno alla "Winkler", con elementi del tipo molle elastiche ("spring") distribuiti sui nodi della struttura. Si è adottato un unico valore di rigidezza del terreno (litologia: calcari), come di seguito illustrato.

- Tratto curvo – arco rovescio

Il valore della costante di rigidezza è stato valutato secondo la formulazione di Galerkin:

$$K = E / (R \times (1 + \nu)) = 9355 \text{ kN/m}^3$$

In cui:

$E$  = modulo elastico dei calcari a 800 MPa;

$R$  = raggio della galleria pari a 65,78 m;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno pari a 0,3.

- Tratto piano – bese piedritto

Il valore della costante di rigidezza è stato valutato secondo la formulazione di Boussinesq, (b larghezza piedritto):

$$K = E / ((1 - \nu)^2 \times B \times I_w) = 459671 \text{ kN/m}^3$$

In cui:

$E$  = modulo elastico dei calcari pari a 800 MPa;

$B$  = base del piedritto;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno pari a 0,3

$I_w$  = coefficiente di forma pari a 2,12.

Per quanto riguarda le molle elastiche lungo lo sviluppo della calotta, con riferimento si parametri geotecnici del ASR311-E-1601-P00-GA01-STR-RE-01-A

ritombamento, il valore della costante di rigidità è stato valutato secondo la formulazione di Galerkin:

$$K = E / (R \times (1 + \nu)) = 3320 \text{ kN/m}^3$$

In cui:

E= modulo elastico dei calcari a 30 MPa;

R= raggio della galleria pari a 6,95 m;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno pari a 0,3.

## 5.2. PARAMETRI SISMICI

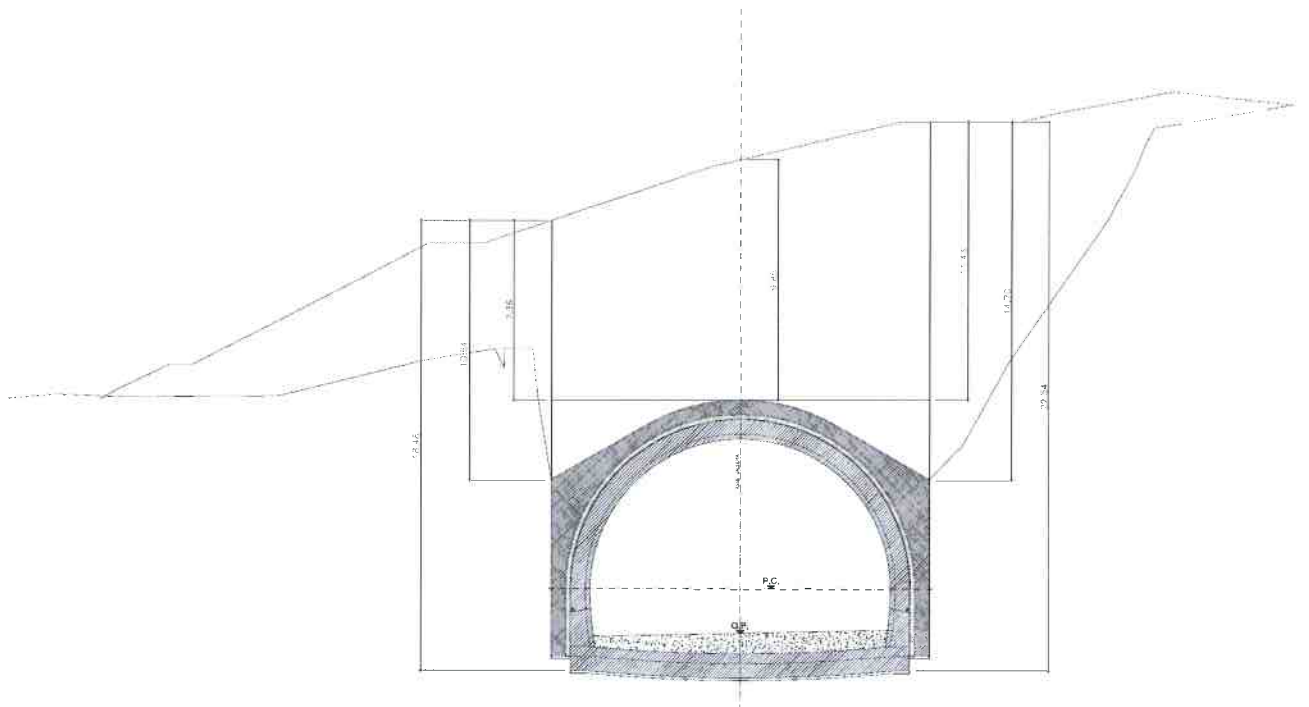
Per la determinazione dei coefficienti sismici orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$ , sono stati adottati i seguenti parametri (con riferimento al § 7.1.1.6.3 del D.M. 14/01/2008).

- Comune di Lauria (PZ);
- Vita nominale della struttura (par. 2.4.1 NTC):  $V_N = 100$  anni;
- Classe d'uso (par. 2.4.2): IV;
- Coefficiente d'uso (par. 2.4.3):  $C_U = 2,0$ ;
- Coefficiente d'amplificazione topografica (tab. 3.2.VI):  $S_T = 1,20$ ;
- Coefficiente d'amplificazione stratigrafico (tab. 3.2.V):  $S_S = 1,00$  (Categoria di sottosuolo A).

Nella tabella si riportano i parametri relativi alla azione sismica:

Analisi	$a_g/g$	$S_S$	$S_T$	$a_{max}$	$a_h$	$a_v$
GA - SLU Sisma	0,424	1,00	1,20	0,509	0,509	0,254





**Figura 6.2 – Sezione trasversale della galleria artificiale in corrispondenza della dima di attacco**

## 7. ANALISI DEI CARICHI

### 7.1. CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

Il carico permanente strutturale della galleria è rappresentato dal peso proprio della parte strutturale. Il peso proprio della parte strutturale è calcolato automaticamente dal programma di calcolo. Il programma assegna ad ogni asta, in funzione della sezione trasversale, un carico uniformemente distribuito pari al prodotto della sezione dell'asta per il peso specifico del calcestruzzo, assunto pari a 25,00 kN/m<sup>3</sup>.

L'area di galleria è pari a:

$$A = 34,53 \text{ m}^2;$$

pertanto, il relativo peso è pari a:

$$P = 34,53 \times 25,00 = 863,25 \text{ kN}.$$

### 7.1. CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

#### 7.1.1. Pressione verticale

Il carico permanente portato (non strutturale) che interessa la struttura è rappresentato dal peso del terreno di ritombamento.

La pressione verticale esercitata dal terreno che ricopre la galleria è variabile in funzione del peso del terreno di ricoprimento che risulta inclinato rispetto all'asse delle galleria con pendenza del 30%. Il valore risulta massimo in corrispondenza della muretta destra.

#### 7.1.2. Pressione orizzontale

Nel modello di calcolo le spinte derivanti dall'azione del terreno sulla galleria sono valutate con riferimento sia alla condizione di spinta a riposo che di spinta attiva. Nelle combinazioni statiche la spinta del terreno è applicata su entrambi i lati della galleria, dal piano campagna fino al piano di imposta della fondazione; nelle combinazioni dinamiche, invece, la sovra-spinta dovuta all'azione sismica (valutata con il metodo di Mononobe-Okabe) viene applicata solo sul lato destro, dal piano campagna fino al piano di imposta della fondazione, al fine di massimizzare le sollecitazioni sulla struttura. La spinta passiva in entrambi i casi non viene considerata, in quanto il suo effetto viene esplicitato nel modello dalle molle a compressione che simulano la reazione del terreno alle azioni esterne in gioco.

Con riferimento ai parametri geotecnici definiti in precedenza, i coefficienti di spinta valgono:

$$\text{- Spinta attiva: } k_a = \text{tg}^2 [45 - (\varphi/2)] = \text{tg}^2 [45^\circ - (35^\circ/2)] = 0,271;$$

$$\text{- Spinta a riposo: } k_0 = 1 - \text{sen } \varphi = 1 - \text{sen } 35^\circ = 0,426.$$

Componente orizzontale (spinta attiva)

$$h_{\min} = 17,06 \text{ m: } \text{tha-sx} = \text{tha-dx} = k_a \gamma h = 0,271 \times 20,00 \times 17,05 = 92,41 \text{ kN/m}$$

$$h_{\max} = 21,13 \text{ m: } \text{tha-sx} = \text{tha-dx} = k_a \gamma h = 0,271 \times 20,00 \times 21,13 = 114,52 \text{ kN/m}$$

Componente orizzontale (spinta a riposo)

$$h_{\min} = 17,06 \text{ m: } th_0\text{-sx} = th_0\text{-dx} = k_0\gamma h = 0,426 \times 20,00 \times 17,06 = 145,4 \text{ kN/m}$$

$$h_{\max} = 21,13 \text{ m: } th_0\text{-sx} = th_0\text{-dx} = k_0\gamma h = 0,426 \times 20,00 \times 21,13 = 180,0 \text{ kN/m}$$

## 7.2. CARICHI ACCIDENTALI

Il calcolo di tutte le sezioni analizzate, prende in considerazione la presenza di un carico accidentale uniformemente distribuito sulla superficie al di sopra della galleria, pari a  $10,00 \text{ kN/m}^2$  ( $q_v\text{-sx}$ ,  $q_v\text{-dx}$ ).

### 7.2.1. Pressione orizzontale

La pressione orizzontale sulla galleria prodotta dal sovraccarico accidentale verticale è definita sia in condizioni di spinta attiva che in condizioni di spinta a riposo.

Componente orizzontale uniforme (spinta attiva)

$$q_{ha}\text{-sx} = q_{ha}\text{-dx} = k_a q_v = 0,271 \times 10,00 = 2,71 \text{ kN/m}$$

Componente orizzontale uniforme (spinta a riposo)

$$q_{h0}\text{-sx} = q_{h0}\text{-dx} = k_0 q_v = 0,426 \times 10,00 = 4,26 \text{ kN/m}$$

## 7.3. CARICO SISMICO

L'analisi della sicurezza della galleria in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico. Nell'analisi pseudostatica, l'azione sismica è rappresentata da un sistema di forze statiche equivalenti, pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le forze sismiche prese in considerazione sono:

- forza d'inerzia orizzontale indotta dal peso proprio della struttura;
- forza d'inerzia verticale indotta dal peso proprio della struttura (diretta verso il basso e verso l'alto);
- forza d'inerzia verticale indotta dal peso del terreno sovrastante la calotta, diretta verso il basso e verso l'alto;
- incremento di pressione statica orizzontale del terreno dovuta alla forza inerziale verticale del terreno stesso rivolta verso il basso e verso l'alto;
- spinta sismica orizzontale del terreno.

### 7.3.1. Inerzia sismica orizzontale della struttura

La struttura è soggetta a forze inerziali indotte dal sisma, date dal prodotto del peso per il coefficiente sismico orizzontale,  $k_h$ .

La forza inerziale orizzontale viene applicata come forza statica equivalente.

Il peso della galleria (sulla larghezza di un metro) vale:

$$P = 34,53 \times 25,00 = 863,25 \text{ kN};$$

La forza inerziale risultante (applicata nel baricentro della galleria) vale:

$$in\text{-h} = k_h P = 0,509 \times 863,25 = 439,39 \text{ kN};$$

### 7.3.2. Inerzia sismica verticale della struttura

La struttura è soggetta a forze inerziali indotte dal sisma, date dal prodotto del peso per il coefficiente sismico verticale,  $k_v$ .

La forza inerziale verticale viene applicata come forza statica equivalente.

Il peso della galleria (sulla larghezza di un metro) vale:

$$P = 34,53 \times 25,00 = 863,25 \text{ kN};$$

La forza inerziale risultante (applicata nel baricentro della galleria) vale:

$$in-v = k_v P = 0,254 \times 863,25 = \pm 219,3 \text{ kN};$$

### 7.3.3. Inerzia sismica verticale terreno

Il terreno, essendo dotato di massa, risente di una forza inerziale verticale, diretta sia verso l'alto che verso il basso, data dal prodotto della propria massa per il coefficiente sismico verticale,  $k_v$ .

La pressione del terreno sulla struttura indotta dalla forza inerziale verticale è funzione del peso del terreno di ricoprimento, che va dal piano campagna all'estradosso di calotta. La componente verticale carico è descritta con andamento variabile dal valore massimo in corrispondenza delle murette al valore minimo in chiave.

$$h_{min} = 17,06 \text{ m: } sis-tv = k_v \gamma h_{min} = 0,254 \times 20,00 \times 17,06 = \pm 86,7 \text{ kN/m.}$$

$$h_{max} = 21,13 \text{ m: } sis-tv = k_v \gamma h_{max} = 0,254 \times 20,00 \times 21,13 = \pm 107,3 \text{ kN/m.}$$

### 7.3.4. Incremento di pressione statica orizzontale per inerzia verticale del terreno

La forza inerziale verticale del terreno diretta verso il basso, induce un incremento di pressione orizzontale statica delle terre verso la galleria; tale effetto viene valutato applicando il coefficiente di spinta orizzontale,  $k_a$ , alla forza inerziale verticale del terreno precedentemente calcolata.

Componente orizzontale (spinta attiva)

$$h_{min} = 17,06 \text{ m: } sis-tha-sx = sis-tha-dx = k_v k_a \gamma h = 0,254 \times 0,271 \times 20,00 \times 17,06 = \pm 23,5 \text{ kN/m}$$

$$h_{max} = 21,13 \text{ m: } sis-tha-sx = sis-tha-dx = k_v k_a \gamma h = 0,254 \times 0,271 \times 20,00 \times 21,13 = \pm 29,1 \text{ kN/m}$$

### 7.3.5. Spinta sismica orizzontale terreno

La forza dinamica dovuta all'incremento di spinta del terreno viene stimata con riferimento al metodo di Mononobe-Okabe, che permette di calcolare i relativi coefficienti di spinta:

$$k_{a,sism} = 0,763 \text{ (con } 1+k_v)$$

$$k_{a,sism} = 1,116 \text{ (con } 1-k_v)$$

Con i coefficienti sopra definiti si calcolano le sovra-pressioni del terreno sulla struttura; tali sovra-pressioni sono applicate con valore costante sull'altezza della galleria.

- incremento sismico orizzontale (sisma diretto verso il basso):

$$\delta\text{-tha-sx-down} = ((1+k_v) k_{a,sism} - k_a) \gamma (h_{max}+h_{min}) / 2 = 0,492 \times 20,00 \times 29,1 / 2 = 143,3 \text{ kN/m};$$

$$\delta\text{-tha-dx-down} = ((1+k_v) k_{a,sism} - k_a) \gamma (h_{max}+h_{min}) / 2 = 0,492 \times 20,00 \times 37,2 / 2 = 183,0 \text{ kN/m};$$

- incremento sismico orizzontale (sisma diretto verso l'alto):



$$\text{delta-tha-sx-up} = ((1-k_v) k_{a,\text{sism}} - k_a) \gamma (h_{\text{max}}+h_{\text{min}}) / 2 = 0,845 \times 20,00 \times 29,1 / 2 = 245,9 \text{ kN/m.}$$

$$\text{delta-tha-dx-up} = ((1-k_v) k_{a,\text{sism}} - k_a) \gamma (h_{\text{max}}+h_{\text{min}}) / 2 = 0,845 \times 20,00 \times 37,2 / 2 = 314,3 \text{ kN/m.}$$

## 8. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche agli stati limite (ultimi e di esercizio) sono state considerate le combinazioni di carico indicate nel D.M. 2008:

Combinazione fondamentale (SLU):

$$F_d = \gamma_G \gamma_{EG} G_k + \gamma_{Q1} \gamma_{EQ1} Q_{1k} + \sum_i (\psi_{0i} \gamma_{Qi} \gamma_{EQi} Q_{ik})$$

Combinazione rara (SLE):

$$F_d = G_k + Q_{1k} + \sum_i (\psi_{0i} Q_{ik})$$

Combinazione frequente (SLE):

$$F_d = G_k + \psi_{1i} Q_{1k} + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ik})$$

Combinazione quasi permanente (SLE):

$$F_d = G_k + \psi_{2i} Q_{1k} + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ik})$$

Combinazione sismica (SLE):

$$F_d = \gamma_{IE} + G_k + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ik})$$

dove:

$G_k$  = valore caratteristico delle azioni permanenti;

$Q_{1k}$  = valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

$Q_{ik}$  = valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;

La normativa ai fini delle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi e geotecnici prevede due diversi approcci, a ciascuno dei quali corrispondono due set di coefficienti da applicare rispettivamente alle azioni (A1, A2) ed ai parametri del terreno (M1 ed M2)

CARICHI	Coeff. parziale	(A1) STR	(A2) GEO
Permanente favorevole	$\gamma_G$	1,0	1,0
Permanente sfavorevole		1,3	1,0
Variabile favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0
Variabile sfavorevole		1,5	1,3

Tabella 8.1 - Coefficienti parziali relativi alle azioni

PARAMETRO	Parametro al quale applicare il coeff. parziale	Coeff. parziale $\gamma_M$	
		(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'} = 1,00$	$\gamma_{\phi'} = 1,25$
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'} = 1,00$	$\gamma_{c'} = 1,25$
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{Cu} = 1,00$	$\gamma_{Cu} = 1,40$
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma} = 1,00$	$\gamma_{\gamma} = 1,00$

Tabella 8.2: - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

Carico	Combo Statiche SLU A1-M1											
	SLU-1	SLU-2	SLU-3	SLU-4	SLU-5	SLU-6	SLU-7	SLU-8	SLU-9	SLU-10	SLU-11	SLU-12
DEAD	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
tv	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
th0-sx	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.30	1.30	1.30	0.00	0.00	1.30	1.30
th0-dx	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.00	1.30	1.00	0.00	0.00	1.30	1.00
tha-sx	1.30	1.30	1.30	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.30	0.00	0.00
tha-dx	1.30	1.00	1.30	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.00	0.00	0.00
qv-sx	1.50	1.50	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qv-dx	1.50	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qh0-sx	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qh0-dx	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-sx	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-dx	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 8.3 - Comb. SLU – A1+M1

Carico	Combo Statiche SLE-RARA							
	SLE-R-1	SLE-R-2	SLE-R-3	SLE-R-4	SLE-R-5	SLE-R-6	SLE-R-7	SLE-R-8
DEAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
tv	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
th0-sx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
th0-dx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
tha-sx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
tha-dx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
qv-sx	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
qv-dx	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qh0-sx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
qh0-dx	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-sx	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-dx	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Carico	Combo Statiche SLE-FREQUENTE					
	SLE-F-1	SLE-F-2	SLE-F-3	SLE-F-4	SLE-F-5	SLE-F-6
DEAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
tv	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
th0-sx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
th0-dx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
tha-sx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
tha-dx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
qv-sx	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00
qv-dx	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
qh0-sx	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
qh0-dx	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
qha-sx	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-dx	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Carico	Combo Statiche SLE-QUASI PERMANENTE					
	SLE-QP-1	SLE-QP-2	SLE-QP-3	SLE-QP-4	SLE-QP-5	SLE-QP-6
DEAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
tv	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
th0-sx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
th0-dx	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
tha-sx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
tha-dx	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
qv-sx	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00
qv-dx	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
qh0-sx	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00
qh0-dx	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
qha-sx	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-dx	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(\*) N.B. SLE-R-3=SLE-F-3=SLE-QP-3 e SLE-R-6=SLE-F-6=SLE-QP-6

Tabella 8.4 - comb. SLE-R, SLE-F, SLE-QP

Carico	Combo SISMICHE			
	E-1	E-2	E-3	E-4
DEAD	1.00	1.00	1.00	1.00
tv	1.00	1.00	1.00	1.00
th0-sx	0.00	0.00	0.00	0.00
th0-dx	0.00	0.00	0.00	0.00
tha-sx	1.00	1.00	1.00	1.00
tha-dx	1.00	1.00	1.00	1.00
qv-sx	0.00	0.00	0.00	0.00
qv-dx	0.00	0.00	0.00	0.00
qh0-sx	0.00	0.00	0.00	0.00
qh0-dx	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-sx	0.00	0.00	0.00	0.00
qha-dx	0.00	0.00	0.00	0.00
sis-tv	1.00	-1.00	1.00	-1.00
sis-th0-sx	0.00	0.00	0.00	0.00
sis-th0-dx	0.00	0.00	0.00	0.00
sis-tha-sx	1.00	-1.00	1.00	-1.00
sis-tha-dx	1.00	-1.00	1.00	-1.00
delta-tha-sx-down	1.00	0.00	0.00	0.00
delta-tha-sx-up	0.00	1.00	0.00	0.00
delta-tha-dx-down	0.00	0.00	1.00	0.00
delta-tha-dx-up	0.00	0.00	0.00	1.00
in-v	1.00	-1.00	1.00	-1.00
in-h	1.00	1.00	-1.00	-1.00

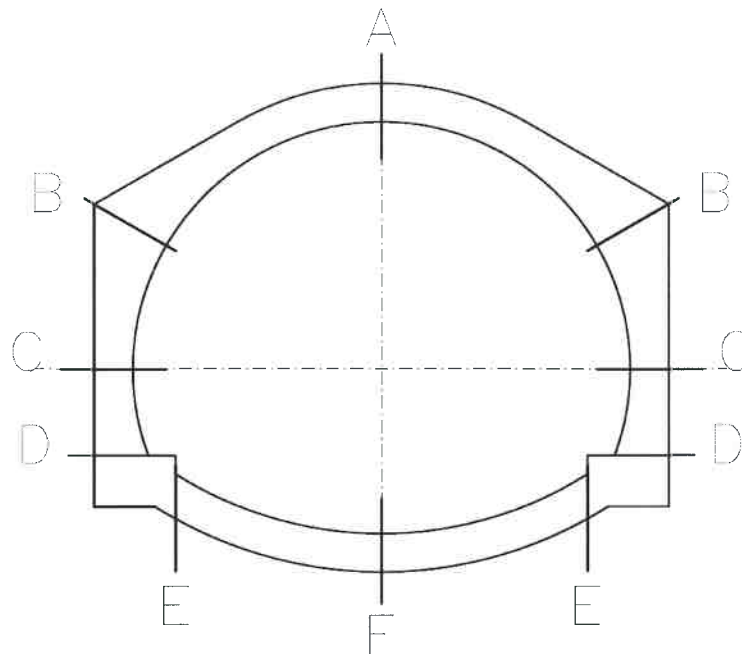
(\*) E-1, E-3 = sisma verticale verso il basso

(\*\*) E-2, E-4 = sisma verticale verso l'alto

**Tabella 8.5 - comb. EQK**



Si riportano nel seguito le verifiche strutturali per le sezioni significative evidenziate nella figura.



Sez. A: sezione in chiave di calotta;

Sez. B: sezione di innesto dell'arco alla parete;

Sez. C: sezione sul piano dei centri;

Sez. D: sezione di innesto della muretta di fondazione;

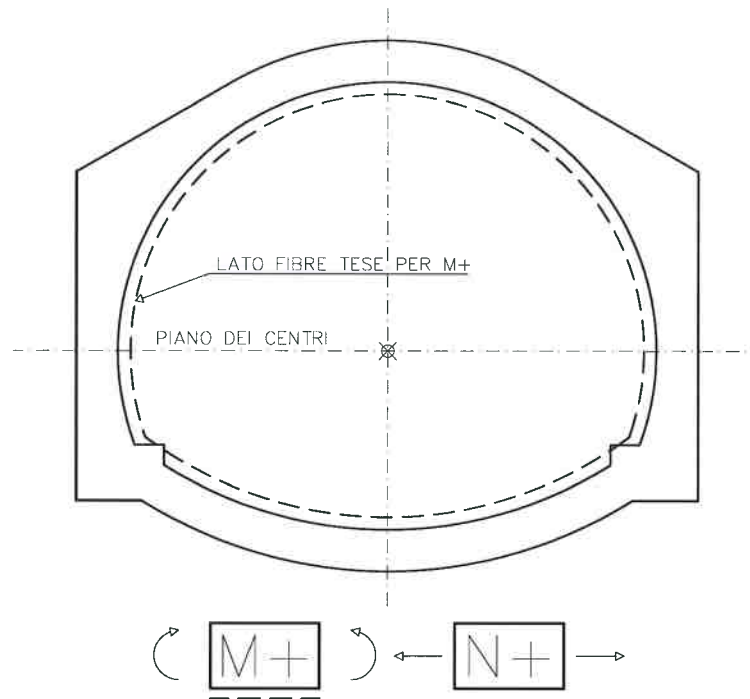
Sez. E: sezione di innesto della fondazione alla muretta;

Sez. F: sezione di mezzeria della fondazione.

Sezione	N° nodo
A	27
B	18-36
C	13-41
D	11-43
E	9-45
F	1

Elementi	Parte d'opera	Spessore c.a. [m]
13÷40	Calotta	0,8
10÷12 - 41÷43	Muretta	0,8
9-44	Base piedritto	0,8
1÷8 - 45÷54	Arco rovescio	1,0

Le convenzioni utilizzate per i segni delle caratteristiche di sollecitazione sono riassunte nello schema seguente:



## 10. VERIFICHE STRUTTURALI

### 10.1. SLU – VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Si riportano nel seguito le verifiche allo SLU per presso-flessione, per le sezioni in esame.

Frame	Sezione	Nodo	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Combo	$b_w$ [mm]	d [mm]	As A's	$M_{Rd}$ [kNm]
1	F	1	87.4	717.9	SLU-2	1000	947	f26/20 f26/20	908.8
8	E	9	96.6	694.3	SLU-2	1000	947	f26/20 f26/20	904.7
45	E	45	96.6	688.6	SLU-2	1000	947	f26/20 f26/20	904.6
11	D	11	-3055.0	-749.1	E-4	1000	747	f26/20 f26/20	-1603.0
42	D	43	-2186.7	-766.4	E-4	1000	747	f26/20 f26/20	-1421.4
12	C	13	-461.3	317.8	SLU-11	1000	747	f26/20 f26/20	899.2
41	C	41	-349.5	381.2	SLU-11	1000	747	f26/20 f26/20	860.9
18	B	18	-1841.6	-924.5	SLU-2	1000	747	f26/20 f26/20	-1334.0
35	B	36	-415.7	585.1	SLU-11	1000	747	f26/20 f26/20	883.6
26	A	27	-1000.6	1039.5	SLU-2	1000	747	f30/20 f26/20	1311.9

Dove:

- Sezione = sezione di verifica;
- $M_{Ed}$  = momento flettente agente nella sezione e nella combinazione di carico indicata;
- $N_{Ed}$  = azione assiale associata a  $M_{Ed}$  nella sezione e nella combinazione di carico indicata;
- Combo = combinazione di carico considerata;
- $A_s$  = armatura lato interno;
- $A's$  = armatura lato terra;
- $M_{Rd}$  = momento flettente resistente della sezione.

Il copriferro di calcolo è pari a 5,3 cm / 5,5 cm.



## 10.2. SLU – VERIFICA A TAGLIO

Con riferimento al § 4.1.2.1.3.1 del D.M. 14/01/2008, si controlla dapprima il taglio resistente di sezioni in calcestruzzo non armato.

Frame	Sezione	Nodo	N <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> [kN]	Combo	b <sub>w</sub> [mm]	d [mm]	V <sub>Rd</sub> [kN]
1	F	1	-1185.2	-106.0	E-4	1000	947	-485.3
8	E	9	-1264.3	366.2	E-4	1000	947	496.6
45	E	45	-1073.2	-260.9	E-2	1000	947	-469.4
11	D	11	-1243.3	-741.4	E-2	1000	747	<b>-455.5</b>
42	D	43	-2186.7	880.4	E-4	1000	747	<b>587.6</b>
12	C	13	-1225.5	-412.7	E-2	1000	747	-453.0
41	C	41	-2168.9	451.6	E-4	1000	747	585.1
18	B	18	-1841.6	-310.6	SLU-2	1000	747	-539.3
35	B	36	-2016.0	376.5	SLU-1	1000	747	563.7
26	A	27	-2226.7	132.5	E-4	1000	745	592.0

Essendo:

- $d$  = Altezza utile media pesata [mm] valutata lungo strisce ortogonali all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce;
- $b_w$  = Larghezza media resistente a taglio [mm] misurata parallelamente all'asse neutro. È data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e l'altezza utile media pesata “ $d$ ”.

In presenza di specifica armatura trasversale (§ 4.1.2.1.3.2 del D.M. 14/01/2008), la resistenza a taglio di progetto  $V_{Rd}$  è pari al minimo valore tra la resistenza a “taglio trazione”  $V_{Rsd}$  dell’armatura e la resistenza a “taglio compressione”  $V_{Rcd}$  del calcestruzzo d’anima, valutate secondo le formulazioni seguenti:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)}{(1 + \text{ctg}^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

Adottando:

- $\text{ctg}\theta = 2.5$  ( $1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$ )
- $\text{ctg}\alpha = 0$  e  $\sin\alpha = 1$
- $\alpha_c = 1$
- $f_{yd} = 450/1,15 = 391,30$  MPa

Si ottiene:

Frame	Sezione	Nodo	$V_{Ed}$ [kN]	Combo	$A_{sw}/s$ [mm <sup>2</sup> /m]	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$V_{Rd}$ [kN]
11	D	11	-741.4	E-2	2261.9	1000	747	-1487.6
42	D	43	880.4	E-4	2261.9	1000	747	1487.6

### 10.3. SLE – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

La verifica nei confronti della limitazione delle tensioni in esercizio secondo D.M. 14/01/2008 prevede che siano rispettati i seguenti limiti tensionali per il calcestruzzo:

- combinazione di carico rara:  $\sigma_{c,r,lim} = 15,00$  MPa
- combinazione di carico quasi permanente:  $\sigma_{c,qp,lim} = 11,25$  MPa

per quanto riguarda l'acciaio vale il seguente limite:

- combinazione di carico in esercizio:  $\sigma_{s,r,lim} = 360$  MPa

*Combinazione di carico rara*

Si riportano nel seguito le verifiche nella combinazione di carico rara.

Frame	Sezione	Nodo	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	Combo	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$A_s$ $A_s$	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
1	F	1	-3.7	528.5	SLE-R-1	1000	947	f26/20 f26/20	-4.4	225.6
8	E	9	-263.4	293.2	SLE-R-4	1000	947	f26/20 f26/20	-2.6	82.0
45	E	45	-623.3	-420.1	SLE-R-8	1000	947	f26/20 f26/20	-3.7	82.1
11	D	11	-378.6	-239.0	SLE-R-8	1000	747	f26/20 f26/20	-3.1	70.1
42	D	43	-292.5	-203.0	SLE-R-8	1000	747	f26/20 f26/20	-2.6	63.7
12	C	13	-354.9	244.4	SLE-R-8	1000	747	f26/20 f26/20	-3.2	76.3
41	C	41	-268.8	293.2	SLE-R-8	1000	747	f26/20 f26/20	-3.8	115.6
18	B	18	-1473.3	-685.1	SLE-R-1	1000	747	f26/20 f26/20	-8.9	149.3
35	B	36	-319.7	450.1	SLE-R-8	1000	747	f26/20 f26/20	-5.7	192.5
26	A	27	-841.6	742.7	SLE-R-1	1000	747	f30/20 f26/20	-8.8	206.8

*Combinazione di carico quasi permanente*

Si riportano nel seguito le verifiche nella combinazione di carico quasi permanente.

Frame	Sezione	Nodo	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Combo	b <sub>w</sub> [mm]	d [mm]	As A's	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]
1	F	-	-9.1	504.3	SLE-QP-1	1000	947	f26/20 f26/20	-4.2	214.3
8	E	98	-1.8	498.9	SLE-QP-1	1000	947	f26/20 f26/20	-4.1	213.3
45	E	72	-2.2	421.7	SLE-QP-2	1000	947	f26/20 f26/20	-3.5	180.2
11	D	3	-1684.5	-111.0	SLE-QP-5	1000	747	f26/20 f26/20	-2.8	-17.7
42	D	67	-1798.0	-237.2	SLE-QP-6	1000	747	f26/20 f26/20	-3.9	-7.0
12	C	7	-1633.0	-154.4	SLE-QP-2	1000	747	f26/20 f26/20	-3.0	-12.5
41	C	63	-1788.2	-275.8	SLE-QP-1	1000	747	f26/20 f26/20	-4.1	-3.0
18	B	21	-1424.5	-657.5	SLE-QP-1	1000	747	f26/20 f26/20	-8.5	142.0
35	B	49	-1484.3	-575.9	SLE-QP-2	1000	747	f26/20 f26/20	-7.5	97.5
26	A	35	-815.6	710.6	SLE-QP-1	1000	747	f30/20 f26/20	-8.4	196.8

#### 10.4. SLE – STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

La verifica nei confronti dello stato limite di fessurazione viene effettuata con riferimento a quanto prescritto al § 4.1.2.2.4.1 del D.M. 14/01/2008.

La scelta dello stato limite da considerare è basata sulle condizioni di aggressività dell'ambiente entro cui è immersa la struttura oggetto di analisi. La galleria può ritenersi condizioni ambientali "ordinarie" (XC2); per tale motivo, con riferimento all'armatura poco sensibile, la verifica a fessurazione deve rispettare le seguenti limitazioni:

Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Stato limite	w <sub>d</sub>
Ordinarie	frequente	Ap. fessure	≤ w <sub>3</sub>
	quasi permanente	Ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>

con:

w<sub>3</sub> = 0,4 mm;

w<sub>2</sub> = 0,3 mm.

Si riportano nel seguito le verifiche per le sezioni analizzate.

*Combinazione di carico frequente*

Si riportano nel seguito le verifiche nella combinazione di carico frequente.

Frame	Sezione	Nodo	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Combo	b <sub>w</sub> [mm]	d [mm]	As A's	M <sub>l</sub> [kNm]	w <sub>d</sub> [mm]
1	F	-	-7.1	513.3	SLE-F-1	1000	947	f26/20 f26/20	424.4	0.222
8	E	98	-263.0	285.2	SLE-F-4	1000	947	f26/20 f26/20	470.8	-
45	E	72	-1.0	427.6	SLE-F-1	1000	947	f26/20 f26/20	423.5	0.151
11	D	3	-1695.8	-113.3	SLE-F-5	1000	747	f26/20 f26/20	-528.6	-
42	D	67	-1831.4	-240.3	SLE-F-4	1000	747	f26/20 f26/20	-543.2	-
12	C	7	-1646.3	-160.7	SLE-F-2	1000	747	f26/20 f26/20	-521.5	-
41	C	63	-1808.2	-280.0	SLE-F-1	1000	747	f26/20 f26/20	-540.3	-
18	B	21	-1442.8	-667.9	SLE-F-1	1000	747	f26/20 f26/20	-487.6	0.134
35	B	49	-1490.2	-585.0	SLE-F-2	1000	747	f26/20 f26/20	-499.3	0.000
26	A	35	-825.3	722.7	SLE-F-1	1000	747	f30/20 f26/20	411.3	0.249

*Combinazione di carico quasi permanente*

Si riportano nel seguito le verifiche nella combinazione di carico quasi permanente.

Frame	Sezione	Nodo	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	Combo	b <sub>w</sub> [mm]	d [mm]	As A's	M <sub>l</sub> [kNm]	w <sub>d</sub> [mm]
1	F	-	-9.1	504.3	SLE-QP-1	1000	947	f26/20 f26/20	424.8	0.210
8	E	98	-1.8	498.9	SLE-QP-1	1000	947	f26/20 f26/20	423.5	0.205
45	E	72	-2.2	421.7	SLE-QP-2	1000	947	f26/20 f26/20	423.5	-
11	D	3	-1684.5	-111.0	SLE-QP-5	1000	747	f26/20 f26/20	-528.7	-
42	D	67	-1798.0	-237.2	SLE-QP-6	1000	747	f26/20 f26/20	-545.5	-
12	C	7	-1633.0	-154.4	SLE-QP-2	1000	747	f26/20 f26/20	-521.0	-
41	C	63	-1788.2	-275.8	SLE-QP-1	1000	747	f26/20 f26/20	-544.1	-
18	B	21	-1424.5	-657.5	SLE-QP-1	1000	747	f26/20 f26/20	-490.0	0.181
35	B	49	-1484.3	-575.9	SLE-QP-2	1000	747	f26/20 f26/20	-498.9	0.097
26	A	35	-815.6	710.6	SLE-QP-1	1000	747	f30/20 f26/20	410.5	0.293

## 11. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL RITOMBAMENTO

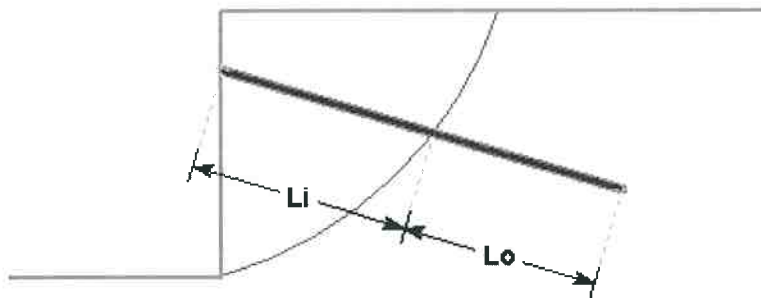
Si riportano nel seguito le verifiche di stabilità del ritombamento dell'imbocco della finestra. Per le analisi di stabilità sono stati presi in considerazione i seguenti Stati Limite di progetto:

- Stato Limite di Esercizio - Combinazione caratteristica: le analisi sono condotte considerando i valori caratteristici delle azioni esterne  $A_k$  e dei parametri geotecnici  $M_k$ .
- Stato Limite Ultimo - Combinazione A2+M2 (SLU-2): le analisi sono svolte considerando i valori di progetto delle azioni esterne A2 (ottenuti amplificando con opportuni coefficienti parziali i valori caratteristici,  $A2=\gamma_2 \cdot A_k$ ), i parametri geotecnici sono ridotti dividendo i parametri caratteristici  $M_k$  per opportuni coefficienti ( $M2=M_k / \gamma_2$ ).
- Stato Limite Ultimo con sisma – Combinazione  $A_k + SLE$  (SLU-S): secondo le indicazioni della normativa, le analisi sono svolte considerando coefficienti parziali unitari per le azioni esterne ( $A_k$ ) e considerando i parametri geotecnici caratteristici  $M_k$ . Il sisma è valutato per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Con riferimento al DM 14/09/2005, sono state eseguite le verifiche di stabilità nella configurazione finale dell'imbocco, considerando l'impiego di materiale granulare per rilevato, adeguatamente compattato.

Nella seguente tabella sono riassunti i coefficienti parziali utilizzati nelle analisi di calcolo illustrate nei seguenti capitoli, con riferimento ai diversi stati limite analizzati per le analisi di stabilità svolte con il programma SLIDE v.6.011 della Rocscience Inc. Il programma consente, nello spirito del Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite, la gestione dei coefficienti parziali  $\gamma$  (sulle azioni, sui sovraccarichi esterni, sui parametri di resistenza del terreno e su quelli degli elementi strutturali resistenti, ecc.).

L'azione stabilizzante degli elementi di rinforzo è tenuta in conto considerando le forze generate all'intersezione fra la superficie di rottura ed il singolo elemento.



**Figura 11.1 - Intersezione fra elemento di rinforzo e superficie di rottura**

Le forze generate dagli elementi di rinforzo entrano a far parte del calcolo di stabilità come forze resistenti, e il loro valore dipende dalle caratteristiche di resistenza dell'elemento fornite dall'utente a seconda della tipologia dell'elemento stesso (resistenza a trazione, resistenza a taglio e a flessione, ecc.). La reazione dell'elemento di rinforzo viene assunta pari ad un valore a rottura scelto in base ad un "multi-criterio di rottura" (snervamento a trazione o a taglio dell'elemento, scorrimento lungo l'interfaccia terreno-ancoraggio, ecc.).

CARICHI	coeff. parziale	(A1) STR	(A2) GEO
Permanente sfavorevole	$\gamma_G$	1,3	1,0
Permanente favorevole		1,0	1,0
Variabile sfavorevole	$\gamma_Q$	1,5	1,3
Variabile favorevole		0	0

PARAMETRO	Parametro al quale applicare il coeff. parziale	coeff. parziale	
		$\gamma_m$	
		M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}=1,00$	$\gamma_{\phi'}=1,25$
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}=1,00$	$\gamma_{c'}=1,25$
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}=1,00$	$\gamma_{c_u}=1,40$
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r=1,00$	$\gamma_r=1,00$

Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di fronti di scavo	R2
$\gamma_R$	$\gamma_{\phi'}=1,1$

Sono state condotte tre analisi di calcolo separate, una prima analisi (tipo SLU\_A1+M1) con i valori caratteristici dei parametri geotecnici  $M_k$ , e una seconda analisi (SLU\_A2+M2) con i parametri geotecnici ridotti M2, ed infine l'analisi in condizioni sismiche (SLU-S) con i parametri geotecnici ridotti M2 e l'aggiunta delle azioni sismiche valutate secondo il metodo pseudo-statico. In tutte le verifiche di stabilità si è considerato il coefficiente parziale R2.

Nella verifica SLU-S si applica il metodo pseudostatico e l'azione sismica viene introdotta considerando in luogo delle azioni dinamiche le azioni statiche equivalenti, costituite da forze di volume orizzontali e verticali, proporzionali al peso del terreno secondo i coefficienti  $k_h$  (per le azioni orizzontali) e  $\pm k_v$  (per le azioni verticali, verso l'alto o verso il basso):

$$k_h = \beta_s \alpha S St;$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h.$$

dove:

- $W$  è il peso della massa di terreno soggetta a slittamento;
- $\alpha$  è il coefficiente di accelerazione del terreno, calcolato come rapporto tra l'accelerazione di progetto  $a_g$  e

quella di gravità (nel presente caso:  $a_g=0,424g$  -  $V_N=100$  anni -  $C_U=2,0$ );

- $S_S$  è il coefficiente relativo al profilo stratigrafico ( $S_S=1,00$  - categoria di sottosuolo A);
- $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica (nel presente caso:  $S_T=1,2$ )
- $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ( $\beta_s=0,30$ - NTC 08 – Tab. 7.11.I).

Si ha dunque:

$$k_h = 0,1526$$

$$k_v = \pm 0,0763$$

Nelle verifiche di stabilità, il materiale granulare di ritombamento è stato caratterizzato con i seguenti parametri meccanici di Mohr-Coulomb:

$$c'=0 \text{ kPa}$$

$$\phi'=40^\circ$$

Allo scopo di tenere in conto l'effetto stabilizzante della vegetazione superficiale, per il primo metro di terreno è stato considerato un minimo valore di coesione efficace  $c'$  pari a 5 kPa.

Nella seguente tabella sono riassunti i coefficienti parziali utilizzati nelle analisi di calcolo illustrate nei seguenti capitoli, con riferimento ai diversi stati limite analizzati per le analisi di stabilità svolte con SLIDE.

		SLU-1 ( $A_1+M_1$ )	SLU-2 ( $A_2+M_2$ )	SLU-S ( $A_k+M_k+sisma$ )
<b>AZIONI</b>	Permanenti (peso proprio)	1,00	1,00	1,00
	Temporanee (sovraccarichi)	1,50	1,30	0
	Sisma	-	-	1,00
<b>PARAMETRI DEL TERRENO</b>	$\tan \phi'$	1,00	1,25	1,25
	$c'$	1,00	1,25	1,25
	$c_u$	1,00	1,40	1,40
<b>RESISTENZE DEGLI ANCORAGGI</b>	Resistenza allo snervamento dell'acciaio	$1,15 \times 1,40 = 1,61$	1,15	1,15
	Resistenza di pull-out	1,00	$1,80 \times 1,20 = 2,16$	$1,80 \times 1,20 = 2,16$

È stata inoltre eseguita l'analisi SLE ponendo pari a 1 tutti i coefficienti previsti dalla Normativa su azioni e resistenze.

Nei calcoli si è tenuto conto delle chiodature passive già presenti per la stabilizzazione dello scavo, costituite da barre di acciaio tipo B450C, diametro 24 mm.

Le caratteristiche della chiodatura, descritte nella documentazione del Progetto Esecutivo della finestra di accesso alla Galleria Serra Rotonda e considerate nelle analisi sono riassunte nella tabella seguente.

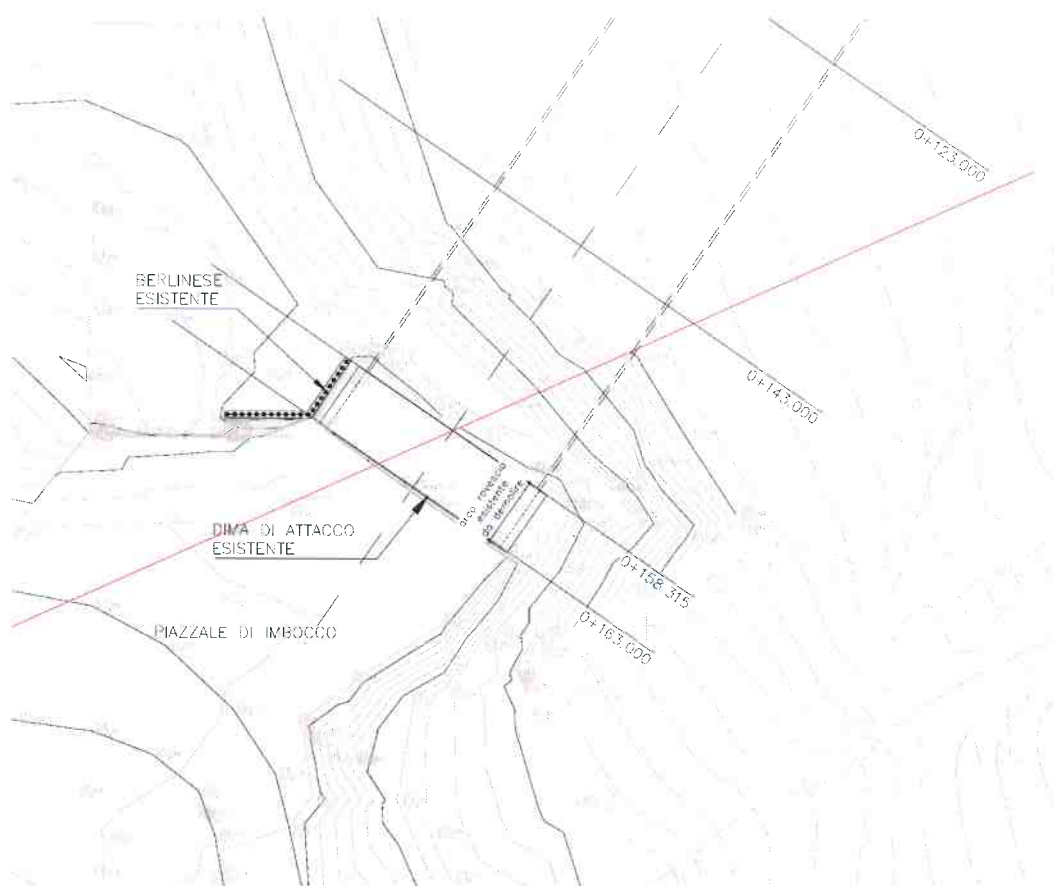
<b>ANCORAGGI PASSIVI (barre tipo B450C)</b>	Diametro fori	40 mm
	Lunghezza dei chiodi	3 m
	Diametro delle barre	Ø 32 mm
	Snervamento acciaio	450 MPa
	Spaziatura orizz. chiodi	2 m
	Spaziatura vert. chiodi	2 m
	Tensione limite di aderenza	400 kPa

Nelle analisi i parametri geotecnici  $c'$ - $\phi'$  dello strato di 12 m delle rocce calcaree alterate sono stati assunti pari a:

$$c'=5 \text{ kPa}$$

$$\phi'=40^\circ$$

Essi sono stati determinati a partire dalla “back analysis” della parete di scavo attuale che risulta stabile in presenza della chiodatura, quindi caratterizzata da un fattore di sicurezza superiore a 1; ponendo  $c'=0 \text{ kPa}$ , come indicato nel Progetto Esecutivo della finestra, il fattore di sicurezza calcolato sarebbe inferiore a 1. Il risultato della “back analysis” è illustrato nella seguente immagine, unitamente alla ubicazione della sezione di calcolo:





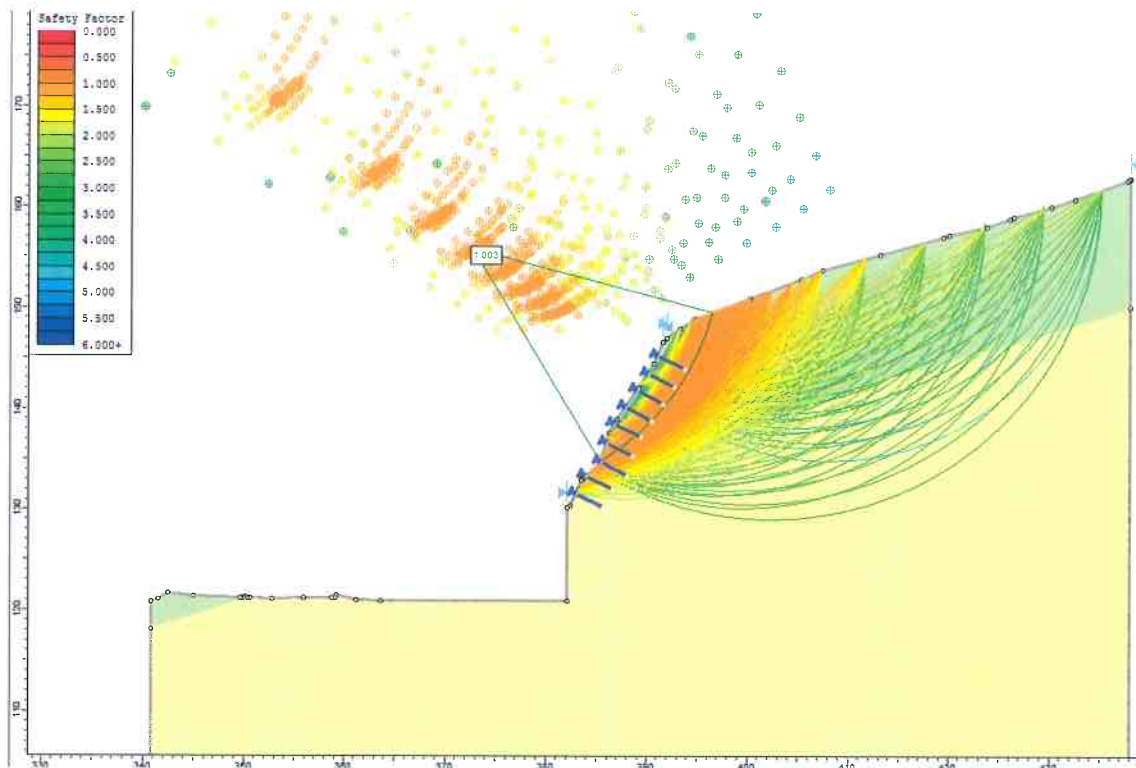


Figura 11.2 – Back analysis dello scavo attuale per la determinazione dei parametri di resistenza dello strato dei calcari alterati

Nella figura successiva è illustrata l'ubicazione della sezione analizzata.



Figura 11.3 – Ubicazione delle sezioni di calcolo

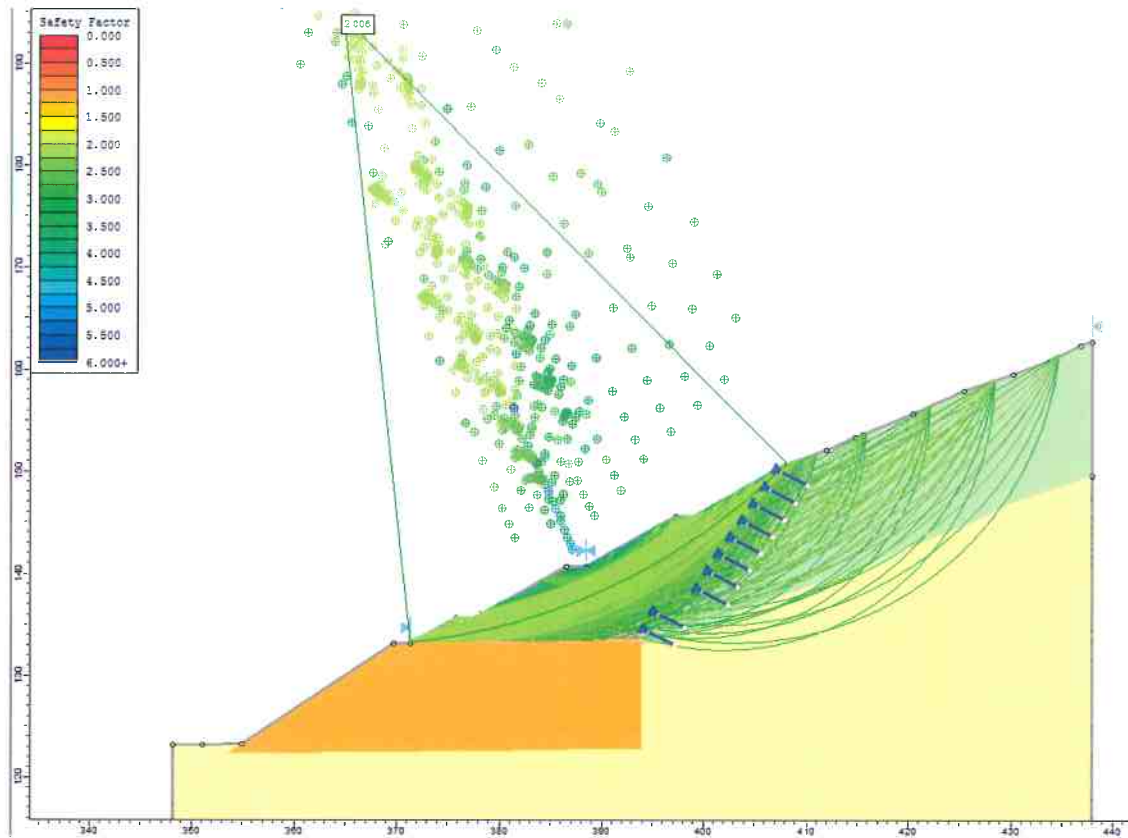


Figura 11.4 - Analisi di stabilità SLE

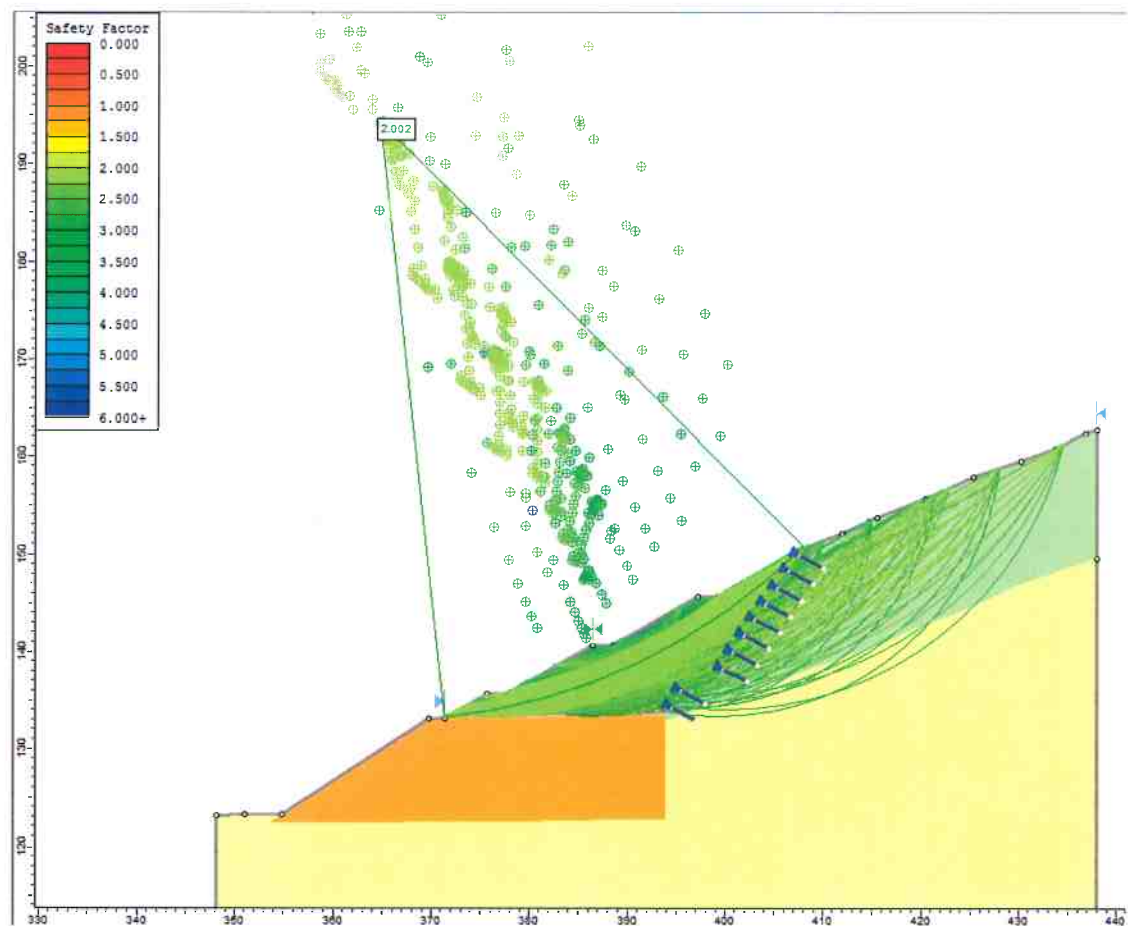


Figura 11.5 - Analisi di stabilità SLU-1

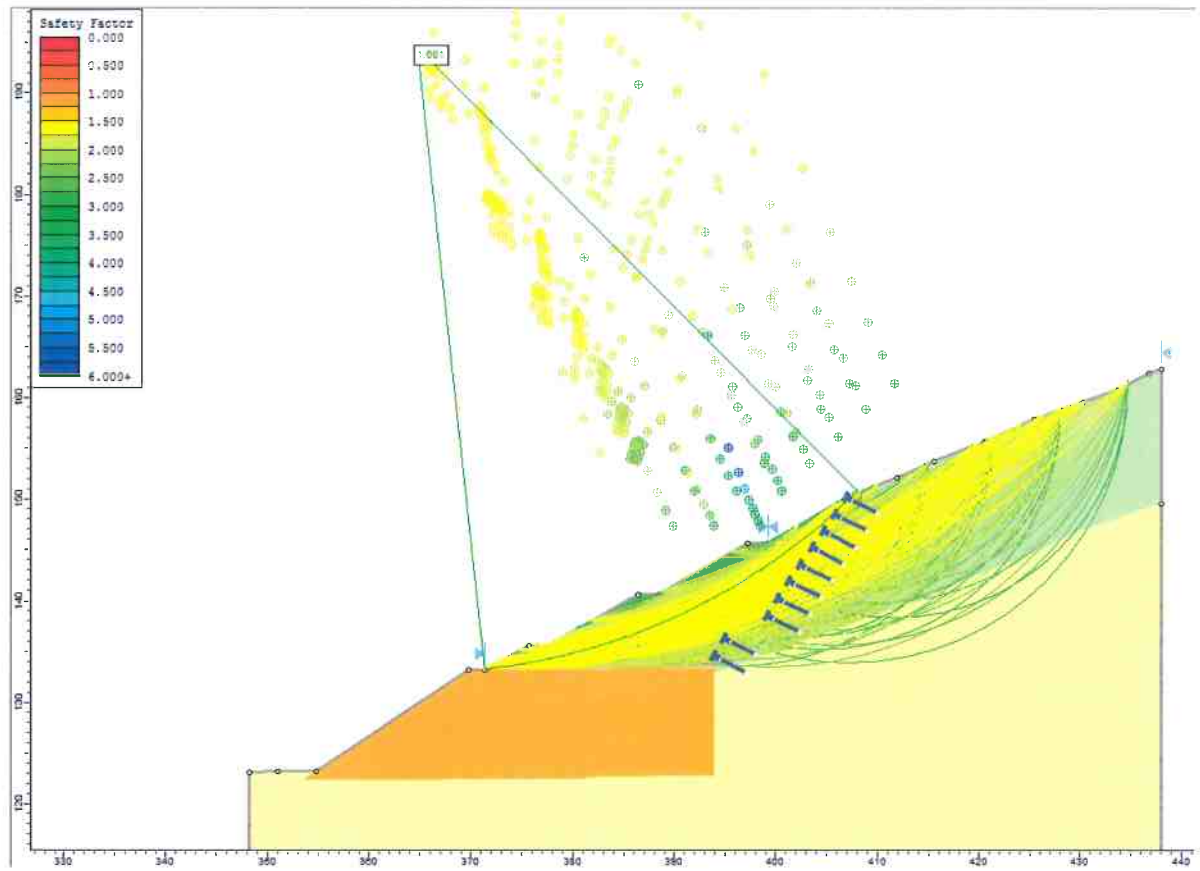


Figura 11.6 - Analisi di stabilità SLU-2

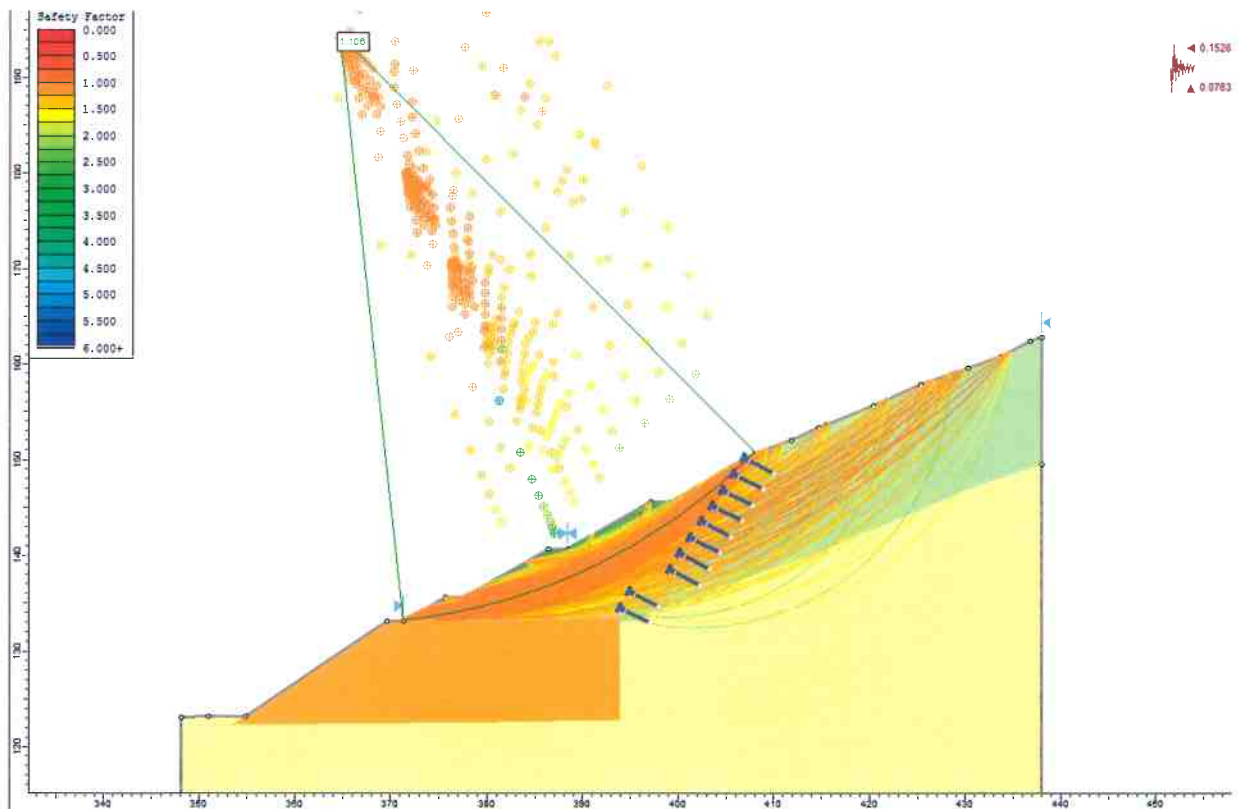


Figura 11.7 - Analisi di stabilità SLU-S

I risultati ottenuti nelle verifiche di stabilità, per i diversi Stati Limite esaminati, sono riportati nella tabella seguente e sono inferiori ai limiti normativi:

	<b>Fattore di sicurezza</b>	<b>Limite normativo</b>
<b>SLE</b>	2,006	-
<b>SLU-1</b> (A <sub>1</sub> +M <sub>1</sub> )	2,002	1,10
<b>SLU-2</b> (A <sub>2</sub> +M <sub>2</sub> )	1,601	1,10
<b>SLU-S</b> (SISMA)	1,106	1,10

# Allegati

## **Allegato 2-Verifica stabilità back analysys scavo chiodato**

## **Slide Analysis Information**

### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### **Project Summary**

---

- File Name: SEZ\_A\_CHIODI-BA.slim
- Slide Modeler Version: 6.032
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 04/07/2011, 17.37.28

#### **General Settings**

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### **Analysis Options**

---

##### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### **Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### **Random Numbers**



ASR311-E-1601-P00-GA01-STR-RE-01-A

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

### Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

### Material Properties

Property	Calcari	Calcari alterati
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	22	19
Cohesion [kPa]	100	5
Friction Angle [deg]	25	40
Water Surface	None	None
Ru Value	0	0

### Support Properties

#### Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 177 kN
- Plate Capacity: 177 kN
- Bond Strength: 50.3 kN/m

### Global Minimums



**Method: bishop simplified**

- FS: 1.003460
- Center: 372.688, 155.823
- Radius: 24.641
- Left Slip Surface Endpoint: 385.360, 134.690
- Right Slip Surface Endpoint: 396.515, 149.544
- Resisting Moment=16506.5 kN-m
- Driving Moment=16449.6 kN-m
- Total Slice Area=46.9212 m2

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1690
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.00346

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.446218	5.36797	Calcari alterati	5	40	9.92648	9.96083	5.91209	0	5.91209
2	0.446218	16.0251	Calcari alterati	5	40	22.7299	22.8085	21.2233	0	21.2233
3	0.446218	22.9158	Calcari alterati	5	40	30.5937	30.6996	30.6277	0	30.6277
4	0.446218	26.7123	Calcari alterati	5	40	34.5333	34.6528	35.3389	0	35.3389
5	0.446218	29.7175	Calcari alterati	5	40	57.2422	57.4403	62.496	0	62.496
6	0.446218	32.4681	Calcari alterati	5	40	39.8331	39.9709	41.6768	0	41.6768
7	0.446218	35.0793	Calcari alterati	5	40	41.9872	42.1325	44.2528	0	44.2528
8	0.446218	37.5431	Calcari alterati	5	40	43.8529	44.0046	46.484	0	46.484
9	0.446218	39.8505	Calcari alterati	5	40	50.7179	50.8934	54.6935	0	54.6935
10	0.446218	41.9912	Calcari alterati	5	40	46.6953	46.8569	49.8831	0	49.8831
11	0.446218	43.9535	Calcari alterati	5	40	47.6577	47.8226	51.0341	0	51.0341

12	0.446218	45.746	Calcari alterati	5	40	48.3387	48.506	51.8484	0	51.8484
13	0.446218	49.5072	Calcari alterati	5	40	50.7809	50.9566	54.7689	0	54.7689
14	0.446218	54.4392	Calcari alterati	5	40	54.1065	54.2937	58.746	0	58.746
15	0.446218	56.0982	Calcari alterati	5	40	54.0955	54.2827	58.7329	0	58.7329
16	0.446218	54.1866	Calcari alterati	5	40	50.7307	50.9062	54.7089	0	54.7089
17	0.446218	51.4997	Calcari alterati	5	40	46.7209	46.8826	49.9137	0	49.9137
18	0.446218	48.4658	Calcari alterati	5	40	42.4884	42.6354	44.8521	0	44.8521
19	0.446218	45.0844	Calcari alterati	5	40	38.0634	38.1951	39.5604	0	39.5604
20	0.446218	41.2549	Calcari alterati	5	40	33.4041	33.5197	33.9884	0	33.9884
21	0.446218	36.8581	Calcari alterati	5	40	28.4764	28.5749	28.0955	0	28.0955
22	0.446218	31.1862	Calcari alterati	5	40	22.8788	22.958	21.4015	0	21.4015
23	0.446218	24.1071	Calcari alterati	5	40	16.7327	16.7906	14.0514	0	14.0514
24	0.446218	15.8007	Calcari alterati	5	40	10.4346	10.4707	6.51971	0	6.51971
25	0.446218	5.64478	Calcari alterati	5	40	4.07556	4.08967	-1.08489	0	-1.08489

### Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.00346

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	385.36	134.69	0	0	0
2	385.806	134.964	2.82442	0	0
3	386.252	135.251	6.90265	0	0
4	386.699	135.553	11.3739	0	0
5	387.145	135.868	15.6765	0	0
6	387.591	136.199	54.704	0	0
7	388.037	136.546	58.0765	0	0
8	388.484	136.91	60.7723	0	0
9	388.93	137.292	62.6602	0	0
10	389.376	137.693	73.2736	0	0
11	389.822	138.114	73.1751	0	0
12	390.268	138.557	71.9109	0	0
13	390.715	139.023	69.3994	0	0

14	391.161	139.515	65.1933	0	0
15	391.607	140.035	58.8798	0	0
16	392.053	140.586	50.7608	0	0
17	392.5	141.171	41.4774	0	0
18	392.946	141.794	31.2803	0	0
19	393.392	142.462	20.3737	0	0
20	393.838	143.18	9.00468	0	0
21	394.284	143.958	-2.49166	0	0
22	394.731	144.809	-13.6543	0	0
23	395.177	145.752	-23.5796	0	0
24	395.623	146.814	-31.0146	0	0
25	396.069	148.045	-34.3695	0	0
26	396.515	149.544	0	0	0

### List Of Coordinates

#### External Boundary

X	Y
361.213	121.088
359.244	121.496
359.099	121.203
358.793	121.2
355.965	121.252
352.872	121.18
350.607	121.229
350.33	121.267
350.159	121.29
349.955	121.261
349.751	121.232
349.691	121.208
344.947	121.4
342.47	121.705
341.555	121.11
340.75	120.817
340.75	118.179
340.75	90.8173
437.988	90.8173
437.988	150.058
437.988	162.817
437.846	162.817
437.662	162.626
432.381	160.816

430.035	160.073
426.364	158.985
425.929	158.814
423.702	158.095
419.929	157.229
419.427	157.016
413.079	155.247
407.391	153.725
405.271	152.811
400.224	150.932
394.796	148.9
394.687	148.851
393.281	147.917
391.907	147.032
391.549	146.606
390.665	144.442
389.107	142.125
386.985	138.97
386.677	138.463
386.215	137.641
385.305	134.499
383.633	133.099
383.559	133.077
383.543	132.976
383.18	132.141
382.41	130.376
382.09	130.269
382.09	120.979
363.658	120.979

### Material Boundary

X	Y
383.18	132.141
385.115	132.784
390.679	134.475
397.611	136.84
398.986	137.647
411.122	142.304
419.571	144.598
423.12	145.65
426.941	146.526
430.193	147.606
435.757	149.296
437.988	150.058

## Material Boundary

X	Y
340.75	118.179
345.601	119.653
350.33	121.267

## **Allegato 3-Verifica stabilità ritombamento SLE**

## ***Slide Analysis Information***

### ***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

#### ***Project Summary***

---

- File Name: SEZ\_A\_CHIODI-SLE\_7-4\_banca\_2m.slim
- Slide Modeler Version: 6.032
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 04/07/2011, 17.37.28

#### ***General Settings***

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### ***Analysis Options***

---

##### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m_{\alpha} < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### ***Groundwater Analysis***

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None






## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Material Properties

Property	Calcari	Calcari alterati	Vegetale	Calcestruzzo	Rinterro
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	22	19	18	25	18
Cohesion [kPa]	100	10	10		0
Friction Angle [deg]	25	40	40		40
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

## Support Properties

### Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 203.9 kN
- Plate Capacity: 203.9 kN
- Bond Strength: 50.3 kN/m



## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 2.005890
- Center: 364.749, 194.386
- Radius: 61.543
- Left Slip Surface Endpoint: 371.361, 133.199
- Right Slip Surface Endpoint: 408.160, 150.762
- Resisting Moment=79531.1 kN-m
- Driving Moment=39648.9 kN-m
- Total Slice Area=87.7159 m2

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1169
- Number of Invalid Surfaces: 0

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.00589

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.3038	6.92361	Vegetale	10	40	6.86534	13.7711	4.49423	0	4.49423
2	1.3038	20.4385	Vegetale	10	40	10.9017	21.8677	14.1433	0	14.1433
3	1.55331	41.0359	Rinterro	0	40	10.3393	20.7394	24.7163	0	24.7163
4	1.55331	48.9283	Rinterro	0	40	12.2015	24.4748	29.1679	0	29.1679
5	1.55331	44.3673	Rinterro	0	40	10.9502	21.9649	26.1767	0	26.1767
6	1.55331	56.8697	Rinterro	0	40	13.8905	27.8629	33.2057	0	33.2057
7	1.55331	70.4322	Rinterro	0	40	17.0235	34.1472	40.695	0	40.695
8	1.55331	82.773	Rinterro	0	40	19.7949	39.7064	47.3203	0	47.3203
9	1.55331	93.8641	Rinterro	0	40	22.2071	44.545	53.0867	0	53.0867
10	1.55331	103.674	Rinterro	0	40	24.2614	48.6657	57.9975	0	57.9975
11	1.55331	101.193	Rinterro	0	40	23.4189	46.9757	55.9835	0	55.9835
12	1.55331	88.8416	Rinterro	0	40	20.3282	40.7762	48.5952	0	48.5952
13	1.55331	93.075	Rinterro	0	40	21.0507	42.2254	50.3224	0	50.3224
14	1.55331	97.3478	Rinterro	0	40	21.7559	43.64	52.0081	0	52.0081
15	1.55331	100.105	Rinterro	0	40	22.0989	44.328	52.8281	0	52.8281

16	1.55331	101.28	Rinterro	0	40	22.0762	44.2825	52.7738	0	52.7738
17	1.55331	100.791	Rinterro	0	40	21.6824	43.4926	51.8325	0	51.8325
18	1.55331	85.67	Rinterro	0	40	18.1788	36.4647	43.457	0	43.457
19	1.55331	63.4274	Rinterro	0	40	13.2678	26.6137	31.717	0	31.717
20	1.55331	56.4995	Rinterro	0	40	11.6424	23.3533	27.8313	0	27.8313
21	1.55331	48.3664	Rinterro	0	40	9.80971	19.6772	23.4503	0	23.4503
22	1.55331	37.9802	Rinterro	0	40	7.57464	15.1939	18.1074	0	18.1074
23	1.21395	20.9516	Vegetale	10	40	8.89587	17.8441	9.34825	0	9.34825
24	1.21395	11.8702	Vegetale	10	40	6.51755	13.0735	3.66283	0	3.66283
25	0.696838	2.23295	Calcari alterati	10	40	4.48725	9.00092	-1.19066	0	-1.19066

### Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.00589

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	371.361	133.199	0	0	0
2	372.665	133.354	8.25435	0	0
3	373.969	133.537	19.8752	0	0
4	375.522	133.793	29.6144	0	0
5	377.076	134.09	39.9094	0	0
6	378.629	134.428	48.0571	0	0
7	380.182	134.809	56.9846	0	0
8	381.736	135.233	66.1664	0	0
9	383.289	135.702	74.7533	0	0
10	384.842	136.215	81.9856	0	0
11	386.396	136.775	87.1934	0	0
12	387.949	137.383	89.5439	0	0
13	389.502	138.04	89.1859	0	0
14	391.055	138.748	86.2434	0	0
15	392.609	139.51	80.4417	0	0
16	394.162	140.326	71.6257	0	0
17	395.715	141.201	59.7647	0	0
18	397.269	142.136	44.9648	0	0
19	398.822	143.136	29.7706	0	0
20	400.375	144.203	16.5263	0	0
21	401.929	145.343	2.89041	0	0
22	403.482	146.56	-10.4175	0	0
23	405.035	147.861	-22.2077	0	0
24	406.249	148.94	-21.5004	0	0
25	407.463	150.079	-17.7606	0	0
26	408.16	150.762	0	0	0

## List Of Coordinates

### External Boundary

X	Y
354.896	123.305
351.039	123.278
348.169	123.191
348.169	90.8173
437.988	90.8173
437.988	149.628
437.988	162.817
436.798	162.424
433.719	160.846
430.252	159.615
425.412	157.944
420.493	155.694
415.551	153.74
414.733	153.416
411.942	152.126
407.988	150.7
399.238	145.7
397.238	145.7
388.488	140.7
386.488	140.7
377.738	135.7
375.738	135.7
371.357	133.196
369.733	133.196

### Material Boundary

X	Y
371.357	133.196
373.384	133.203
381.376	133.228
381.503	133.229
381.801	133.234
382.284	133.242
382.481	133.243
382.676	133.245
383.159	133.254
383.636	133.263
383.844	133.265

384.06	133.268
384.54	133.277
384.693	133.28
384.771	133.281
385.082	133.288
385.255	133.291
385.704	133.3
385.996	133.305
386.323	133.31
386.772	133.32
387.165	133.327
387.591	133.337
387.977	133.347
388.468	133.355
388.619	133.358
388.721	133.361
394.003	133.461
394.003	132.9
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
394.003	133.461
395.204	135.703
395.406	136.069
395.649	136.366
398.998	137.259
399.071	137.276
399.194	137.473
400.489	139.684
401.366	141.073
405.553	147.093
406.625	148.769
407.607	150.305
407.988	150.7

### Material Boundary

X	Y
394.003	132.9
416.503	141.014
419.467	142.384
419.97	142.584

425.197	144.65
429.877	146.79
434.218	148.29
437.988	149.628

### Material Boundary

X	Y
354.896	123.305
353.321	122.387
381.376	122.609
381.503	122.61
381.801	122.614
382.284	122.622
382.481	122.624
382.676	122.626
383.159	122.634
383.636	122.643
383.844	122.645
384.06	122.648
384.54	122.658
384.693	122.661
384.771	122.662
385.082	122.668
385.255	122.671
385.704	122.681
385.996	122.685
386.323	122.691
386.772	122.701
387.165	122.708
387.591	122.717
387.977	122.727
388.468	122.736
388.619	122.739
388.721	122.741
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
373.384	133.203
376.004	134.7
378.004	134.7
386.754	139.7

388.754	139.7
397.504	144.7
399.504	144.7
406.625	148.769

## **Allegato 4-Verifica stabilità ritombamento SLU A1+M1**

## **Slide Analysis Information**

### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### **Project Summary**

---

- File Name: SEZ\_A\_CHIODI-A1\_7-4\_banca\_2m.slim
- Slide Modeler Version: 6.032
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 04/07/2011, 17.37.28

#### **General Settings**

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### **Design Standard**

---

- Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
- Name: User Defined 1

<b>Type</b>	<b>Partial Factor</b>
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.5
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1
Coefficient of shearing resistance	1
Undrained strength	1
Weight density	1
Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.61
Shear strength	1.61
Compressive strength	1.61
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1



## Analysis Options

### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Material Properties

Property	Calcari	Calcari alterati	Vegetale	Calcestruzzo	Rinterro
Color					

ASR311-E-1601-P00-GA01-STR-RE-01-A

Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	22	19	18	25	18
Cohesion [kPa]	100	5	10		0
Friction Angle [deg]	25	40	40		40
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

## Support Properties

---

### Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 203.9 kN
- Plate Capacity: 203.9 kN
- Bond Strength: 50.3 kN/m

## Global Minimums

---

### Method: bishop simplified

- FS: 2.002100
- Center: 364.752, 194.301
- Radius: 61.456
- Left Slip Surface Endpoint: 371.365, 133.201
- Right Slip Surface Endpoint: 408.105, 150.742
- Resisting Moment=78867.5 kN-m
- Driving Moment=39392.3 kN-m
- Total Slice Area=87.2903 m<sup>2</sup>

## Valid / Invalid Surfaces

---

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1033
- Number of Invalid Surfaces: 0

## Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.0021

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.30444	6.92745	Vegetale	10	40	6.8773	13.7691	4.49177	0	4.49177
2	1.30444	20.449	Vegetale	10	40	10.9203	21.8635	14.1384	0	14.1384
3	1.5484	40.8733	Rinterro	0	40	10.3482	20.7182	24.691	0	24.691
4	1.5484	48.7133	Rinterro	0	40	12.2067	24.4391	29.1254	0	29.1254
5	1.5484	44.1126	Rinterro	0	40	10.9401	21.9032	26.1033	0	26.1033
6	1.5484	56.484	Rinterro	0	40	13.8632	27.7556	33.0778	0	33.0778
7	1.5484	69.9574	Rinterro	0	40	16.9907	34.017	40.5399	0	40.5399
8	1.5484	82.2188	Rinterro	0	40	19.7578	39.557	47.1422	0	47.1422
9	1.5484	93.2405	Rinterro	0	40	22.1666	44.3798	52.8897	0	52.8897
10	1.5484	102.991	Rinterro	0	40	24.2186	48.4881	57.7858	0	57.7858
11	1.5484	101.041	Rinterro	0	40	23.4973	47.0439	56.0647	0	56.0647
12	1.5484	88.3991	Rinterro	0	40	20.3252	40.6931	48.4962	0	48.4962
13	1.5484	92.3824	Rinterro	0	40	20.9957	42.0355	50.0959	0	50.0959
14	1.5484	96.6419	Rinterro	0	40	21.7033	43.4522	51.7843	0	51.7843
15	1.5484	99.3987	Rinterro	0	40	22.0499	44.1461	52.6113	0	52.6113
16	1.5484	100.587	Rinterro	0	40	22.0321	44.1105	52.5689	0	52.5689
17	1.5484	100.13	Rinterro	0	40	21.6456	43.3367	51.6467	0	51.6467
18	1.5484	86.2105	Rinterro	0	40	18.3832	36.8051	43.8626	0	43.8626
19	1.5484	63.3071	Rinterro	0	40	13.3078	26.6435	31.7525	0	31.7525
20	1.5484	56.1151	Rinterro	0	40	11.6202	23.2649	27.7261	0	27.7261
21	1.5484	48.0797	Rinterro	0	40	9.79996	19.6205	23.3827	0	23.3827
22	1.5484	37.8129	Rinterro	0	40	7.57899	15.1739	18.0835	0	18.0835
23	1.28812	21.9585	Vegetale	10	40	8.84345	17.7055	9.18304	0	9.18304
24	1.28812	11.6863	Vegetale	10	40	6.30807	12.6294	3.13359	0	3.13359
25	0.586878	1.53801	Calcari alterati	5	40	2.54729	5.09992	0.119083	0	0.119083

**Interslice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.0021

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	371.365	133.201	0	0	0
2	372.67	133.356	8.27324	0	0
3	373.974	133.54	19.9205	0	0
4	375.523	133.795	29.64	0	0
5	377.071	134.092	39.9143	0	0
6	378.619	134.429	48.0393	0	0
7	380.168	134.809	56.9392	0	0

8	381.716	135.232	66.1031	0	0
9	383.265	135.699	74.6875	0	0
10	384.813	136.211	81.9381	0	0
11	386.361	136.769	87.1896	0	0
12	387.91	137.374	89.6179	0	0
13	389.458	138.029	89.3371	0	0
14	391.007	138.735	86.5001	0	0
15	392.555	139.493	80.8332	0	0
16	394.103	140.307	72.1806	0	0
17	395.652	141.178	60.5095	0	0
18	397.2	142.109	45.9217	0	0
19	398.749	143.104	30.737	0	0
20	400.297	144.167	17.6004	0	0
21	401.845	145.301	4.13544	0	0
22	403.394	146.513	-9.02176	0	0
23	404.942	147.808	-20.6993	0	0
24	406.23	148.953	-19.8269	0	0
25	407.518	150.166	-15.5017	0	0
26	408.105	150.742	0	0	0

### List Of Coordinates

#### External Boundary

X	Y
354.896	123.305
351.039	123.278
348.169	123.191
348.169	90.8173
437.988	90.8173
437.988	149.628
437.988	162.817
436.798	162.424
433.719	160.846
430.252	159.615
425.412	157.944
420.493	155.694
415.551	153.74
414.733	153.416
411.942	152.126
407.988	150.7
399.238	145.7
397.238	145.7

388.488	140.7
386.488	140.7
377.738	135.7
375.738	135.7
371.357	133.196
369.733	133.196

### Material Boundary

X	Y
371.357	133.196
373.384	133.203
381.376	133.228
381.503	133.229
381.801	133.234
382.284	133.242
382.481	133.243
382.676	133.245
383.159	133.254
383.636	133.263
383.844	133.265
384.06	133.268
384.54	133.277
384.693	133.28
384.771	133.281
385.082	133.288
385.255	133.291
385.704	133.3
385.996	133.305
386.323	133.31
386.772	133.32
387.165	133.327
387.591	133.337
387.977	133.347
388.468	133.355
388.619	133.358
388.721	133.361
394.003	133.461
394.003	132.9
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
---	---

394.003	133.461
395.204	135.703
395.406	136.069
395.649	136.366
398.998	137.259
399.071	137.276
399.194	137.473
400.489	139.684
401.366	141.073
405.553	147.093
406.625	148.769
407.607	150.305
407.988	150.7

### Material Boundary

X	Y
394.003	132.9
416.503	141.014
419.467	142.384
419.97	142.584
425.197	144.65
429.877	146.79
434.218	148.29
437.988	149.628

### Material Boundary

X	Y
354.896	123.305
353.321	122.387
381.376	122.609
381.503	122.61
381.801	122.614
382.284	122.622
382.481	122.624
382.676	122.626
383.159	122.634
383.636	122.643
383.844	122.645
384.06	122.648
384.54	122.658
384.693	122.661
384.771	122.662

385.082	122.668
385.255	122.671
385.704	122.681
385.996	122.685
386.323	122.691
386.772	122.701
387.165	122.708
387.591	122.717
387.977	122.727
388.468	122.736
388.619	122.739
388.721	122.741
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
373.384	133.203
376.004	134.7
378.004	134.7
386.754	139.7
388.754	139.7
397.504	144.7
399.504	144.7
406.625	148.769

## **Allegato 5-Verifica stabilità ritombamento SLU A2+M2**



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: SEZ\_A\_CHIODI-M2\_7-4\_banca\_2m.slim
- Slide Modeler Version: 6.032
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 04/07/2011, 17.37.28

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
- Name: User Defined 1

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.15
Shear strength	1.15
Compressive strength	1.15
Bond strength	2.16
Seismic Coefficient	1

## Analysis Options

### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m_{\alpha} < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## Material Properties

Property	Calcari	Calcari alterati	Vegetale	Calcestruzzo	Rinterro
Color					

ASR311-E-1601-P00-GA01-STR-RE-01-A

Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	22	19	18	25	18
Cohesion [kPa]	100	5	10		0
Friction Angle [deg]	25	40	40		40
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru.Value	0	0	0	0	0

## Support Properties

### Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 203.9 kN
- Plate Capacity: 203.9 kN
- Bond Strength: 50.3 kN/m

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.601370
- Center: 364.746, 194.331
- Radius: 61.490
- Left Slip Surface Endpoint: 371.361, 133.198
- Right Slip Surface Endpoint: 408.122, 150.748
- Resisting Moment=63232.6 kN-m
- Driving Moment=39486.5 kN-m
- Total Slice Area=87.4458 m<sup>2</sup>

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1078
- Number of Invalid Surfaces: 0

## Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60137

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.30427	6.92637	Vegetale	8	33.8726	6.87906	11.0159	4.49279	0	4.49279
2	1.30427	20.4461	Vegetale	8	33.8726	10.9233	17.4922	14.1405	0	14.1405
3	1.5501	40.9292	Rinterro	0	33.8726	10.3539	16.5805	24.6999	0	24.6999
4	1.5501	48.8315	Rinterro	0	33.8726	12.2265	19.5792	29.167	0	29.167
5	1.5501	44.2214	Rinterro	0	33.8726	10.9583	17.5483	26.1416	0	26.1416
6	1.5501	56.6152	Rinterro	0	33.8726	13.8843	22.2339	33.1217	0	33.1217
7	1.5501	70.1188	Rinterro	0	33.8726	17.0164	27.2495	40.5933	0	40.5933
8	1.5501	82.4072	Rinterro	0	33.8726	19.7874	31.6869	47.2036	0	47.2036
9	1.5501	93.4525	Rinterro	0	33.8726	22.1995	35.5496	52.958	0	52.958
10	1.5501	103.223	Rinterro	0	33.8726	24.2542	38.8399	57.8594	0	57.8594
11	1.5501	101.14	Rinterro	0	33.8726	23.5018	37.6351	56.0647	0	56.0647
12	1.5501	88.5651	Rinterro	0	33.8726	20.3475	32.5839	48.54	0	48.54
13	1.5501	92.6174	Rinterro	0	33.8726	21.0327	33.6812	50.1746	0	50.1746
14	1.5501	96.8815	Rinterro	0	33.8726	21.7403	34.8142	51.8624	0	51.8624
15	1.5501	99.6385	Rinterro	0	33.8726	22.086	35.3679	52.6873	0	52.6873
16	1.5501	100.822	Rinterro	0	33.8726	22.0667	35.3369	52.6411	0	52.6411
17	1.5501	100.356	Rinterro	0	33.8726	21.6778	34.7142	51.7134	0	51.7134
18	1.5501	86.0764	Rinterro	0	33.8726	18.3405	29.37	43.7522	0	43.7522
19	1.5501	63.3551	Rinterro	0	33.8726	13.3076	21.3104	31.7459	0	31.7459
20	1.5501	56.2456	Rinterro	0	33.8726	11.6383	18.6372	27.7637	0	27.7637
21	1.5501	48.1772	Rinterro	0	33.8726	9.81222	15.713	23.4075	0	23.4075
22	1.5501	37.8702	Rinterro	0	33.8726	7.58451	12.1456	18.0932	0	18.0932
23	1.26509	21.6489	Vegetale	8	33.8726	8.86749	14.2001	9.23627	0	9.23627
24	1.26509	11.7543	Vegetale	8	33.8726	6.37871	10.2147	3.29918	0	3.29918
25	0.620901	1.74009	Calcarì alterati	4	33.8726	2.60315	4.16861	0.251177	0	0.251177

**Interslice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60137

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	371.361	133.198	0	0	0
2	372.665	133.354	8.26395	0	0
3	373.969	133.537	19.8975	0	0
4	375.519	133.793	29.618	0	0
5	377.069	134.089	39.9018	0	0
6	378.619	134.427	48.0325	0	0
7	380.17	134.807	56.9341	0	0

8	381.72	135.231	66.0946	0	0
9	383.27	135.698	74.6689	0	0
10	384.82	136.211	81.901	0	0
11	386.37	136.769	87.1244	0	0
12	387.92	137.376	89.5143	0	0
13	389.47	138.031	89.1959	0	0
14	391.02	138.738	86.3115	0	0
15	392.57	139.497	80.5866	0	0
16	394.12	140.312	71.8663	0	0
17	395.671	141.184	60.1181	0	0
18	397.221	142.117	45.4457	0	0
19	398.771	143.113	30.2381	0	0
20	400.321	144.177	17.0556	0	0
21	401.871	145.314	3.52569	0	0
22	403.421	146.527	-9.6887	0	0
23	404.971	147.824	-21.4094	0	0
24	406.236	148.949	-20.5956	0	0
25	407.501	150.139	-16.4611	0	0
26	408.122	150.748	0	0	0

### List Of Coordinates

#### External Boundary

X	Y
354.896	123.305
351.039	123.278
348.169	123.191
348.169	90.8173
437.988	90.8173
437.988	149.628
437.988	162.817
436.798	162.424
433.719	160.846
430.252	159.615
425.412	157.944
420.493	155.694
415.551	153.74
414.733	153.416
411.942	152.126
407.988	150.7
399.238	145.7
397.238	145.7

388.488	140.7
386.488	140.7
377.738	135.7
375.738	135.7
371.357	133.196
369.733	133.196

**Material Boundary**

X	Y
371.357	133.196
373.384	133.203
381.376	133.228
381.503	133.229
381.801	133.234
382.284	133.242
382.481	133.243
382.676	133.245
383.159	133.254
383.636	133.263
383.844	133.265
384.06	133.268
384.54	133.277
384.693	133.28
384.771	133.281
385.082	133.288
385.255	133.291
385.704	133.3
385.996	133.305
386.323	133.31
386.772	133.32
387.165	133.327
387.591	133.337
387.977	133.347
388.468	133.355
388.619	133.358
388.721	133.361
394.003	133.461
394.003	132.9
394.003	122.841

**Material Boundary**

X	Y
---	---

394.003	133.461
395.204	135.703
395.406	136.069
395.649	136.366
398.998	137.259
399.071	137.276
399.194	137.473
400.489	139.684
401.366	141.073
405.553	147.093
406.625	148.769
407.607	150.305
407.988	150.7

### Material Boundary

X	Y
394.003	132.9
416.503	141.014
419.467	142.384
419.97	142.584
425.197	144.65
429.877	146.79
434.218	148.29
437.988	149.628

### Material Boundary

X	Y
354.896	123.305
353.321	122.387
381.376	122.609
381.503	122.61
381.801	122.614
382.284	122.622
382.481	122.624
382.676	122.626
383.159	122.634
383.636	122.643
383.844	122.645
384.06	122.648
384.54	122.658
384.693	122.661
384.771	122.662

385.082	122.668
385.255	122.671
385.704	122.681
385.996	122.685
386.323	122.691
386.772	122.701
387.165	122.708
387.591	122.717
387.977	122.727
388.468	122.736
388.619	122.739
388.721	122.741
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
373.384	133.203
376.004	134.7
378.004	134.7
386.754	139.7
388.754	139.7
397.504	144.7
399.504	144.7
406.625	148.769



## **Allegato 6-Verifica stabilità ritombamento SISMA+M2**

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: SEZ\_A\_CHIODI-SISMA\_7-4\_banca\_2m.slim
- Slide Modeler Version: 6.032
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 04/07/2011, 17.37.28

#### General Settings

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Design Standard

---

- Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
- Name: User Defined 1

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.15
Shear strength	1.15
Compressive strength	1.15
Bond strength	2.16
Seismic Coefficient	1

## ***Analysis Options***

---

### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

## ***Groundwater Analysis***

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

## ***Random Numbers***

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## ***Surface Options***

---






- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

## ***Loading***

---

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.1526
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.0763

## Material Properties

Property	Calcari	Calcari alterati	Vegetale	Calcestruzzo	Rinterro
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	22	19	18	25	18
Cohesion [kPa]	100	5	10		0
Friction Angle [deg]	25	40	40		40
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

## Support Properties

### Support 1

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 203.9 kN
- Plate Capacity: 203.9 kN
- Bond Strength: 50.3 kN/m

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.105530
- Center: 364.747, 194.393
- Radius: 61.552
- Left Slip Surface Endpoint: 371.360, 133.198
- Right Slip Surface Endpoint: 408.164, 150.763
- Resisting Moment=54904.3 kN-m
- Driving Moment=49663.2 kN-m
- Total Slice Area=87.7541 m<sup>2</sup>

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

ASR311-E-1601-P00-GA01-STR-RE-01-A

- Number of Valid Surfaces: 1016
- Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10553

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.30376	6.92339	Vegetale	8	33.8726	9.52739	10.5328	3.7731	0	3.7731
2	1.30376	20.4379	Vegetale	8	33.8726	14.7684	16.3269	12.4045	0	12.4045
3	1.55371	41.0492	Rinterro	0	33.8726	13.4722	14.8939	22.1873	0	22.1873
4	1.55371	48.9628	Rinterro	0	33.8726	15.8382	17.5096	26.0839	0	26.0839
5	1.55371	44.3962	Rinterro	0	33.8726	14.1543	15.648	23.3108	0	23.3108
6	1.55371	56.9006	Rinterro	0	33.8726	17.8793	19.7661	29.4454	0	29.4454
7	1.55371	70.4703	Rinterro	0	33.8726	21.8222	24.1251	35.939	0	35.939
8	1.55371	82.8174	Rinterro	0	33.8726	25.2716	27.9385	41.6197	0	41.6197
9	1.55371	93.9141	Rinterro	0	33.8726	28.2358	31.2155	46.5015	0	46.5015
10	1.55371	103.728	Rinterro	0	33.8726	30.7221	33.9642	50.5963	0	50.5963
11	1.55371	101.222	Rinterro	0	33.8726	29.5273	32.6433	48.6284	0	48.6284
12	1.55371	88.8841	Rinterro	0	33.8726	25.5302	28.2244	42.0456	0	42.0456
13	1.55371	93.1303	Rinterro	0	33.8726	26.3314	29.1101	43.3651	0	43.3651
14	1.55371	97.4042	Rinterro	0	33.8726	27.0995	29.9593	44.6301	0	44.6301
15	1.55371	100.162	Rinterro	0	33.8726	27.4098	30.3024	45.1412	0	45.1412
16	1.55371	101.335	Rinterro	0	33.8726	27.2636	30.1407	44.9004	0	44.9004
17	1.55371	100.843	Rinterro	0	33.8726	26.6592	29.4725	43.9049	0	43.9049
18	1.55371	85.6436	Rinterro	0	33.8726	22.233	24.5793	36.6155	0	36.6155
19	1.55371	63.444	Rinterro	0	33.8726	16.1615	17.867	26.6163	0	26.6163
20	1.55371	56.5302	Rinterro	0	33.8726	14.1185	15.6084	23.2516	0	23.2516
21	1.55371	48.3894	Rinterro	0	33.8726	11.837	13.0862	19.4945	0	19.4945
22	1.55371	37.9937	Rinterro	0	33.8726	9.09265	10.0522	14.9747	0	14.9747
23	1.2089	20.8817	Vegetale	8	33.8726	10.9916	12.1516	6.18458	0	6.18458
24	1.2089	11.8784	Vegetale	8	33.8726	8.12249	8.97966	1.45939	0	1.45939
25	0.704277	2.28436	Calcari alterati	4	33.8726	3.4103	3.77019	-0.342341	0	-0.342341

### Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10553

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	371.36	133.198	0	0	0

2	372.664	133.353	10.7754	0	0
3	373.967	133.536	24.63	0	0
4	375.521	133.792	33.6148	0	0
5	377.075	134.089	42.9979	0	0
6	378.629	134.428	50.3136	0	0
7	380.182	134.809	58.1801	0	0
8	381.736	135.233	66.0715	0	0
9	383.29	135.701	73.1872	0	0
10	384.843	136.215	78.8224	0	0
11	386.397	136.775	82.3676	0	0
12	387.951	137.383	83.2159	0	0
13	389.505	138.04	81.6653	0	0
14	391.058	138.749	77.6266	0	0
15	392.612	139.51	70.8625	0	0
16	394.166	140.327	61.2718	0	0
17	395.719	141.202	48.872	0	0
18	397.273	142.138	33.8097	0	0
19	398.827	143.137	18.6643	0	0
20	400.38	144.205	5.66448	0	0
21	401.934	145.345	-7.54441	0	0
22	403.488	146.563	-20.283	0	0
23	405.042	147.864	-31.4468	0	0
24	406.251	148.939	-27.9994	0	0
25	407.459	150.074	-21.6516	0	0
26	408.164	150.763	0	0	0

### List Of Coordinates

#### External Boundary

X	Y
354.896	123.305
351.039	123.278
348.169	123.191
348.169	90.8173
437.988	90.8173
437.988	149.628
437.988	162.817
436.798	162.424
433.719	160.846
430.252	159.615
425.412	157.944
420.493	155.694

415.551	153.74
414.733	153.416
411.942	152.126
407.988	150.7
399.238	145.7
397.238	145.7
388.488	140.7
386.488	140.7
377.738	135.7
375.738	135.7
371.357	133.196
369.733	133.196

### Material Boundary

X	Y
371.357	133.196
373.384	133.203
381.376	133.228
381.503	133.229
381.801	133.234
382.284	133.242
382.481	133.243
382.676	133.245
383.159	133.254
383.636	133.263
383.844	133.265
384.06	133.268
384.54	133.277
384.693	133.28
384.771	133.281
385.082	133.288
385.255	133.291
385.704	133.3
385.996	133.305
386.323	133.31
386.772	133.32
387.165	133.327
387.591	133.337
387.977	133.347
388.468	133.355
388.619	133.358
388.721	133.361
394.003	133.461
394.003	132.9

394.003 122.841

**Material Boundary**

X	Y
394.003	133.461
395.204	135.703
395.406	136.069
395.649	136.366
398.998	137.259
399.071	137.276
399.194	137.473
400.489	139.684
401.366	141.073
405.553	147.093
406.625	148.769
407.607	150.305
407.988	150.7

**Material Boundary**

X	Y
394.003	132.9
416.503	141.014
419.467	142.384
419.97	142.584
425.197	144.65
429.877	146.79
434.218	148.29
437.988	149.628

**Material Boundary**

X	Y
354.896	123.305
353.321	122.387
381.376	122.609
381.503	122.61
381.801	122.614
382.284	122.622
382.481	122.624
382.676	122.626
383.159	122.634



383.636	122.643
383.844	122.645
384.06	122.648
384.54	122.658
384.693	122.661
384.771	122.662
385.082	122.668
385.255	122.671
385.704	122.681
385.996	122.685
386.323	122.691
386.772	122.701
387.165	122.708
387.591	122.717
387.977	122.727
388.468	122.736
388.619	122.739
388.721	122.741
394.003	122.841

### Material Boundary

X	Y
373.384	133.203
376.004	134.7
378.004	134.7
386.754	139.7
388.754	139.7
397.504	144.7
399.504	144.7
406.625	148.769