

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

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

**NUOVA VIABILITÀ TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI  
Galleria naturale Lato Borzoli e Lato Erzelli  
Relazione di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

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

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Emissione	Rocksoil <i>Gomani</i>	25/06/12	Ing.F. Colla <i>[Signature]</i>	27/06/12	E. Pagani <i>[Signature]</i>	29/06/12	Ing. E. Ghislandi

n. Elab.:	File: IG5101ECVCLGNSA00001A00
-----------	-------------------------------



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>CODIV</b> Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5101ECVCLGNSA00001A00</p>	<p>Foglio 3 di 56</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....		6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....		9
3.1 Gallerie naturali.....		9
4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI .....		12
4.1 Metodo delle curve caratteristiche .....		12
4.1.1 Aspetti generali .....		12
4.1.2 Consolidamento del fronte di scavo.....		15
4.2 Calcolo della stabilità dei cunei: UNWEDGE .....		16
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....		19
5.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico.....		21
5.2 Parametri ed ipotesi di calcolo.....		24
6. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI) .....		25
6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo .....		26
6.1.1 Metodo delle Linee Caratteristiche .....		27
6.1.2 Considerazioni conclusive .....		29
7. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO (FASE DI TERAPIA).....		31
7.1 Tipologie di intervento in fase costruttiva.....		31
7.2 Sezioni tipo di avanzamento .....		33
8. INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO .....		34
8.1 Premessa.....		34
8.2 Verifiche con il metodo delle curve caratteristiche.....		35
8.3 Verifiche della chiodatura tramite UNWEDGE .....		37
9. INTERFERENZA SCAVO-EDIFICI – CLASSIFICAZIONE DEL DANNO .....		48
10. CONCLUSIONI .....		54
11. ALLEGATI DI CALCOLO .....		55
11.1 Linee caratteristiche.....		55
11.2 Analisi UNWEDGE .....		56

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5101ECVCLGNSA00001A00

Foglio  
4 di 56

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto del presente elaborato è la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo in naturale delle due gallerie appartenenti alla Nuova Viabilità nelle tratte Lato Borzoli e Lato Erzelli, le scelte progettuali effettuate con conseguente definizione delle sezioni tipo d'avanzamento e la verifica di tali sezioni, con riferimento alle condizioni critiche rappresentative presenti lungo lo sviluppo delle gallerie.

La prima galleria ha una lunghezza di 138.5m, mentre la seconda ha una lunghezza di 809.5m, con coperture massime per le due tratte pari a 75m. La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m. Sono inoltre previste sezioni per le aree di piazzola aventi raggio interno pari a 7.57m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 6 di 56

## 2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

**- Legge 5/11/1971 n. 1086**

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

**- Legge n°64 del 2 febbraio 1974**

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974**

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980**

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

**- Istruzioni C.N.R. 10012-81**

Azioni sulle costruzioni.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/9/1988**

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

**- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989**

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992**

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5101ECVCLGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 56</p>

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996**

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999**

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380**

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

**- Decreto Ministeriale 14/09/2005**

Norme Tecniche per le Costruzioni (ex "Testo Unico" delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 8 di 56

### RACCOMANDAZIONI

**- Eurocodice 1 UNI-EN-1991**

Criteri generali di progettazione strutturale

**- Eurocodice 2 UNI-EN-1992**

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

**- Eurocodice 3 UNI-EN-1993**

Progettazione delle strutture in acciaio

**- Eurocodice 4 UNI-EN-1994**

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

**- Eurocodice 7 UNI-EN-1997**

Progettazione Geotecnica

**- Eurocodice 8 UNI-EN-1998**

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 9 di 56

### 3. MATERIALI IMPIEGATI

#### 3.1 Gallerie naturali

##### Consolidamenti e rivestimenti provvisori

Spritz beton fibrorinforzato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza media su carote <math>h/\phi = 1</math> a 48 ore <math>\geq 13</math> MPa, a 28 gg <math>\geq 25</math> MPa</li> <li>- dosaggio per fibre in acciaio <math>\geq 35</math> kg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Acciaio per centine, piastre e collegamenti:	Fe430
Acciaio per catene	FeB32K
Acciaio per infilaggi:	Fe510
Acciaio per armatura e rete elettrosaldata:	FeB44K controllato
Acciaio bulloni ad ancoraggio puntuale	FeB44K controllato
Drenaggi	Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\phi_{est} &gt; 60</math> mm, sp. 5 mm</li> <li>- Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT</li> <li>- I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi</li> </ul>
Impermeabilizzazione in PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teli sp. 2+/-0.5 mm,</li> <li>- Resistenza a trazione <math>\geq 15</math> MPa</li> <li>- Allungamento a rottura <math>\geq 250\%</math></li> <li>- Resistenza alla lacerazione <math>\geq 100</math>N/mm</li> <li>- Resistenza alla giunzione <math>\geq 10.5</math> MPa</li> <li>- Stabilità al calore = 70°C</li> <li>- Flessibilità a freddo = -30°C</li> <li>- Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento</li> <li>- Comportamento al fuoco B2</li> <li>- Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile</li> </ul>

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 10 di 56
IG5101ECVCLGNSA00001A00		

Infilaggi metallici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro esterno = 88.9 mm</li> <li>- Spessore = 10 mm</li> <li>- Diametro di perforazione = 120-130 mm</li> <li>- Valvolati 1Vlv/m</li> </ul>
Miscela di guaina per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R32.5 - R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx</math> 1.5-2</li> <li>- Bentonite <math>\approx</math> 5- 8 % sul peso di cemento</li> <li>- Densità <math>\approx</math> 1.3 t/m<sup>3</sup></li> <li>- Rendimento volumetrico <math>\geq</math> 95%</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec.</li> </ul>
Miscela di iniezione per infilaggi metallici valvolati ed iniettati	Cemento R42.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapporto a/c <math>\approx</math> 0.4-0.7</li> <li>- Bentonite &lt; 2 %</li> <li>- Additivo fluidificante (Flowcable o simili) <math>\approx</math> 4 % in peso</li> <li>- Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec.</li> <li>- Densità <math>\approx</math> 1.8 t/m<sup>3</sup></li> <li>- Finezza <math>\geq</math> 4500 blaine</li> <li>- Rendimento volumetrico &gt; 95%</li> </ul>

### Rivestimenti definitivi

Acciaio per armatura:	FeB44K controllato
Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4
Calcestruzzo strutturale arco rovescio	C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3
Magrone di pulizia di sottofondo	Rm $\geq$ 15 MPa, Tipo CEM I-V

Per le sezioni non armate la classe di esposizione del calcestruzzo è X0.

### Valori di verifica

Le verifiche strutturali sono condotte mediante il metodo delle tensioni ammissibili; nel seguito si indicano i valori di resistenza di progetto per i vari materiali.

Acciaio Fe 430	$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$
Acciaio tubi Fe 510	$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$
Acciaio FeB 44K	$\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$
Calcestruzzo proiettato $F_{cm} \geq 25 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 25/1.3 = 19.2 \text{ MPa}$
Calcestruzzo strutturale armato $R_{ck} 30 \text{ Mpa}$	$\sigma_{amm} = 9.75 \text{ Mpa}$ $\tau_{c0} = 0.60 \text{ Mpa}$ $\tau_{c1} = 1.80 \text{ Mpa}$

(\*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione  $\sigma_{amm} = 255 \text{ Mpa}$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVCLGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 12 di 56</p>

## 4. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

I metodi di calcolo utilizzati per la verifica delle sezioni tipo delle gallerie naturali sono i seguenti:

- 1) Metodo delle curve caratteristiche;
- 2) Analisi di stabilità dei cunei

Nei paragrafi successivi della presente relazione verranno spiegate le ipotesi principali su cui si basano i metodi sopra elencati.

I software di calcolo utilizzati per la progettazione della galleria oggetto della presente relazione sono i seguenti:

- **GV4-rev1/2003**: “Metodo convergenza-confinamento e similari” – Sial.Tec-Engineering-Bergamo
- **UNWEDGE**: edito dalla Rock Engineering Group dell’Università di Toronto

### 4.1 Metodo delle curve caratteristiche

#### 4.1.1 Aspetti generali

Le curve caratteristiche consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell’ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

Per curve caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia “p” applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento della roccia prodotto dall’avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale “u” crescente in funzione delle caratteristiche dell’ammasso.

Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell’ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due curve caratteristiche principali:

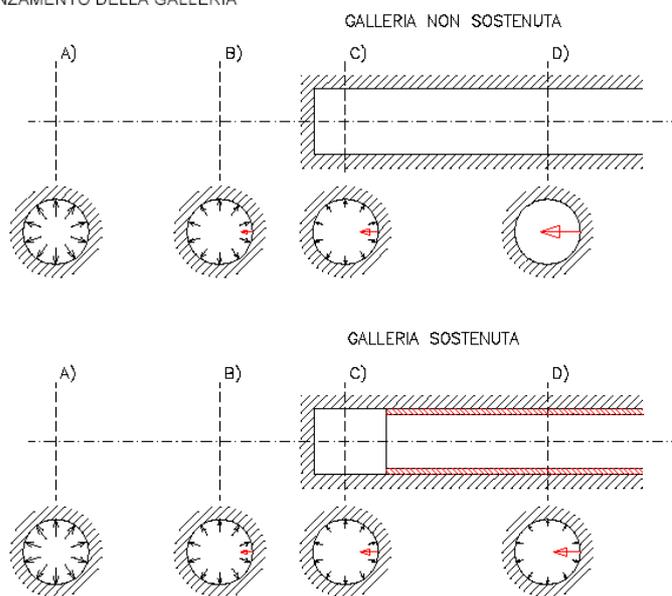
- quella valida presso il fronte di scavo, detta curva caratteristica del fronte, che tiene conto dell’effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante

considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo,

- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta curva caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la curva caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

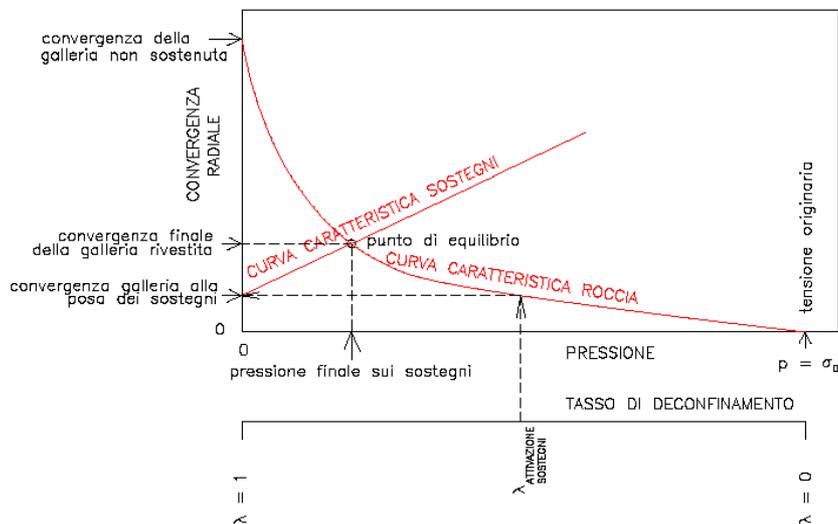
FIGURA 11. PROGRESSIVO DECONFINAMENTO DEL BORDO DI SCAVO PER SIMULARE L'AVANZAMENTO DELLA GALLERIA



Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento  $> 0$  che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della curva caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo e al tipo di interventi previsti in avanzamento.

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

FIGURA 12. CURVE CARATTERISTICHE



La **curva caratteristica del rivestimento**, o curva di confinamento, è individuata dalla rigidità della struttura  $K_{st}$  e dallo spostamento radiale  $U_{d0}$  che si è già generato nell'intorno del cavo prima dell'installazione del supporto, messo in opera a distanza  $d_0$  dal fronte di avanzamento della galleria.

Il valore della convergenza alla distanza di posa in opera del rivestimento,  $u_{d0}$ , viene determinato simulando l'effetto di deconfinamento dovuto allo scavo e all'allontanamento del fronte per mezzo di una pressione fittizia applicata alla parete della galleria. Tale pressione, inizialmente pari allo stato di sforzo originario, viene ridotta fino ad un valore  $P^*$  definito da un tasso di rilascio  $\lambda$ :

$$P^* = (1 - \lambda) \cdot \sigma_0$$

In tutti i casi è necessario valutare lo spostamento al fronte "uf" per risalire allo spostamento radiale alla distanza  $d_0$ .

Tracciando la **curva caratteristica del fronte**, non solo si ricava il valore "uf", tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo la classificazione A.De.Co.Rs già presentata nei paragrafi precedenti.

Noto lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento  $\lambda$ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di confinamento risulta a questo punto completamente definita.

La condizione di equilibrio, individuata dallo spostamento radiale  $u_{re}$  o dalla pressione radiale  $P = P_e$ , è determinata dall'intersezione della curva caratteristica del terreno e di quella del rivestimento. Tale

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 15 di 56</span>

condizione risulta verificata se la pressione di equilibrio è inferiore alla resistenza massima propria del rivestimento.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni di scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica dell'ammasso. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

Infatti quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione mediante utensili quali la sega dentata del pretaglio, il ripper, ecc. si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

#### 4.1.2 Consolidamento del fronte di scavo

Nel caso di presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting ecc.) posti in opera in avanzamento, il loro effetto stabilizzante può utilmente essere tenuto in conto incrementando la resistenza coesiva dell'ammasso.

Infatti la chiodatura esercita un'azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento  $\sigma_3^{VTR}$  fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_3^{VTR_A} = \frac{\tau_A \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR_B} = \frac{\sigma_T \cdot A_T}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \min(\sigma_3^{VTR_A}, \sigma_3^{VTR_B})$$

dove:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 16 di 56</span>

$\tau_a$  = tensione di aderenza ammasso-fondazione

$L_A$  = semi-lunghezza dell'elemento di rinforzo (si assume che mezzo elemento costituisca la fondazione)

$2p_A$  = perimetro della sezione reagente a sfilamento

$\sigma_t$  = resistenza a trazione dell'elemento di rinforzo

$A_i$  = area di influenza di un elemento strutturale

$A_t$  = sezione dell'elemento resistente a trazione

L'effetto di  $\sigma_3^{VTR}$  può essere considerato come incremento di coesione dell'ammasso:

$$\Delta\sigma_C^{Fronte} = \frac{\sigma_3^{VTR}}{2} * \sqrt{K_p}$$

Se il fronte di scavo è rinforzato con trattamenti colonnari in jet-grouting, allora i parametri di coesione sono migliorati specificando un incremento della coesione di picco pari alla differenza tra la coesione dell'ammasso non trattato e quella dell'ammasso trattato; quest'ultima è valutata come media pesata della coesione originaria del terreno e di quella del trattamento:

$$\Delta c = c_{ammasso\ trattato} - c_{ammasso} = \frac{c_{jet} \cdot A_{jet} + c_{ammasso} \cdot A_{ammasso}}{A_{tot}} - c_{ammasso}$$

dove:

$c_{jet}$  = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting

$c_{ammasso}$  = coesione dell'ammasso senza trattamenti

$A_{jet}$ ,  $A_{ammasso}$ ,  $A_{tot}$  = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

## 4.2 Calcolo della stabilità dei cunei: UNWEDGE

E' stata eseguita la valutazione della stabilità dei cunei di roccia che potrebbero formarsi intorno alla sagoma della galleria, prodotti dall'intersezione della stessa con l'ammasso roccioso ed i relativi piani di discontinuità principali.

L'analisi è stata eseguita con il programma di calcolo UNWEDGE edito dal Rock Engineering Group dell'Università di Toronto, che permette:

- l'identificazione e la visualizzazione dei cunei rocciosi formati a seguito dello scavo
- la determinazione tridimensionale delle geometrie dei cunei e la valutazione del coefficiente di sicurezza in base alle caratteristiche geomeccaniche dei giunti, inserite come dati di input.

In questo modo è possibile determinare tridimensionalmente le geometrie dei vari blocchi e valutarne il fattore di sicurezza considerando sia le caratteristiche geomeccaniche dei giunti che l'effetto prodotto dall'intervento di chiodatura.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVCLGNSA00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 17 di 56</p>

I dati utilizzati per le analisi provengono da dei rilievi geostrutturali di superficie che permettono di eseguire, conformemente agli obiettivi del presente studio, verifiche strutturali sui cunei potenzialmente instabili.

L'analisi è stata eseguita nelle seguenti ipotesi:

- ubiquarietà delle discontinuità;
- planarità e persistenza delle discontinuità;
- esame della stabilità di tetraedri rocciosi isolati dai tre sistemi di discontinuità considerati e sottoposti alla sola azione della gravità;
- analisi all'equilibrio limite dei tetraedri con parametri di resistenza al taglio secondo la teoria di Barton

Il calcolo eseguito ha le seguenti caratteristiche:

- vengono individuate le geometrie e dei volumi principali di distacco dei tetraedri rocciosi all'interno del cavo;
- non viene preso in considerazione il regime tensionale al contorno della cavità; poiché questo esercita un'azione stabilizzante sui solidi particolarmente estesi in profondità rispetto alle pareti del cavo, attraverso azioni normali e conseguenti azioni tangenziali sulle facce del cuneo, tali solidi non sono stati considerati suscettibili a movimento;
- non sono prese in considerazione le pressioni idrauliche;
- viene individuata l'estensione della fascia al contorno del cavo interessata dai potenziali crolli gravitativi (questa analisi risulta particolarmente importante per il dimensionamento della lunghezza degli interventi di consolidamento).

Il programma di calcolo utilizzato individua tutti i cunei di roccia potenzialmente instabili per caduta e scivolamento e rotazione lungo un piano o due piani di discontinuità;

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche eseguite per le condizioni che sono state individuate come soggette a potenziali distacchi.

I risultati ottenuti forniscono il coefficiente di sicurezza ed i parametri geometrici dei cunei di roccia maggiormente critici.

I dati caratteristici relativi ai singoli tetraedri instabili sono:

- peso (t)
- altezza del tetraedro inteso come solido pseudopiramidale, con base coincidente con l'area di intersezione con la superficie della cavità (m)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 18 di 56</span>

Tra i parametri dimensionali riportati, l'altezza del cuneo, è indubbiamente quello maggiormente significativo ai fini di una valutazione, in prima approssimazione, dei volumi di roccia instabile ed il conseguente dimensionamento geometrico dell'intervento di bullonatura.

In assenza di prove dirette di taglio su giunto, ed avendo a disposizione, per ogni famiglia di discontinuità, i dati del coefficiente di rugosità del giunto (JRC) e del coefficiente di resistenza del giunto (JCS), si è ritenuto più opportuno utilizzare, per l'analisi all'equilibrio limite dei tetraedri, l'equazione di resistenza al taglio su giunto proposta da Barton.

$$\tau = \sigma_n \tan \left( \phi_b + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right)$$

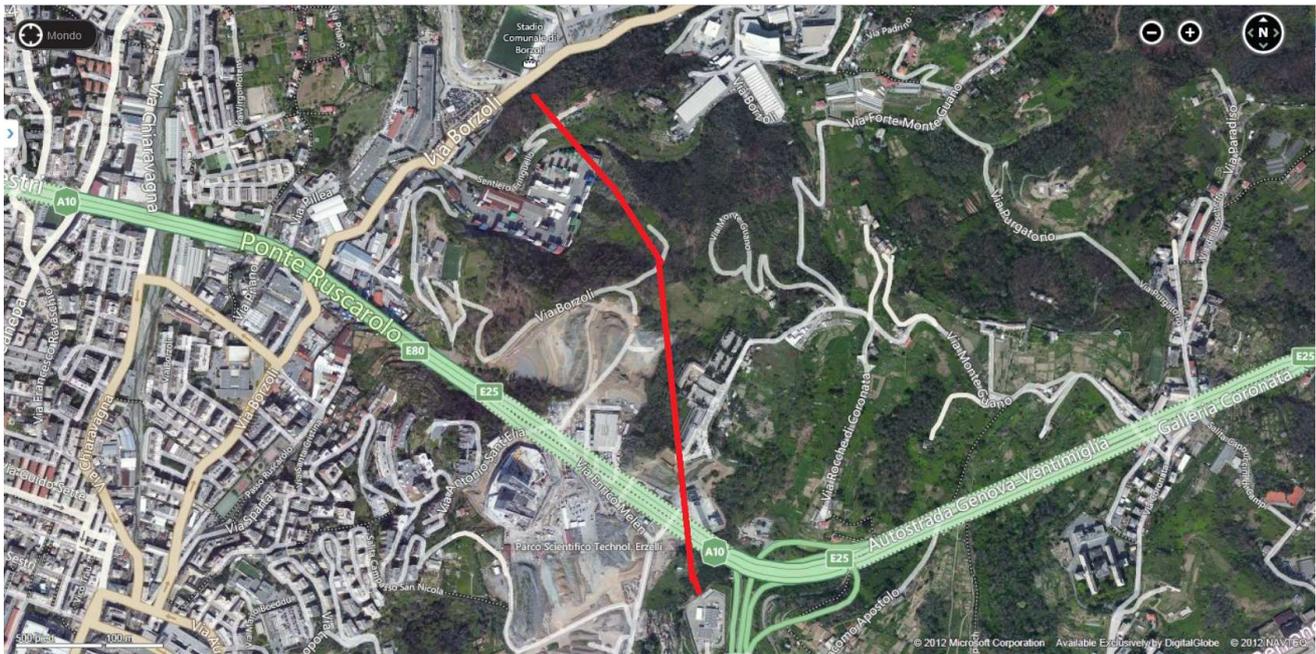
**Equazione di Barton**

Dove con  $\phi_b$  si è indicato l'angolo di attrito di base.

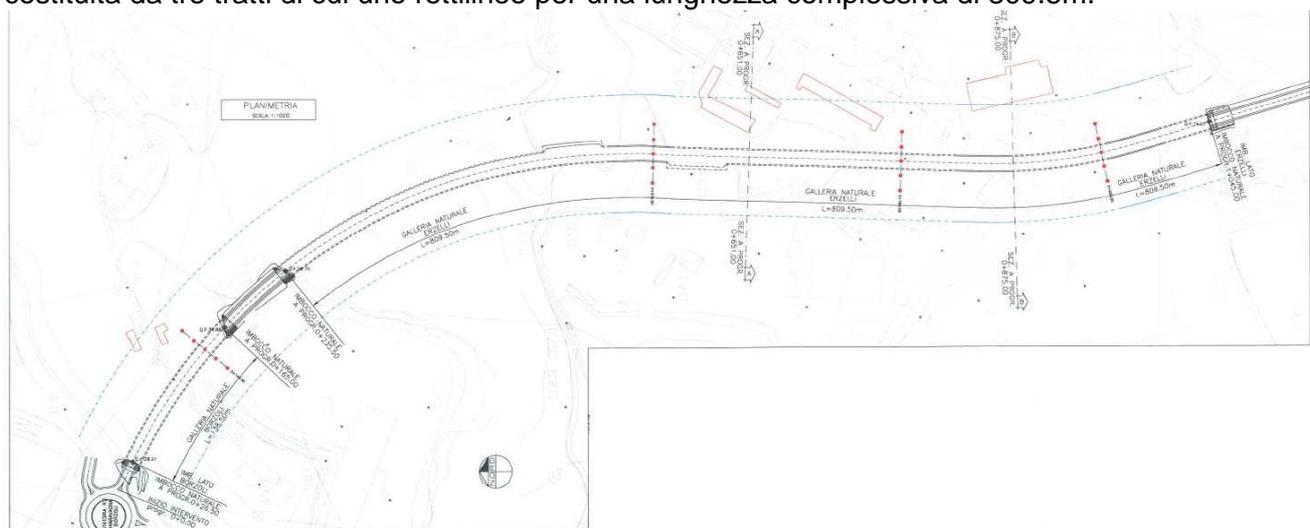
Resta comunque inteso che le indicazioni sopra riportate rappresentano un'analisi di stabilità geomeccanica di tipo strutturale e geometrico.

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

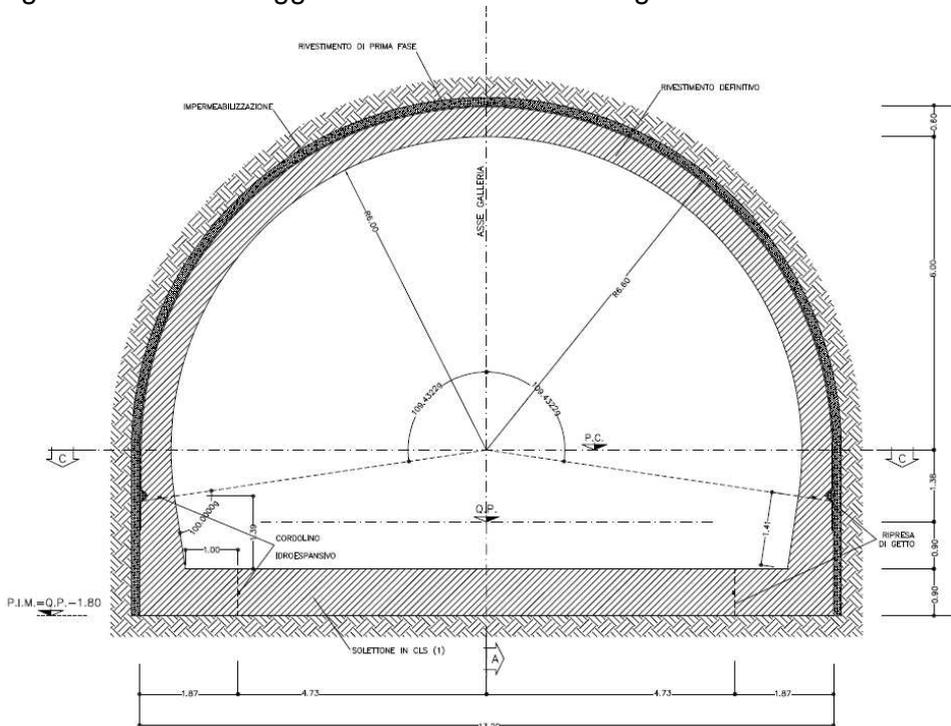
L'opera rientra nella realizzazione di un collegamento tra la viabilità presente in località Borzoli, nei pressi del campo sportivo comunale, con quella della località Erzelli, dopo aver attraversato la galleria presente dell'autostrada A10.



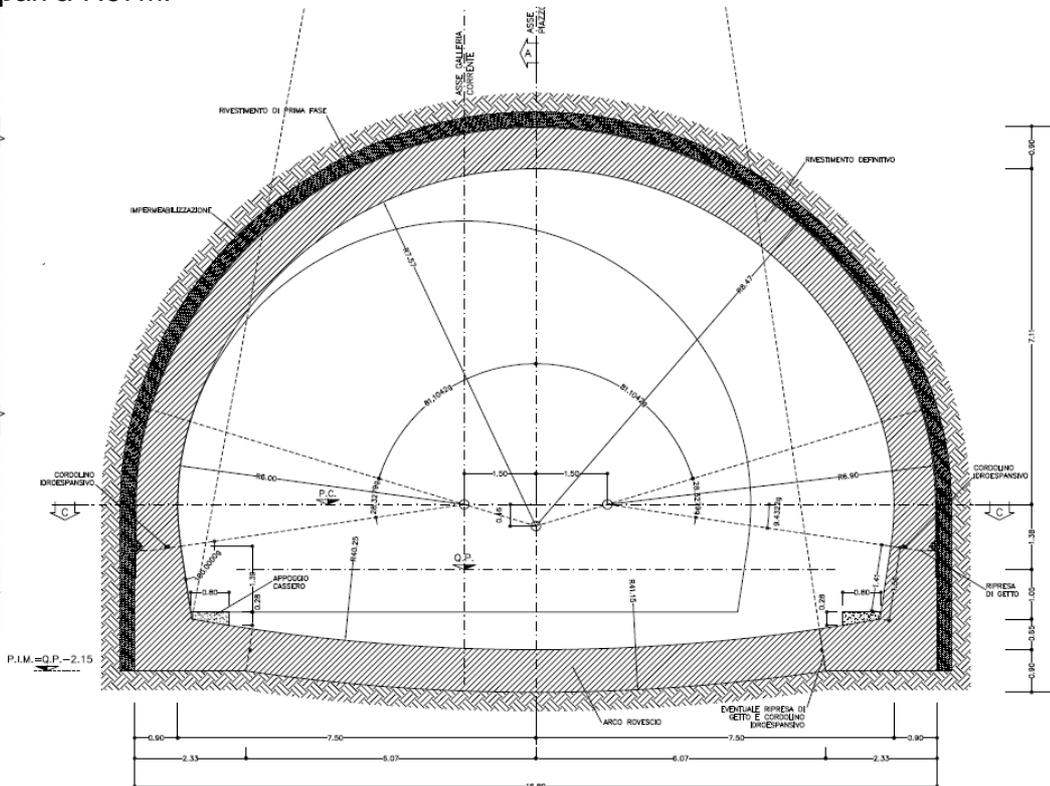
In particolare le opere oggetto della seguente relazione sono le due gallerie naturali Lato Borzoli e Lato Erzelli: la prima ha una lunghezza di 138.5 m e si sviluppa in unica curva, mentre la seconda è costituita da tre tratti di cui uno rettilineo per una lunghezza complessiva di 809.5m.



La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m.



Esistono poi due area di piazzola aventi la sezione sotto riportata con un raggio interno in calotta pari a 7.57m.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 21 di 56</span>

## 5.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame rientra dal punto di vista geologico nella cosiddetta "Zona Sestri-Voltaggio" che comprende alcune unità strutturali mostranti tra loro complessi rapporti tettonici, limitate ad ovest dalle unità di metaofioliti del "Gruppo di Voltri" e ad est dall'Unità dei Flysch ad Helmitoidi del M.Antola.

Dal punto di vista delle Unità costituenti l'area in esame sono state prese a riferimento quelle riportate nelle due carte geologiche che, dal punto di vista bibliografico, sono ritenute ad oggi quelle più rappresentative della Zona sopra citata:

- "Carta geologica della Val Polcevera" (M.Marini – 1987)
- "Carta geologica della zona Sestri-Voltaggio" (L.Cortesogno, D.Haccard – 1984).

Più in particolare, considerata la buona affidabilità riscontrata con il rilevamento di superficie della carta di Marini, sono state assunte le suddivisioni di unità e formazionali di questa carta riportando comunque, come riferimento bibliografico, anche i corrispondenti nomi delle unità tettoniche della carta di Cortesogno-Haccard.

Tale Zona è quindi costituita dalle tre seguenti unità tettoniche sovrapposte, distinguibili per pertinenza paleogeografica e caratteri metamorfici:

- **Unità Gazzo-Isoverde** di M.Marini 1987 (Unità Triassico-Liassica di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età triassico superiore-liassica, tipica successione di margine continentale in annegamento prevalentemente carbonatica, ad affinità prepiemontese. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Dolomie del M.te Gazzo:** dolomie e calcari dolomitici grigi, da cristallini a saccaroidi, ben stratificati; orizzonti di brecce intraclastiche e rari strati marnosi verso l'alto (Norico-Carnico Sup.?)
- **Depositi gessosi, brecce evaporitiche, carnirole:** lenti di gesso compaiono associate alle dolomie triassiche sia in posizione molto incerta (Isoverde) sia al passaggio tra formazioni triassiche e quelle retico-liassiche (Retico-Norico Sup?)
- **Calcari di Gallaneto:** calcari bioclastici, calcari marnosi neri e marne scistose; calcari puri e dolomie verso l'alto (Hettangiano/Retico-Norico sup?)
- **Calcari di Lencisa:** calcari cristallini grigi con liste e noduli di selce (Sinemuriano)
- **Metargilliti nere** con intercalazioni di calcari cristallini straterellati (Giurassico medio-superiore)

- **Unità Cravasco-Voltaggio** di M.Marini 1987 e L.Cortesogno-D.Haccard 1984, di età giurassica superiore-cretacea inferiore, costituita da una successione ofiolitica e sopraofiolitica completa ad affinità liguride interna con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 22 di 56

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Metagabbri** frequentemente laminati (Giurassico sup.-medio?)
- **Metabasalti a cuscini** spesso scistosi (Giurassico sup.medio?)
- **Diaspri**: scisti silicei e radiolariti scistose fortemente ricristallizzate (Giurassico sup.)
- **Calcari di Voltaggio**: calcari cristallini foliati spesso a grana grossa in strati decimetrici (Neocomiano-Titoniano sup?)
- **Metargilliti filladiche** nere con sporadiche intercalazioni di calcari cristallini

- **Unità Timone-Bric Teiolo** di M.Marini 1987 (Unità di Monte Figogna di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età giurassica superiore-cretacea inferiore, ofiolitica ma priva di termini gabbri con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Oficalciti**: brecce serpentinitiche di varia pezzatura con cemento calcitico, colorazione d'insieme verde (Giurassico medio-sup?)
- **Basalti a cuscini, basalti massicci e brecce basaltiche, metabasalti talora scistosi e dicchi basaltici e dioritici entro serpentiniti** (Giurassico sup.-medio?)
- **Diaspri**: scisti argillosi rossi e verdi (Giurassico sup.)
- **Calcari di Erselli**: calcari microcristallini, spesso budinati, talora foliati con giunti pelitici (Neocomiano-Titoniano?)
- **Argille a Palombini del Passo della Bocchetta**: metargilliti filladiche con intercalazioni di strati isolati di calcari microcristallini per lo più scistosi (Cretaceo inferiore)
- **Unità della Val Polcevera** di M.Marini 1987 (Flysch di Busalla di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età cretacea superiore, costituita da due elementi strutturali addossati (*Elemento di Mignanego* e *Elemento di Ronco*), ciascuno composto da una porzione inferiore a dominante emipelagitica e da una porzione superiore a dominante torbiditica (marnoso-calcarenea l'uno e siltoso-arenacea l'altro).

Nell'area in esame a copertura delle formazioni di basamento prima elencate sono presenti i sedimenti recenti ricollegabili al Pliocene Ligure ed al Quaternario (Alluvioni del Torrente Ruscarolo, coperture di versante, riporti antropici).

Il **Pliocene Ligure** è rappresentato in zona dal *Lembo di Borzoli* (Pliocene medio?-inferiore) costituito da due facies tipiche:

- **Argille di Ortovero**: argille marnose e marne grigio azzurre più o meno siltose con stratificazione poco evidente
- **Conglomerati e brecce basali**: i conglomerati possono intercalarsi localmente alle argille ma in genere risultano basali con spessori da pochi decimetri a non più di 10-15 m; si associano spesso a depositi grossolani molto immaturi riferibili ad accumuli di frana.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00
	Foglio 23 di 56

## TETTONICA

Le unità sopra elencate, costituenti la Zona Sestri-Voltaggio, mostrano tra loro complessi rapporti tettonici e risultano limitate ad ovest dalle unità metaofiolitiche del Gruppo di Voltri, su cui sono sovrascorse, e a est dall'Unità del Flysch dell'Antola, sotto cui immergono. Ne deriva quindi una struttura a falde sovrapposte la cui evoluzione tettogenetica è stata riscontrata polifasica e sincrona.

Più in particolare la complessa strutturazione tettonica della Zona Sestri-Voltaggio è dovuta alla sovrapposizione di tre fasi plicative sviluppate, sia pur a diverse condizioni metamorfiche, in tutte le unità.

Alle fasi di corrugamento alpino è seguito, nel Pliocene-Quaternario, un'attività neotettonica di natura fragile in ambiente distensivo, correlata alla formazione e sviluppo di sistemi di faglie probabilmente già impostati con le fasi di piegamento alpino-appenninico.

Tali sistemi di faglie hanno smembrato l'edificio alpino secondo blocchi in movimento relativo tra loro con fenomeni importanti di basculamento; questi eventi hanno condizionato e guidato i fenomeni geologici del ponente ligure, dalla trasgressione e sedimentazioni plioceniche fino al raggiungimento dell'assetto strutturale odierno dal quale è derivato la posizione della costa e del reticolo idrografico più recente.

Per la zona in esame, caratterizzata dalla presenza del Lembo pliocenico di Borzoli, sono stati riconosciuti sistemi di faglie in direzione circa E-W che hanno generato le depressioni di origine tettonica (graben) entro le quali si sono sedimentati i terreni pliocenici stessi.

## GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il tratto di strada da realizzare attraversa un contesto collinare sostanzialmente modificato dall'intervento dell'uomo.

Infatti, a seguito della coltivazione di alcune cave in basalti, la parte alta del rilievo è stata rimodellata con formazione di estesi piazzali sub-pianeggianti ad oggi adibiti a deposito containers o occupati da insediamenti di baracche e/o strutture più o meno fatiscenti.

Sempre probabilmente nell'ambito della coltivazione, è stato accumulato e spianato su questi piazzali il materiale di risulta dell'attività di cava che ad oggi forma potenti riporti sia nelle aree soprastanti le gallerie in progetto sia nelle aree a monte e all'interno del nuovo raccordo studiato.

Come aspetti geomorfologici caratteristici della zona rilevata, si evidenzia quanto segue (vedi "Carta geologica-geomorfologica"):

- i versanti in basalto sono in generale da acclivi a molto acclivi e risultano caratterizzati da roccia affiorante o sub-affiorante in uno stato di conservazione
- medio-buono con situazioni locali più scadenti a causa della elevata fratturazione; nei settori di faglia riconosciuti si presentano con aspetto brecciato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 24 di 56</span>

- il versante in Calcari di Erselli sul lato svincolo è invece caratterizzato da acclività media e dalla presenza di coperture detritiche eluvio-colluviali, la natura di tale copertura è sostanzialmente limoso-argillosa con scaglie calcaree e marnose
- infine, si segnala che, nella situazione descritta di materiali tettonizzati ed in presenza di circolazioni d'acqua importanti, i Calcari di Erselli nella facies più laminata e gli scisti diasprigni hanno subito, nel tempo geologico, processi di alterazione spinta sino in profondità.

Per la caratterizzazione dei materiali sono stati presi a riferimento dati relativi a esperienze pregresse nella stessa formazione e i dati delle prove di laboratorio. L'analisi di dettaglio dei dati ha fornito un range di parametri analogo rispetto a quanto previsto nel P.D.

Nella tabella seguente, per ciascuna formazione affiorante nell'area, sono riportati i range delle caratteristiche fisiche e dei parametri di resistenza e deformabilità.

#### PARAMETRI PE GALLERIA

LITOLOGIA	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	c' (Mpa)	$\phi$	E (Gpa)	v
Basalti - RMR 55 -70	27-28	0.8-2.0	34-40	7-20	0.25
Basalti tettonizzati - RMR 40 - 45	24-26	0.4-0.6	30-35	2-5	0.3

## 5.2 Parametri ed ipotesi di calcolo

In virtù dei dati riportati nei precedenti paragrafi, si è deciso di suddividere ai fini del calcolo in due diversi gruppi i basalti in base al grado di fratturazione

- BASALTI RMR 55-70 – Caratterizzato dai parametri geomeccanici minimi del range di variabilità previsto per la formazione geologica nel caso non siano presenti fenomeni di tettonizzazione.
- BASALTI TETTONIZZATI RMR 40-45 – Si sono assunti i parametri minimi del range di variabilità nel caso in cui i basalti risultino intensamente fratturati.

Unicamente per quanto riguarda i pesi specifici dei basalti, per entrambi i gruppi considerati, si è cautelativamente assunto il valore massimo del range di variabilità.

#### PARAMETRI CALCOLO PE GALLERIA

LITOLOGIA	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	c' (Mpa)	$\phi$ (°)	c <sub>r</sub> (Mpa)	$\phi_r$ (°)	E (Gpa)	v
Basalti - RMR 55 -70	28	0.8	34	0.50	24	7	0.25
Basalti tettonizzati - RMR 40 - 45	26	0.4	30	0.32	24	2	0.3

L'altezza di falda non è stata considerata nelle analisi a causa della mancanza di dati piezometrici. Come evidenziato in seguito gli stati tensionali sui rivestimenti definitivi risultano comunque limitati (confr.tab pag.35) ed in grado di assorbire eventuali battenti idraulici pluridecametrici.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00
	Foglio 25 di 56

## 6. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI)

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale redistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento.

Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La previsione delle modalità di avanzamento in sotterraneo è stata principalmente condotta secondo l'approccio del "Metodo per l'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)". Sulla base dei dati raccolti in fase di studio geologico e di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi da attraversare, sono state effettuate le previsioni di comportamento tenso-deformativo della galleria in assenza di interventi, ed in particolare modo la previsione sul "comportamento deformativo del fronte di scavo", il quale riveste notevole importanza nella definizione delle condizioni di stabilità, a breve e lungo termine, e degli interventi più idonei per garantirle. Il comportamento del fronte è principalmente condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- il comportamento del materiale nel breve e lungo termine: rigonfiamento, squeezing, fluage e rilasci tensionali;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento e la tipologia dello scavo.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: "stabile", "stabile a breve termine" e "instabile", come di seguito brevemente illustrato.

### Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 56</span>

comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo prevalentemente in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento. Saranno sufficienti, nel breve termine, interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

### **Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)**

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna. Questa decompressione deve essere opportunamente regimata, nel breve termine, mediante adeguati interventi di preconsolidamento al fronte (e talora al contorno del cavo), in grado di contenere l'ammasso e condurlo verso condizioni di stabilità; diversamente lo stato tenso-deformativo può evolvere verso condizioni di instabilità del cavo. Il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

### **Gallerie a fronte instabile (CASO C)**

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati, più rilevanti e si manifestano prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine e, con l'aggiunta del rivestimento definitivo, anche nel lungo termine.

## **6.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo**

Si vuole adesso determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo per le suddivisioni operate sui litotipi precedentemente esaminati, in funzione anche dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato della galleria in oggetto.

Per ogni singolo gruppo sarà possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in esame. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, ad una stessa classe di comportamento potranno corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, vengono sviluppate le previsioni sul comportamento deformativo del fronte e del cavo in assenza di interventi, al fine di giungere all'individuazione di tratte a comportamento omogeneo, suddivise nelle tre categorie di comportamento precedentemente descritte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 56</span>

Gli strumenti numerici adottati per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo sono stati:

- Metodo delle Linee Caratteristiche.
- Analisi UNWEDGE

### 6.1.1 Metodo delle Linee Caratteristiche

Le "linee caratteristiche" di una cavità sono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul contorno della galleria dalle opere di stabilizzazione, agli spostamenti radiali sul contorno stesso (convergenze). Per ogni galleria si possono determinare due linee caratteristiche principali:

- La linea caratteristica del fronte, valida presso il fronte di scavo, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso, e che permette di risalire all'entità della convergenza già subita dalla galleria in corrispondenza del fronte di scavo;
- La linea caratteristica del cavo, valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte per la quale lo stato tensionale possa considerarsi piano.

Il Metodo delle Linee Caratteristiche è valido nei casi in cui si ritenga lecito ipotizzare che l'andamento delle sollecitazioni indotte dallo scavo, sotto l'azione delle spinte di montagna, sia di tipo idrostatico; ciò si verifica generalmente per coperture  $H > 3D$  ( $D$ =diametro di scavo della galleria); valori di copertura inferiori conducono a un risultato poco rappresentativo dell'effettivo comportamento dell'ammasso roccioso.

Le analisi sono state condotte per tutte le formazioni incontrate lungo il tracciato della galleria e sono state effettuate unicamente alle massime coperture. Analisi a coperture inferiori ai 3 diametri di scavo come sopra spiegato avrebbero fornito risultati numerici poco rappresentativi.

Sulla base delle elaborazioni effettuate, è possibile esprimere delle considerazioni sul comportamento dell'ammasso allo scavo, con particolare riguardo alla prevedibile entità dei fenomeni deformativi del fronte e del cavo e all'estensione dell'eventuale fascia di materiale al contorno della cavità in cui il livello tensionale supera il limite elastico.

In generale, ove le linee caratteristiche non intersecano per un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di contenimento. Si possono verificare altresì casi in cui il metodo porta a prevedere deformazioni radiali finite tali da non essere ritenute compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera, oppure un'estensione della fascia d'ammasso a comportamento plastico non accettabile. Dall'esame dell'andamento della curva caratteristica è

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5101ECVCLGNSA00001A00		Foglio 28 di 56

possibile quindi definire il comportamento del fronte di scavo come “stabile”, “stabile a breve termine”, o “instabile”.

Si sono costruite le linee caratteristiche relative alle situazioni a diverso comportamento geomeccanico. Il loro andamento, calcolato sulla base dei parametri geomeccanici caratteristici dei materiali attraversati, è riportato nelle figure allegare alla presente relazione.

La definizione delle categorie di comportamento secondo il Metodo ADECO viene effettuata procedendo alla valutazione comparata e sistematica di tre fattori:

- Entità del fenomeno deformativo al fronte e a scavo avvenuto;
- Entità della fascia plasticizzata al fronte e a scavo avvenuto;
- Andamento della linea caratteristica (forma e ampiezza del tratto elastico e plastico).

In particolare, in questo caso, sulla base delle caratteristiche dei materiali si è considerato in linea generale per la definizione della classe di comportamento quanto di seguito:

- Se la convergenza prevista al fronte è inferiore a 0.5-0.6% del raggio il comportamento è di classe A, se la convergenza prevista al fronte è inferiore a 1.0-1.5% del raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- Se la fascia plastica risulta non rilevante (inferiore a 0.5 volte il raggio) il comportamento è di classe A, se la fascia plastica è inferiore a 1-2 volte il raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- Si valuta la forma della linea caratteristica del cavo; in classe A questa è quasi interamente lineare (tratto elastico); in classe B compare una parte curva (tratto plastico) ma non rilevante; in classe C il tratto curvo è rilevante e generalmente, a pressione nulla, con convergenze del cavo non compatibili con lo scavo.

Nella tabella seguente sono riassunti i principali risultati forniti dalle elaborazioni numeriche condotte. Si noti come si sia effettuata un’analisi a 65 m utilizzando un raggio medio di 8.15m: tale linea caratteristica è riferita alle tratte nelle quali verranno realizzate le piazzole.

PARAMETRI DI CALCOLO LC - FASE DI DIAGNOSI									
Analisi	Formazione geologica	Copertura (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (MPa)	$\phi_p$	$c_r$ (MPa)	$\phi_r$	E (GPa)	$\nu$
Bas_RMR 55-70_75m	Basalti	75	28	0.8	34	0.5	24	7	0.25
Bas_RMR 40-45_75m	Basalti tettonizzati	75	26	0.4	30	0.32	24	2	0.3
Bas_RMR 55-70_65m	Basalti	65	28	0.8	34	0.5	24	7	0.25

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI DIAGNOSI											
Analisi	Copertura (m)	H/D	$R_m$ (m)	$U_{rad}$ (m)	$R_{pl}$ (m)	$R_p/R_m$	$U_{fronte}$ (m)	$U_{fronte}/R_m$	$R_{pl\ fronte}$ (m)	$R_{pl\ fronte}/R_m$	CAT.FRONTE
Bas_RMR 55-70_75m	75	5.86	6.4	0.003	7.459	1.17	0.001	0.01	6.472	1.01	A
Bas_RMR 40-45_75m	75	5.77	6.5	0.016	10.279	1.58	0.005	0.07	7.736	1.19	A/B
Bas_RMR 55-70_65m	65	3.99	8.15	0.003	8.874	1.09	0.001	0.01	8.150	1.00	A

**Tabella 1 – Fase di diagnosi: metodo delle linee caratteristiche**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 29 di 56</span>

Dove:

- $R_m$ = raggio (nelle analisi svolte con le linee caratteristiche si è utilizzato un raggio medio tra il raggio di scavo in calotta ed il raggio equivalente all'area di scavo)
- $\gamma$ =peso specifico di volume
- $c_p$ =coesione di picco
- $c_r$ =coesione residua
- $\phi_p$ =angolo d'attrito di picco
- $\phi_r$ =angolo d'attrito residuo
- $E$  =modulo elastico
- $\nu$ =coefficiente di Poisson
- $U_{rad}$ =spostamento radiale del cavo
- $U_{fronte}$ =spostamento al fronte
- $R_{pl}$ =raggio plastico del cavo
- $R_{pl\ fronte}$ =raggio plastico al fronte
- $H/D$ =Rapporto tra copertura e diametro di scavo

In particolare, secondo le formulazioni di Lombardi (1985), il valore di  $U_{fronte}$  indica la convergenza del cavo presso il fronte (ovvero la preconvergenza del nucleo).

### 6.1.2 Considerazioni conclusive

Le analisi condotte, con riferimento ai risultati ottenuti dalle Linee Caratteristiche hanno permesso di assegnare a ciascun contesto geomeccanico uno dei tre comportamenti del fronte allo scavo menzionati nei paragrafi precedenti; verranno nel seguito discusse le principali formazioni geomeccaniche analizzate.

#### BASALTI E BASALTI TETTONIZZATI

Le analisi condotte, con riferimento alla linee caratteristiche del fronte in assenza di interventi hanno evidenziato un comportamento allo scavo del tipo "stabile" (categoria A) nel caso si utilizzino i parametri dei basalti, mentre di tipo intermedio tra stabile e stabile a breve termine (categoria A/B) considerando le situazioni tettonizzate.

Nel primo caso, infatti, date le buone caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso, le Linee caratteristiche evidenziano delle convergenze del fronte molto limitate (nell'ordine di 2 mm) e una convergenza del cavo inferiore al centimetro; i fenomeni di plasticizzazione attorno allo scavo sono pressochè nulli e osservando la forma della linea caratteristica stessa si nota come questa sia quasi interamente costituita da un unico tratto elastico. Non risulta quindi necessario prevedere interventi di consolidamento del fronte volti ad incrementare il valore di resistenza del nucleo, mentre si

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVCLGNSA00001A00</p>	<p>Foglio 30 di 56</p>

rendono necessari solamente interventi di confinamento del cavo, quali centine metalliche o bulloni, inglobati in uno strato di spritz-beton: verranno adottate sezioni tipo A o sezione tipo B0 (quest'ultima sezione può essere considerata al limite tra la categoria A e B, prevedendo, quali interventi, unicamente centine metalliche e spritz-beton).

Nel caso del contesto tettonizzato (RMR 40-45) le misure di convergenza radiale sono limitate ma raggiungono comunque i 3cm per quanto riguarda il cavo mentre risultano pari a circa un centimetro al fronte. Il valore del rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio di scavo è superiore all'unità ed è presente un tratto plastico di discreta entità nel grafico delle linee caratteristiche del cavo. Considerando le misure di convergenza radiale ed i fenomeni di plasticizzazione indicati dalle analisi il comportamento nel caso dei basalti tettonizzati presenta caratteristiche intermedie tra quelle relative al tipo A e al tipo B. Anche in questo caso si prevedono quindi interventi di confinamento del cavo, costituiti unicamente da centine metalliche e spritz-beton, ritenendo l'impiego di bulloni non efficace nella stabilizzazione della cavità; in considerazione dell'elevato grado di frammentazione dell'ammasso in aggiunta si prevede la posa in opera di interventi di presostegno in calotta eseguiti in avanzamento, per cui verrà impiegata la sezione tipo B0v.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 31 di 56</span>

## 7. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO (FASE DI TERAPIA)

Sulla base delle analisi condotte nella fase di diagnosi, si presentano gli aspetti che hanno guidato la definizione degli interventi, allo scopo di garantire condizioni di stabilità del fronte e del cavo. Per la descrizione delle sezioni tipo di avanzamento, i campi di impiego e le relative percentuali di applicazione previste lungo il tracciato si rimanda alla Relazione Tecnica e alle Linee Guida.

### 7.1 Tipologie di intervento in fase costruttiva

Nei capitoli precedenti sono stati definiti tre tipi di comportamento d'ammasso allo scavo che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte.

#### **CASO A) fronte stabile:**

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. Il probabile comportamento allo scavo tipo A, "a fronte stabile", consente di prevedere, quali interventi di prima fase, interventi di solo contenimento del cavo, quale la realizzazione di uno strato di spritz-beton a seguito della messa in opera di bulloni radiali o centine, in funzione del grado di discontinuità dell'ammasso. I carichi gravanti sulla struttura in questi contesti geomeccanici sono prevalentemente di tipo gravitativo, funzione della frequenza dei giunti e delle fratture ed in particolare modo della resistenza al taglio delle superfici di discontinuità. Il rilascio di tali solidi di carico, in categorie di comportamento tipo A, non avviene generalmente all'apertura del cavo, bensì in un secondo tempo quale conseguenza del richiamo di umidità al contorno dello scavo, della circolazione d'acqua nelle fratture, dall'alterazione della roccia a contatto con gli agenti atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo con esplosivo.

E' pertanto opportuno stabilizzare i suddetti cunei mediante la messa in opera di bulloni metallici radiali di tipo passivo, ad ancoraggio puntuale in presenza di modesti gradi di separazione d'ammasso, o ad ancoraggio continuo per gradi di separazione maggiori, e realizzare un guscio di spritz-beton a protezione della superficie di scavo ed a contenimento del cavo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 32 di 56</span>

**CASO B) fronte stabile a breve termine:**

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi di preconsolidamento e/o di consolidamento, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;  
drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- priverivestimento costituito da spritz-beton;
- centine metalliche.

Questi interventi di preconsolidamento e consolidamento concorreranno a formare diverse sezioni tipo che si differenziano tra di loro in funzione delle formazioni geologiche incontrate.

**CASO C) fronte instabile:**

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legato all'instabilità del fronte di scavo. Perché si possa realizzare l'avanzamento in galleria, senza innescare fenomeni deformativi incontrollabili, è indispensabile operare "preconsolidamenti" lanciati oltre il fronte di scavo, che garantiscano sia la tenuta del fronte stesso che quella della fascia di terreno perimetrale al cavo.

Questi preconsolidamenti possono essere di diversa natura, in funzione delle differenti caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate lungo il tracciato:

- jet-grouting sub-orizzontale;
- anello consolidato da iniezioni cementizie;
- chiodi in vetroresina al fronte;
- drenaggi.

Sono inoltre necessari interventi di consolidamento al contorno del cavo in modo da fornire il necessario contenimento nel breve termine. Questi interventi possono essere il rivestimento di 1ª fase con spritz-beton e centine metalliche.

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 33 di 56</span>

ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurre il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui pririvestimenti.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei pririvestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz-beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto di arco rovescio e murette a circa 2 diametri dal fronte di scavo.

## 7.2 Sezioni tipo di avanzamento

Le sezioni tipo caratteristiche del Progetto Esecutivo sono le seguenti: As, B0s, B0Vs e B0s-piazzola. L'applicazione delle sezioni tipo è indicata in termini percentuali nei profili geomeccanici. I criteri per la loro applicazione sono stati determinati in funzione dalla litologia degli ammassi attraversati, delle caratteristiche geomeccaniche dello stato tensionale in situ, ovvero del valore di copertura (H), e delle geometrie di scavo; i seguenti fattori hanno infatti permesso di definire il comportamento del fronte di scavo, in termini deformativi (entità dei valori di pre-convergenza ed estrusione, evoluzione in campo elastico o elasto-plastico) e quindi le condizioni di stabilità: "stabile" – categoria A – "stabile a breve termine" – categoria B – "instabile" – categoria C.

Laddove si individua un comportamento del fronte di tipo "stabile", si procede con la sezione As o in alternativa con la sezione B0 a seconda del grado di separazione manifestato localmente dell'ammasso e ai valori deformativi misurati in opera. Tali sezioni prevedono un contenimento del cavo operato dal rivestimento di prima fase, rispettivamente realizzato da bulloni radiali e centine metalliche oltre ad uno strato di spritz-beton. Laddove invece siano presenti ammassi maggiormente fratturati (zone tettonizzate, faglie, basse coperture, ecc) è necessario l'avanzamento mediante la sezione tipo B0V, per la quale oltre al contenimento del cavo mediante centine e spritz beton si prevede la posa in opera di interventi di presostegno in calotta eseguiti in avanzamento.

Per tutte le sezioni adottate, lo scavo a piena sezione consente inoltre – in funzione del comportamento deformativi del cavo - di chiudere il rivestimento del cavo con il getto di murette e arco rovescio a distanza ravvicinata dal fronte, e di procedere successivamente in tempi brevi al completamento del rivestimento definitivo con il getto del rivestimento di calotta, limitando consistentemente i fenomeni deformativi.

Per maggiori informazioni in merito all'applicazione e alle modalità esecutive delle sezioni tipo sopra indicate si faccia riferimento alle Linee Guida e al profilo geomeccanico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 34 di 56

## 8. INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO

### 8.1 Premessa

Nei seguenti paragrafi sono riportati i risultati delle analisi numeriche che hanno permesso di investigare il regime tenso-deformativo nei rivestimenti strutturali previsti in progetto.

Questo è stato raggiunto tramite due approcci differenti:

1. Metodo delle Linee Caratteristiche
2. Analisi UNWEDGE

Il Metodo delle Linee Caratteristiche ha permesso di cogliere l'entità delle sollecitazioni e delle convergenze nel prerivestimento e nel rivestimento definitivo, rappresentando una fase di predimensionamento degli interventi di sostegno.

L'analisi UNWEDGE ha invece consentito di individuare in modo chiaro ed il più completo possibile il comportamento statico e deformativo della galleria in esame effettuando una serie di verifiche, che coerentemente con le diverse fasi costruttive dell'opera, permettono di controllarne il comportamento statico nel breve, nel medio e nel lungo termine. In particolare sulla base delle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso ed anche in considerazione delle metodologie di scavo, che prevedono principalmente l'impiego di esplosivo, si è ritenuto opportuno effettuare analisi geostrukturali volte alla determinazione dei distacchi dei cunei di roccia dislocati lungo il profilo di scavo, specie in calotta. Tramite le analisi si sono quindi identificati i possibili cunei di roccia instabili e si è calcolato il carico gravitativo da sostenere tramite un adeguato intervento di bullonatura sistematica. Infine, tramite le verifiche della bullonatura, si è valutata l'adeguatezza statica della soluzione prevista.

## 8.2 Verifiche con il metodo delle curve caratteristiche

Nel seguito vengono indicati gli interventi previsti per la realizzazione della galleria in oggetto per ogni sezione tipo ed i risultati ottenuti dalle analisi mediante le linee caratteristiche in fase di terapia.

Per quanto riguarda i prerivestimenti, riportati nella seguente tabella, si è supposto che la messa in opera degli stessi avvenga a 0.5 m dal fronte. Unicamente per la sezione As, dove lo scavo avviene con esplosivo, gli interventi sotto indicati sono stati attivati ad una distanza pari ad uno sfondo. Per quanto riguarda la B0V non risulta possibile, per il tipo di modellazione utilizzata, tenere in conto dell'intervento di consolidamento al contorno localizzato in zona di calotta.

PRERIVESTIMENTI					
SEZIONE TIPO	Variabilità	centine	passo	spritz beton	Bulloni ad ancoraggio puntuale
[-]	[-]	[-]	[m]	[cm]	Maglia [m]
As	Media	-	-	15	1.5x1.5
B0s	Media	2xIPN160	1.2	20	-
B0s-piazzola	Media	2xIPN220	1	30	-
B0V	Media	2xIPN180	1	20	-

**Tabella 2 – Fase di terapia: prerivestimenti**

I principali risultati in termini deformativi e tensionali ottenuti in fase di terapia sono riassunti nelle seguenti tabelle.

PARAMETRI DI CALCOLO LC - FASE DI TERAPIA											
Analisi	Copertura	Sezione tipo	Formazione geologica	$\gamma$	$c_p$	$\phi_p$	$c_r$ (MPa)	$\phi_r$	E	$\nu$	
(-)	(m)	(-)	(-)	(KN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(°)	(MPa)	(°)	(GPa)	(-)	
As_Bas_RMR 55-70_75m	75	As	Basalti	28	0.8	34	0.5	24	7	0.25	
B0s_Bas_RMR 55-70_75m	75	B0s	Basalti	28	0.8	34	0.5	24	7	0.25	
B0V_Bas_RMR 40-45_75m	75	B0V	Basalti tettonizzati	26	0.4	30	0.32	24	2	0.3	
B0s-p_Bas_RMR 55-70_65m	65	B0s - piazzola	Basalti	28	0.8	34	0.5	24	7	0.25	

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI TERAPIA				Prerivestimenti				Rivestimenti definitivi			
Analisi	$R_m$	$U_{fronte}$	$R_{pl,fronte}$	$R_{pl,fronte}/R_m$	$U_{messa\ opera}$	$\sigma_{spritz}$	$\sigma_{cent}$	$CONV_{ad,preriv}$	$U_{eq}$	$R_{pl,eq}$	$\sigma_{cls}$
(-)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)	(cm)	(m)	(m)	(MPa)
As_Bas_RMR 55-70_75m	6.4	0.001	6.472	1.01	0.0030	0.02	-	0.01	0.0031	7.456	0.01
B0s_Bas_RMR 55-70_75m	6.5	0.001	6.573	1.01	0.0021	0.34	3.34	0.09	0.0031	7.530	0.09
B0V_Bas_RMR 40-45_75m	6.7	0.005	7.974	1.19	0.0102	1.57	15.26	0.44	0.0148	10.032	0.55
B0s-p_Bas_RMR 55-70_65m	8.15	0.001	8.150	1.00	0.0022	0.27	2.57	0.09	0.0031	8.825	0.08

**Tabella 3 - Fase di Terapia: Risultati analisi linee caratteristiche**

Dove:

- $R_m$ = raggio (nelle analisi svolte con le linee caratteristiche si è utilizzato un raggio medio tra il raggio di scavo in calotta ed il raggio equivalente all'area di scavo)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Foglio 36 di 56</td> </tr> </table>	Foglio 36 di 56
Foglio 36 di 56		

- $\gamma$ =peso specifico di volume
- $c_p$ =coesione di picco
- $c_r$ =coesione residua
- $\phi_p$ =angolo d'attrito di picco
- $\phi_r$ =angolo d'attrito residuo
- E =modulo elastico
- $\nu$ =coefficiente di Poisson
- $U_{fronte}$ =spostamento al fronte
- $U_{messa\ in\ opera}$ =spostamento alla messa in opera del prerinvestimento
- $U_{eq}$ =spostamento all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- $R_{pl\ fronte}$ =raggio plastico al fronte
- $R_{eq}$ =raggio plastico all'equilibrio (rivestimenti definitivi)
- $\sigma_{spritz}$ =tensione nello spritz beton
- $\sigma_{cent}$ =tensione nelle centine metalliche
- $\sigma_{cls}$ =tensione nei rivestimenti definitivi

Le Linee caratteristiche hanno evidenziato valori di convergenza radiale dei pre-rivestimenti piuttosto limitati, mostrando anche nel caso dei basalti tettonizzati un dato inferiore al mezzo centimetro. Lo stato tensionale sia per quanto riguarda i rivestimenti di prima fase che per i rivestimenti definitivi risulta piuttosto limitato e sempre compatibile con i materiali adottati in progetto. Dai risultati emersi dalle Linee Caratteristiche si evidenzia quindi un regime tensionale e deformativo compatibile con le soluzioni progettuali adottate.

A integrazione di quanto sopra si sottolinea che comunque, alle massime coperture e nei contesti di peggiori caratteristiche geotecniche, andrà sempre previsto un adeguato sistema di controllo e monitoraggio dei prerinvestimenti al fine di valutare i tassi di lavoro effettivi ed il mantenimento degli adeguati margini di sicurezza richiesti delle caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati.

I valori delle convergenze calcolati dovranno essere poi valutati ed amplificati con opportuni coefficienti per tenere in conto dei reali fattori non schematizzabili numericamente al fine di definire quelle soglie di convergenza necessarie al monitoraggio delle sezioni e all'applicazione delle variabilità.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00
	Foglio 37 di 56

### 8.3 Verifiche della chiodatura tramite UNWEDGE

Al fine di individuare in modo chiaro ed il più completo possibile il comportamento statico e deformativo della galleria in esame è stata effettuata una serie di verifiche, che coerentemente con le diverse fasi costruttive dell'opera, permettono di controllarne il comportamento statico nel breve, nel medio e nel lungo termine.

Sulla base delle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso ed anche in considerazione delle metodologie di scavo, che prevedono principalmente l'impiego di esplosivo, si è ritenuto opportuno effettuare analisi geostrutturali volte alla determinazione dei distacchi e dei cunei di roccia dislocati lungo il profilo di scavo, specie in calotta. Con riferimento ad un modello di ammasso discontinuo, le analisi tridimensionali sono state condotte implementando il codice di calcolo UNWEDGE 3.006 (Rockscience 2005), al fine di individuare i possibili cunei di roccia instabili. Sulla base di questi dati si è calcolato il carico gravitativo da sostenere tramite un adeguato intervento di bullonatura sistemata.

Le verifiche statiche condotte sono volte alla verifica della bullonatura, valutando l'adeguatezza statica della stessa a "sostenere" distacchi gravitativi di cunei rocciosi.

Il dimensionamento e la verifica della chiodatura è stata effettuata per la galleria naturale e per la finestra d'accesso.

#### DIMENSIONAMENTO CUNEI DI DISTACCO PER LA GALLERIA NATURALE

Al fine di dimensionare gli interventi di stabilizzazione si è proceduto all'identificazione dei cunei di roccia limitati dai principali set di discontinuità ed alla valutazione del loro grado di stabilità. La modellizzazione geometrica dell'ammasso è avvenuta sulla base dei dati giaciture delle discontinuità dai rilievi geologici-geomeccanici di superficie. L'analisi delle giaciture si estende a tutto il tracciato. I dati contenuti nei rilievi geologico-geomeccanici oltre che a permettere di determinare l'orientazione e il numero di famiglie di giunti esistenti forniscono le loro caratteristiche di spaziatura, alterazione e rugosità.

La geometria della discontinuità è stata caratterizzata utilizzando tutti i dati strutturali disponibili provenienti da rilievi geostrutturali effettuati lungo il tracciato. L'individuazione dei tetraedri dipende oltre che dalla giacitura delle discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso, dall'orientazione pianoaltimetrica del cavo (sempre individuata da inclinazione e immersione) indipendentemente dalla direzione di avanzamento.

Nel caso in esame, il tracciato del tunnel presenta, mediamente un'inclinazione del 3° e immersione in direzione tra N 300° e N360° in base alla direzione del tunnel è possibile individuare 4 differenti zone (Tabella 4).

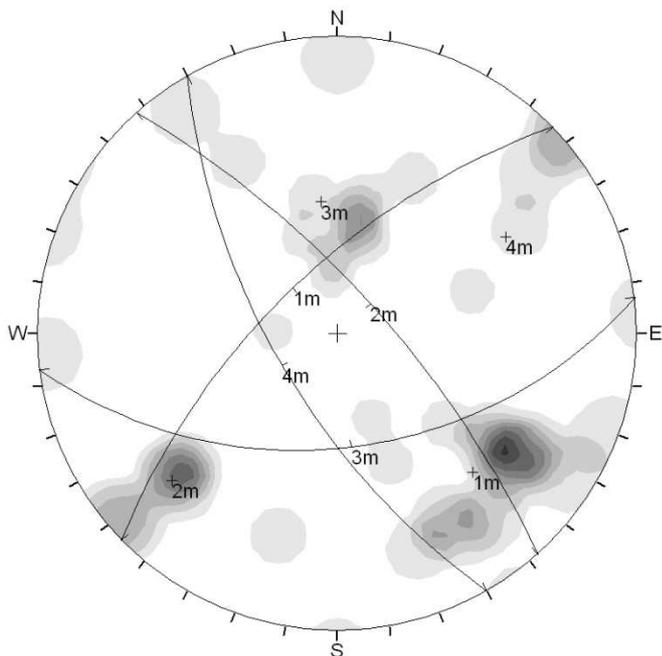
Inclinazione	Immersione	Settore galleria
3°	300°	Galleria Borzoli
3°	340°	Galleria Erzelli-a imbocco N
3°	360°	Galleria Erzelli-b tratto centrale rettilin eo
<1°	345°	Galleria Erzelli-c imbocco S

**Tabella 4: settori individuati in base all'orientazione del tracciato**

Le discontinuità misurate divise per i settori della galleria dove sono state riscontrate sono riportate nelle tabelle Tabella 5 e Tabella 6.

	Giacitura (inclinazione/immersione)	Tipo di discontinuità	Fonte dato
<b>GALLERIA BORZOLI</b>			
K1	66/316	frattura	
K2	73/048	frattura	
K3	48/173	frattura	
K4	66/240	frattura	
<b>GALLERIA ERZELLI - a</b>			
K1	65/201	frattura	
K2	42/321	frattura	
K3	60/031	frattura	
K4	64/299	frattura	

**Tabella 5: Discontinuità più rappresentative nei settori Borzoli e Erzelli-a**

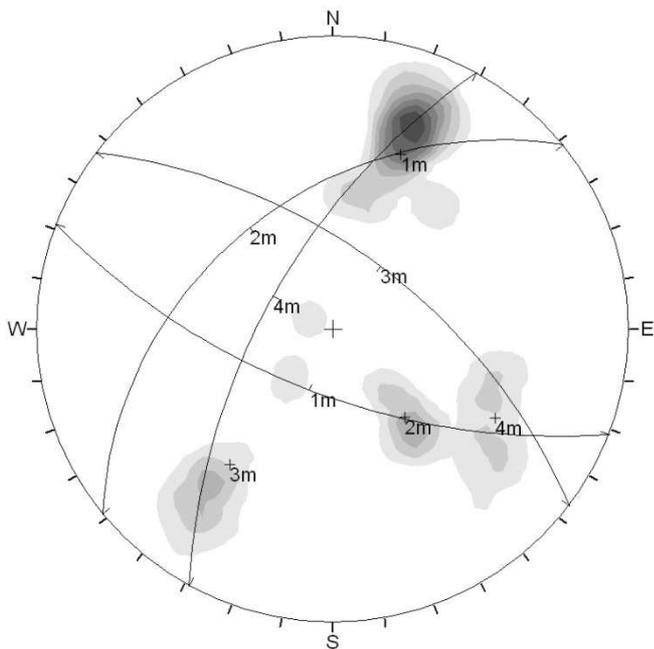


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	66 / 316
2 m	73 / 048
3 m	48 / 173
4 m	66 / 240

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 39 Poles  
 39 Entries

**Stereogramma polare con i dati relativi alle discontinuità presenti nel settore Borzoli**



Orientations

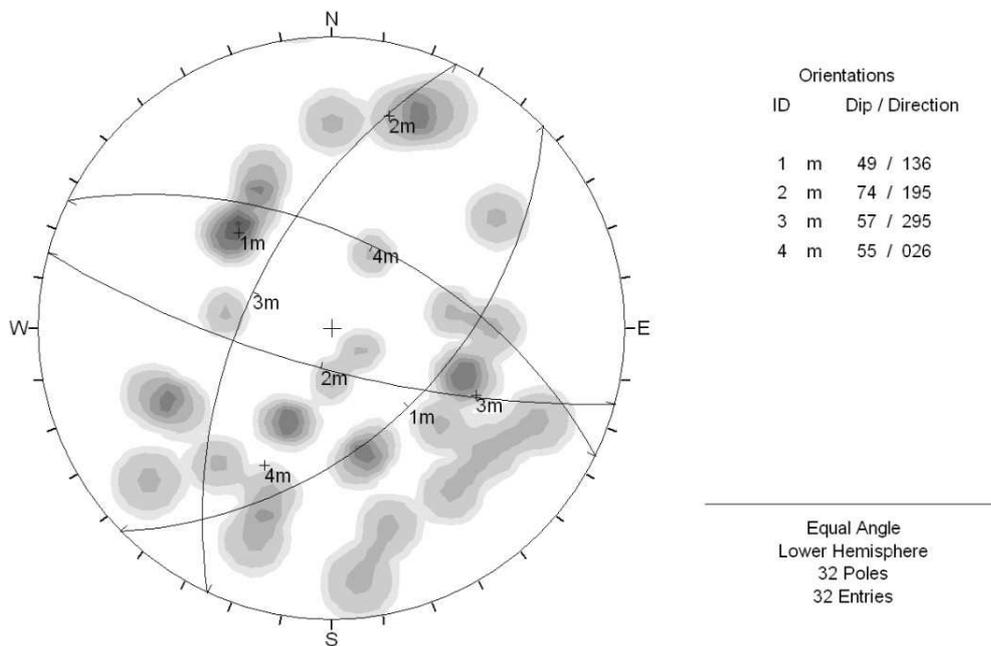
ID	Dip / Direction
1 m	65 / 201
2 m	42 / 321
3 m	60 / 037
4 m	64 / 299

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 57 Poles  
 57 Entries

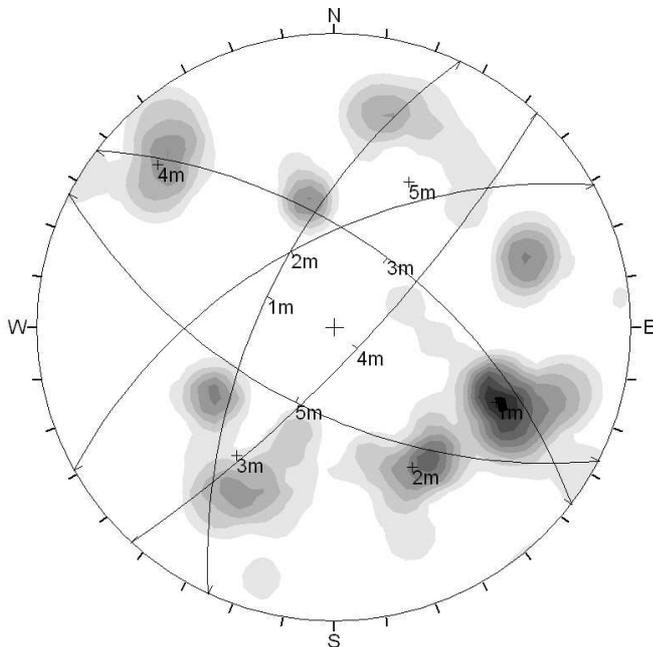
**Stereogramma polare con i dati relativi alle discontinuità presenti nel settore Erzelli-a**

	Giacitura (inclinazione/immersione)	Tipo di discontinuità	Fonte dato
<b>GALLERIA ERZELLI - b</b>			
K1	49/136	frattura	
K2	74/195	frattura	
K3	57/295	frattura	
K4	55/026	frattura	
<b>GALLERIA ERZELLI - c</b>			
K1	62/295	frattura	
K2	57/331	frattura	
K3	57/037	frattura	
K4	78/133	frattura	
K5	58/207	frattura	

**Tabella 6: Discontinuità più rappresentative nei settori Erzelli-b e Erzelli-c**



**Stereogramma polare con i dati relativi alle discontinuità presenti nel settore Erzelli-b**



Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	62 / 295
2 m	57 / 331
3 m	57 / 037
4 m	78 / 133
5 m	58 / 207

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 113 Poles  
 113 Entries

**Stereogramma polare con i dati relativi alle discontinuità presenti nel settore Erzelli-c**

Le discontinuità individuate vengono esaminate nelle combinazioni riportate nella tabella Tabella 7, per delimitare i possibili tetraedri cinematicamente instabili posti al contorno del cavo della galleria.

SETTORE		COMBINAZIONI			
BORZOLI	1	K1-K2-K3	66/316	73/048	48/173
	2	K1-K2-K4	66/316	73/048	66/240
	3	K1-K3-K4	66/316	48/173	66/240
	4	K2-K3-K4	73/048	48/173	66/240

SETTORE		COMBINAZIONI			
ERZELLI - A	1	K1-K2-K3	65/201	42/321	60/031
	2	K1-K2-K4	65/201	42/321	64/299
	3	K1-K3-K4	65/201	60/031	64/299
	4	K2-K3-K4	64/299	60/031	64/299

SETTORE		COMBINAZIONI			
ERZELLI - B	1	K1-K2-K3	49/136	74/195	57/295
	2	K1-K2-K4	49/136	74/195	55/026
	3	K1-K3-K4	49/136	57/295	55/026

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5101ECVCLGNSA00001A00		Foglio 42 di 56

	4	K2-K3-K4	74/195	57/295	55/026
--	---	----------	--------	--------	--------

SETTORE		COMBINAZIONI			
ERZELLI - C	13	K1-K2-K3	62/295	57/331	57/037
	14	K1-K2-K4	62/295	57/331	78/133
	15	K1-K2-K5	62/295	57/331	58/207
	16	K1-K3-K4	62/295	57/037	78/133
	17	K1-K2-K5	62/295	57/331	58/207
	18	K1-K4-K5	62/295	78/133	58/207
	19	K2-K3-K4	57/331	57/037	78/133
	20	K2-K3-K5	57/331	57/037	58/207
	21	K2-K4-K5	57/331	78/133	58/207
	22	K3-K4-K5	57/037	78/133	58/207

**Tabella 7: combinazioni dei dati strutturali utilizzate nei vari settori**

In assenza di prove dirette di taglio su giunto, ed avendo a disposizione, per ogni famiglia di discontinuità, i dati del coefficiente di rugosità del giunto (JRC) e del coefficiente di resistenza del giunto (JCS), si è ritenuto più opportuno utilizzare, per l'analisi all'equilibrio limite dei tetraedri, l'equazione di resistenza al taglio su giunto proposta da Barton. L'angolo di attrito di base ( $\phi_b$ ) è stato stimato basandosi su valori noti in letteratura, ed è stato assunto pari a 35°.

Il coefficiente di rugosità JRC è stato assunto pari a 12, il valore del coefficiente di resistenza JCS è stato assunto pari a 100 MPa.

Determinate le varie combinazioni all'interno dei singoli settori si è proceduto alla verifica delle sezioni. Attraverso tali verifiche è stato possibile determinare le grandezze rappresentative, quali ad esempio le dimensioni ed il peso, dei singoli cunei di roccia che potrebbero formarsi lungo il profilo di scavo della galleria; successivamente, sono state effettuate le verifiche di stabilità di tali cunei, considerando l'azione stabilizzante indotta dall'intervento di chiodatura sistematica prevista per le sezioni tipo A-s

Sono riportate quattro tabelle di sintesi riassuntive dei differenti settori di verifiche in cui vengono descritti i cinematismi possibili per le singole combinazioni, e, quindi, le grandezze per essi più rappresentative.

## BORZOLI

Comb.		FS senza chiod.	Calotta	Rene sx	Fianco sx	Rene dx	Fianco dx	FS con chiod.	Peso cuneo (t)	Altezza cuneo (m)
1	K1-K2-K3	2,01			X			2,01	0,62	0,31
1	K1-K2-K3	0,84		X				15,40	3,87	0,92
1	K1-K2-K3	2,47	X					2,47	1,49	0,42
1	K1-K2-K3	0					X	1,47	53,55	3,1
2	K1-K2-K4	2,01			X			2,01	1,32	0,56
2	K1-K2-K4	1,22	X					2,57	20,23	2,77
2	K1-K2-K4	1,22					X	7,73	2,29	0,66
2	K1-K2-K4	0				X		14,8	0,27	0,31
3	K1-K3-K4	1,22				X		3,58	54,53	4,67
4	K2-K3-K4	27,09			X			27,09	0,77	0,36
4	K2-K3-K4	0,84		X				52,02	0,26	0,26
4	K2-K3-K4	2,47	X					7,60	13,21	1,39
4	K2-K3-K4	0				X		3,02	32,80	2,39

## ERZELLI - A

Comb.		FS senza chiod.	Calotta	Rene sx	Fianco sx	Rene dx	Fianco dx	FS con chiod.	Peso cuneo (t)	Altezza cuneo (m)
5	K1-K2-K3	21,53			X			21,53	0,125	0,21
5	K1-K2-K3	3,05				X		3,05	10,16	1,6
5	K1-K2-K3	1,59		X				9,97	1,96	0,79
5	K1-K2-K3	0	X					3,45	2,84	0,94
6	K1-K2-K4	2,73					X	2,73	18,21	2,65
6	K1-K2-K4	14,94			X			29,04	12,53	2,32
6	K1-K2-K4	1,34	X					3,22	7,91	1,86
6	K1-K2-K4	0		X				278,86	0,02	0,11
7	K1-K3-K4	2,73					X	2,73	1,12	0,54
7	K1-K3-K4	1,59			X			9,13	3,99	0,85
7	K1-K3-K4	1,34				X		9,15	2,81	0,91
7	K1-K3-K4	0	X					2,48	14,22	1,91
8	K2-K3-K4	3,05					X	3,05	0,11	0,18
8	K2-K3-K4	2,99	X					2,99	169,76	9,11
8	K2-K3-K4	1,58			X			1,58	0,08	0,16
8	K2-K3-K4	1,34				X		1,34	0,18	0,36

## ERZELLI - B

Comb.		FS senza chiod.	Calotta	Rene sx	Fianco sx	Rene dx	Fianco dx	FS con chiod.	Peso cuneo (t)	Altezza cuneo (m)
9	K1-K2-K3	3,14			X			8,21	17,41	2,02
9	K1-K2-K3	2,81					X	2,81	15,96	1,99
9	K1-K2-K3	0,79	X					2,12	16,67	2,04
9	K1-K2-K3	0		X				47,08	0,10	0,19
10	K1-K2-K4	3,14	X	X	X			4,30	375,62	12,98
11	K1-K3-K4	4,92			X			13,26	4,61	1,02
11	K1-K3-K4	1,78					X	4,80	24,84	1,92
11	K1-K3-K4	1,92		X				4,24	1,66	0,63
11	K1-K3-K4	0			X			5,06	5,74	1,11
12	K2-K3-K4	31,8			X			31,8	4,28	1,16
12	K2-K3-K4	1,78				X		3,57	58,21	3,65
12	K2-K3-K4	1,92		X				1,92	0,02	0,11
12	K2-K3-K4	0	X					3,34	4,76	1,25

## ERZELLI - C

Comb.		FS senza chiod.	Calotta	Rene sx	Fianco sx	Rene dx	Fianco dx	FS con chiod.	Peso cuneo (t)	Altezza cuneo (m)
13	K1-K2-K3	1,46					X	1,46	0,12	0,21
13	K1-K2-K3	1,78	X					1,78	866,40	25,4
14	K1-K2-K4	1,46				X		3,72	12,09	2,25
14	K1-K2-K4	18,25			X			18,25	0,539	0,6
14	K1-K2-K4	1,78		X				1,78	0,90	0,74
14	K1-K2-K4	0	X					12,16	0,81	0,7
15	K1-K2-K5	1,46	X			X		1,67	336,70	12,13
15	K1-K2-K5	1,78		X				24,97	0,06	0,22
15	K1-K2-K5	0	X	X				1460	0,003	0,06
16	K1-K3-K4	1,46				X		124,73	0,11	0,23
16	K1-K3-K4	1,78		X				8,35	8,56	1,49
16	K1-K3-K4	0	X					2,01	18,58	2,35
17	K1-K2-K5	2,77					X	2,77	0,35	0,3
17	K1-K2-K5	1,46				X		4,97	10,00	1,55
17	K1-K2-K5	1,78		X				7,96	2,45	0,68
17	K1-K2-K5	0	X					4,06	6,24	1,25

18	K1-K4-K5	<b>0,58</b>		X				<b>1051</b>	0,007	0,08
18	K1-K4-K5	<b>1,7</b>	X			X	X	<b>1,98</b>	471,44	13,87
19	K2-K3-K4	<b>1,78</b>				X		<b>1,78</b>	0,014	0,11
19	K2-K3-K4	<b>1,78</b>	X	X	X			<b>2,39</b>	198,11	8,71
20	K2-K3-K5	<b>1,78</b>				X		<b>2,87</b>	3,90	1,13
20	K2-K3-K5	<b>1,78</b>		X				<b>3,96</b>	13,06	1,74
20	K2-K3-K5	<b>0</b>	X					<b>13,42</b>	1,4	0,71
21	K2-K4-K5	<b>1,717</b>				X	X	<b>3,06</b>	34,29	3,26
21	K2-K4-K5	<b>0</b>	X					<b>4,75</b>	2,06	0,98
22	K3-K4-K5	<b>0,58</b>	X					<b>2,26</b>	17,54	2,23
22	K3-K4-K5	<b>1,7</b>					X	<b>3,18</b>	7,17	1,3
22	K3-K4-K5	<b>0</b>				X		<b>13,40</b>	0,62	0,48

**Tabella 8 : combinazioni dei dati strutturali utilizzate nei vari settori**

Negli allegati, per ciascuna delle verifiche effettuate nel settore centrale vengono presentate delle stampe di schermate del programma contenenti, per ciascuna combinazione verificata, i dati di input e le geometrie dei cunei determinati.

L'altezza media dei cunei individuati è di 2,25 m. L'altezza più rappresentativa dei tetraedri instabili in tutta l'opera in sotterraneo viene considerata di circa 3-4 m. Generalmente, i cunei di altezza di 3-4 m sono stati giudicati i più rappresentativi delle porzioni di ammasso che potranno dislocarsi al contorno del profilo di scavo. Si segnala la presenza di cunei di dimensioni inferiori, di altezza fino a 0,1-0,5 m, che verosimilmente saranno rimossi nella fase di disaggio seguente la volata, o che verranno trattenuti dal prerivestimento in spritz-beton.

La distribuzione dei tetraedri instabili ricostruiti presenta una concentrazione dei potenziali cunei di roccia nel settore calotta-reni della galleria, a dispetto di una minore percentuale di cunei sui fianchi dello scavo. La distribuzione dei cunei viene riassunta nella seguente tabella:.

Calotta	Rene sx	Rene dx	Fianco sx	Fianco dx
27%	20%	18%	20%	15%

**Tabella 9: Percentuale di distribuzione dei tetraedri instabili**

La probabile presenza di discontinuità che interessano il piedritto inducono cunei che, per la maggior parte, saranno contenuti dal prerivestimento in spritz-beton fibrorinforzato; per una migliore efficacia dell'intervento di chiodatura verrà considerata una geometria a 180° che interessa anche il contatto reni-piedritto. In funzione di queste geometrie non vengono considerate le chiodature con geometria a 120° o comunque ridotta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 46 di 56</span>

### TIPOLOGIE DI INTEVENTI DI BULLONATURA PER LE SEZIONI TIPO

Gli interventi di bullonatura sistematica sono diversificati per le sezioni previste secondo la modalità sintetizzata nella seguente tabella:

Sezione tipo	Bullonatura	Maglia
As	Bulloni ad ancoraggio puntuale, $\Phi = 24 \text{ mm}$ L = 6	$i_L = 1.5\text{m}$ , $i_T = 1.5$

Nelle verifiche statiche seguenti verranno valutati gli incrementi dei fattori di sicurezza garantiti dall'applicazione di ciascun intervento.

### CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Le sezioni tipo As prevede l'utilizzo di chiodi ad ancoraggio puntuale aventi i seguenti parametri meccanici:

Acciaio: FeB 44 k

Diametro: 24 mm

Lunghezza: 6 m

Per determinare la forza di rottura a trazione (T) del bullone si è considerato:

Resistenza a snervamento acciaio ( $t_{fks}$ ):  $4400\text{kg}/\text{cm}^2$

Sezione bullone (A):  $4,5 \text{ cm}^2$

Coefficiente di sicurezza da norme AICAP (F): 0,9

$$T = t_{fks} * A * F = 17820 \text{ kg} = 178 \text{ kN}$$

Per determinare la resistenza dell'ancoraggio puntuale si è fatto riferimento ai dati forniti dalla bibliografia e si è ricavata la resistenza dell'ancoraggio dal testo di Hoek e Brown "Underground excavation in rock", in cui per rocce simili vengono riportati valori di resistenza pari a circa 100-150 kN. Le analisi sono state condotte impiegando per i bulloni la resistenza di 100 kN, essendo lo sfilamento ed il limite di resistenza della piastra a contatto con la superficie di scavo i meccanismi più critici nella definizione della capacità portante.

Bulloni dello stesso tipo e con le stesse caratteristiche di quelli da realizzare dovranno essere assoggettati, come previsto dalle Raccomandazioni AICAP, a prove da effettuarsi in fase progettuale o all'inizio dei lavori, in base alle quali verranno stabilite le caratteristiche definitive della bullonatura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <span style="float: right;">Foglio 47 di 56</span>

### ANALISI DEI RISULTATI DI CALCOLO, VERIFICHE STATICHE

Negli allegati vengono riportati i risultati (sintesi nelle tabelle nel testo 5a, 5b, 5c, 5d) delle verifiche di stabilità eseguite sui cunei individuati nel precedente paragrafo.

La verifica è stata eseguita utilizzando il metodo dell'equilibrio limite, in cui si considera l'azione delle varie forze agenti sul cuneo.

Il fattore di sicurezza è definito come il rapporto tra la somma delle forze resistenti al movimento, rispetto a quella delle forze destabilizzanti. Si osservi che l'unica forza destabilizzante del sistema è la forza peso del cuneo, la quale è controbilanciata dalla resistenza per attrito lungo il / i giunto /i, nonché dall'azione prodotta dalla bullonatura e dall'eventuale priverivestimento.

Il fattore di sicurezza verso la caduta viene quindi così calcolato:

$$F.S. = \frac{\sum_i T_{gi} \cdot eff_i}{W_g}$$

Dove

$W_g$  = Forza peso del cuneo

$T_{gi}$  = Componente della capacità di resistenza del bullone i-mo nella direzione della forza peso.

$eff_i$  = Efficienza del bullone i-mo (1 se lavora in tensione, 0 se lavora in compressione o a taglio)

$$F.S. = \frac{\sum_i T_{gi} \cdot eff_i}{W_g}$$

I risultati delle verifiche mostrano, senza bullonatura, un fattore di sicurezza spesso inferiore ad 1,3 e sistematicamente pari a 0 nei cunei posizionati in calotta (v. tab. 5a-5d), confermando l'instabilità del cavo in assenza di interventi.

In particolare, in assenza di interventi il 33% dei cunei potenzialmente instabili non superano un fattore di sicurezza pari a 1.3 (considerato come limite di progetto).

A seguito della bullonatura si sono riscontrati valori dei coefficienti di sicurezza generalmente superiori a 1.3; tali valori sono giudicati accettabili per il caso in esame, dato che l'azione della bullonatura agisce nel breve-medio termine, finché non si realizza il rivestimento definitivo della galleria. Nelle analisi non si è tenuto conto dell'azione stabilizzante esercitata dallo strato di spritz-beton previsto negli interventi delle sezioni considerate.

## 9. INTERFERENZA SCAVO-EDIFICI – CLASSIFICAZIONE DEL DANNO

Nel seguito vengono presentati i risultati dello studio svolto per valutare l'interferenza tra gli scavi ed i fabbricati presenti in superficie. La finalità dell'analisi è rivolta ad individuare gli edifici da monitorare, tramite un idoneo sistema di monitoraggio costituito da capisaldi topografici, che permetterà di riscontrare in corso d'opera l'evolversi dei cedimenti a piano campagna.

Considerando il contesto geomeccanico attraversato caratterizzato da materiali lapidei, non si è ritenuta necessaria un'analisi di classificazione del danno sui fabbricati, prevedendo convergenze e di conseguenza volumi persi di entità ininfluente per questo tipo di analisi.

Nelle seguenti figure, vengono riportate le viste planimetriche dell'area interessata dagli scavi, al fine di rendere più chiara la lettura dei risultati ottenuti. Gli edifici sono identificati da linee perimetrali rosse.

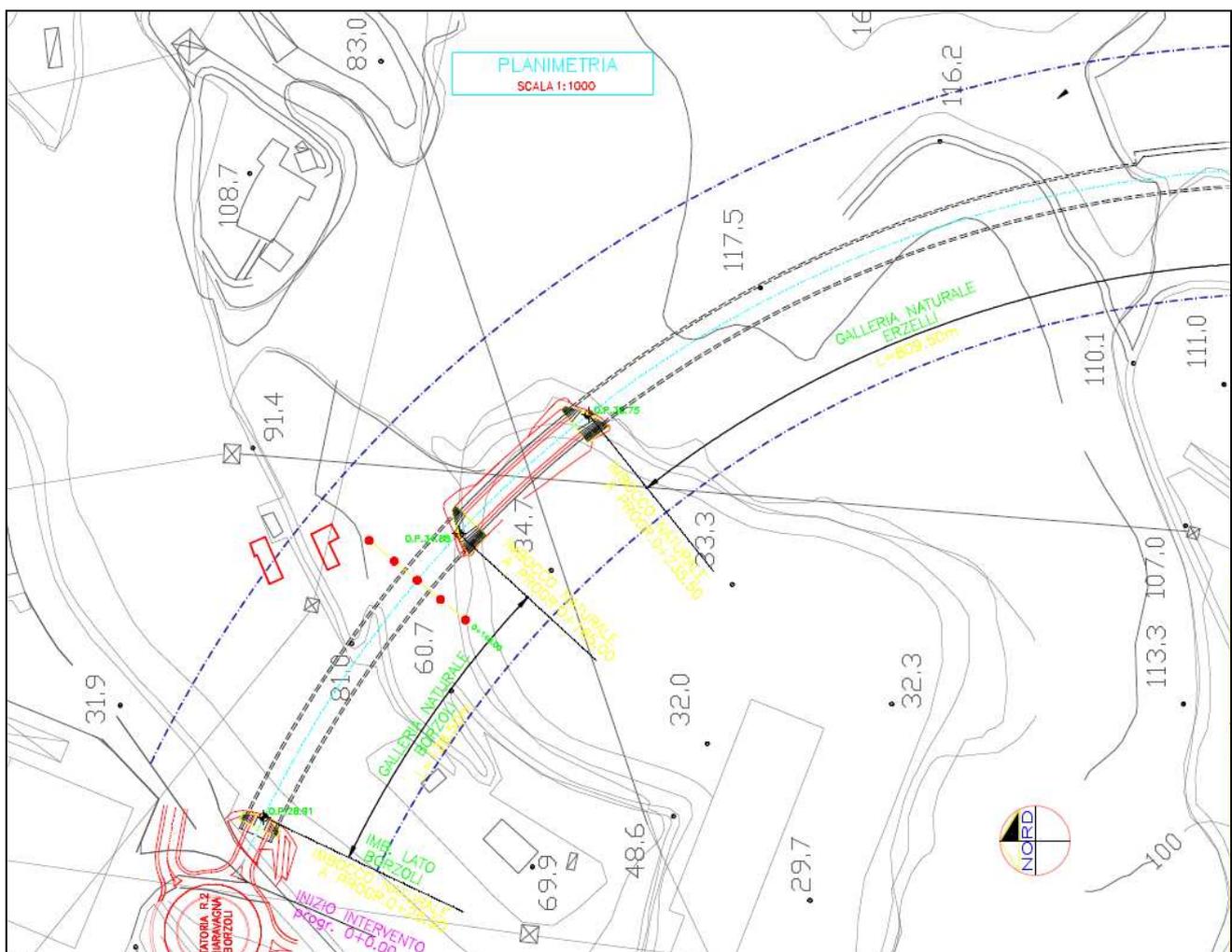


Figura 1 – Planimetria tratta via Erzelli – via Borzoli – 1/2





**Figura 4 – Inquadramento tratta via Erzelli – via Borzoli – 2/2**

Con riferimento ai fabbricati, lungo il tracciato sono state identificate due sezioni ritenute significative per una corretta comprensione delle geometrie di interesse.

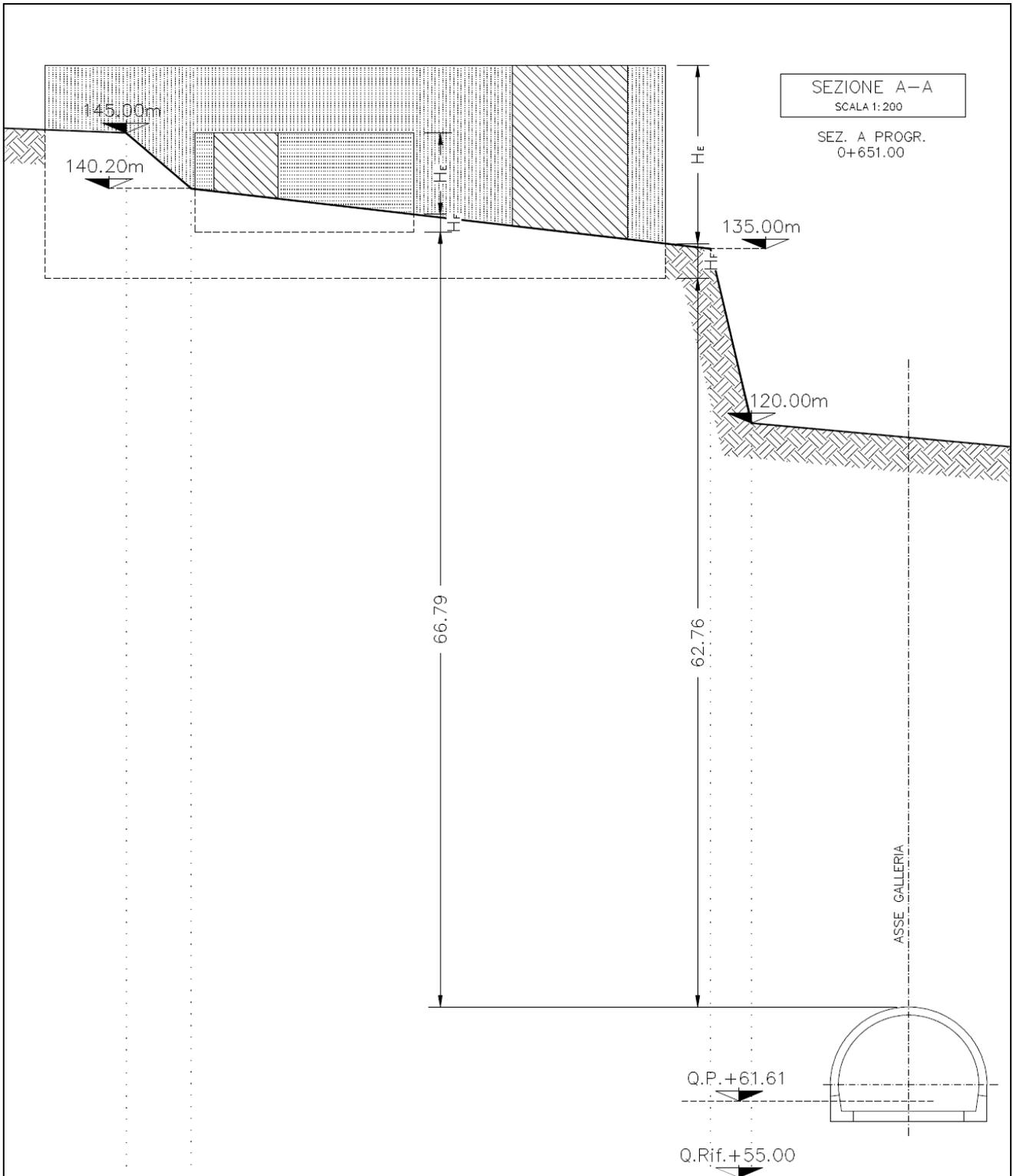


Figura 5 – Sezione A – A

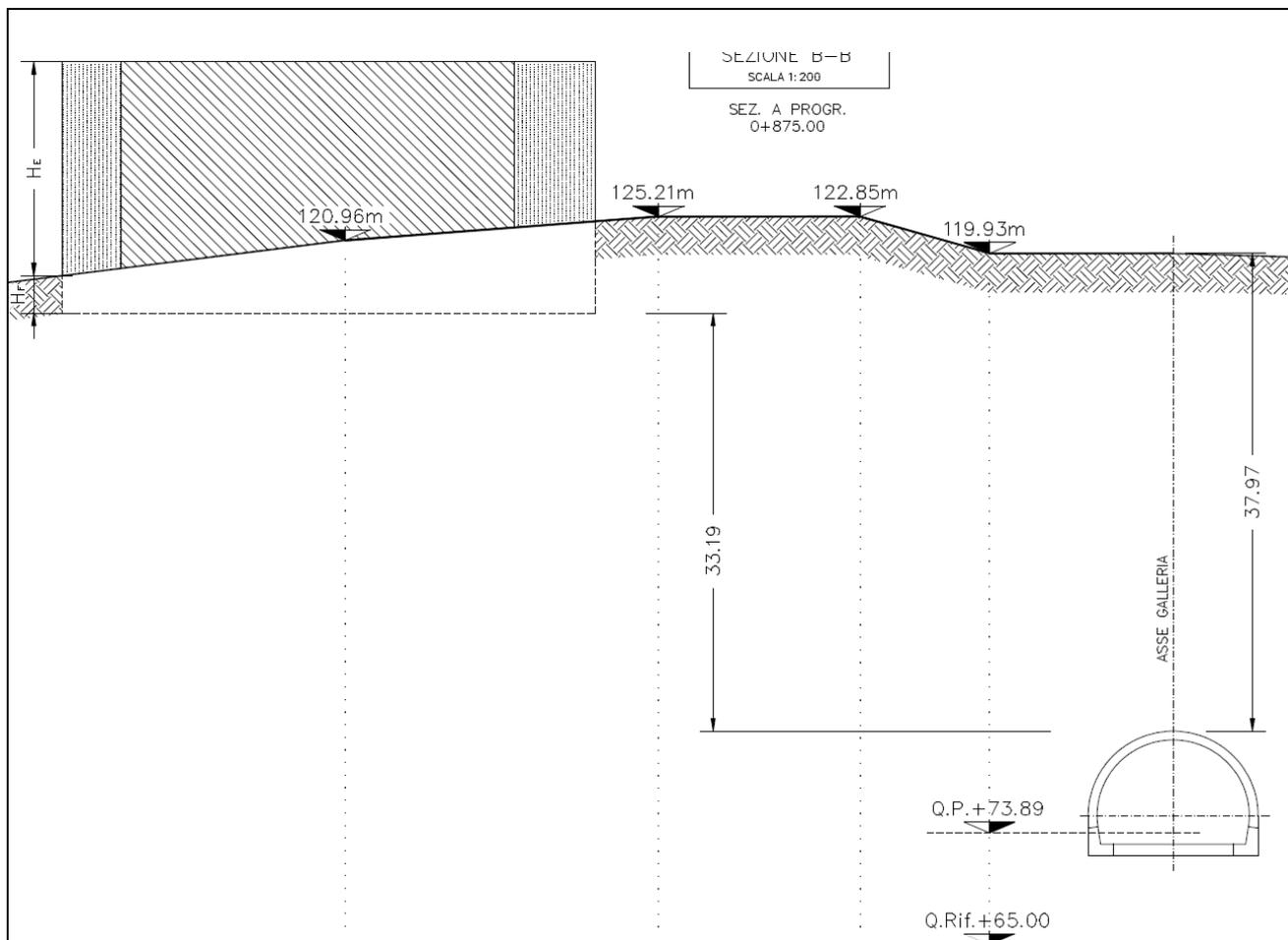


Figura 6 – Sezione B – B

Sui riportano infine le immagini dei prospetti degli edifici ritenuti di interesse.



**Figura 7 – Prospetto edifici**



**Figura 8 – Prospetto edifici**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVCLGNSA00001A00 <div style="float: right;">Foglio 54 di 56</div>

## 10. CONCLUSIONI

Oggetto del presente elaborato è la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo in naturale delle due gallerie appartenenti alla Nuova Viabilità nelle tratte Lato Borzoli e Lato Erzelli. La prima galleria ha una lunghezza di 138.5m, mentre la seconda ha una lunghezza di 809.5m, con coperture massime per le due tratte pari a 75m. La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m.

Sono state esaminate le scelte progettuali effettuate con conseguente definizione delle sezioni tipo d'avanzamento e la successiva verifica di tali sezioni, con riferimento alle condizioni critiche rappresentative presenti lungo lo sviluppo della galleria. Le verifiche, condotte in conformità a quanto previsto dal D.M. 1996, dimostrano l'idoneità della soluzione progettuale adottata

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVCLGNSA00001A00	Foglio 55 di 56

## 11. ALLEGATI DI CALCOLO

### 11.1 Linee caratteristiche

```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

Bas\_RMR55-70\_75m  
 DIAGNOSI  
 analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 6.40000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 2.10000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 7000.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .25000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .80000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 34.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .50000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .003079  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 7.459373  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001236  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001002  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000893  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.471792

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .003079  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.459373

Diametro della galleria: 12,8 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

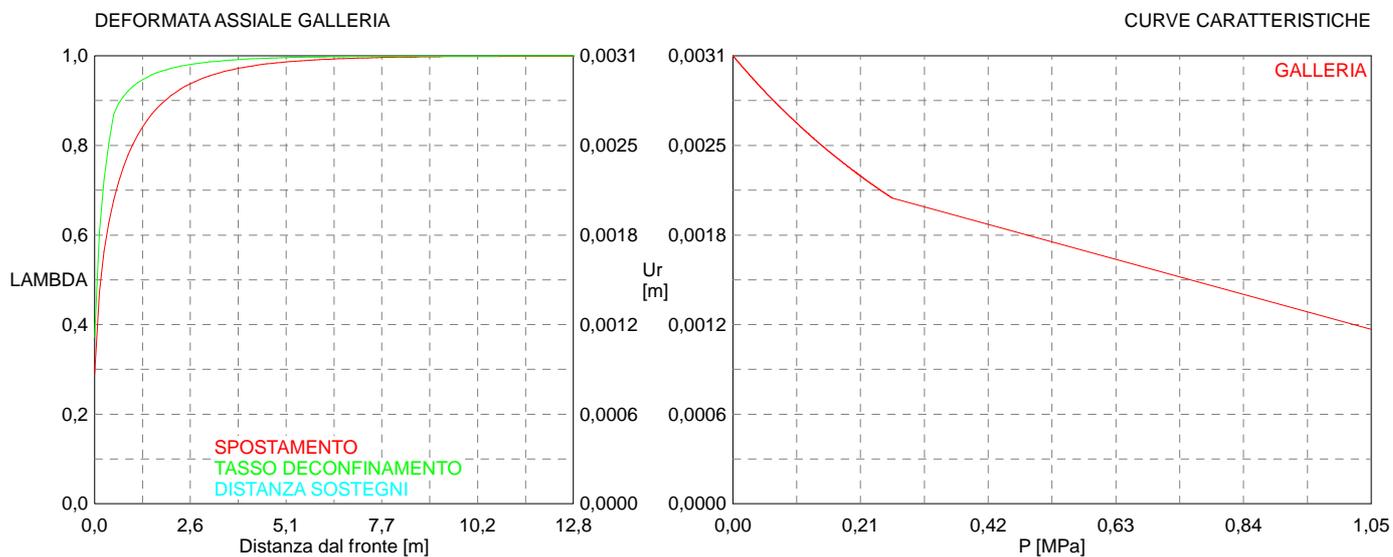
**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 7000 MPa NI: 0,25 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 2,1 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 34 °  
 C picco: 0,8 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,5 MPa  
 PSI: 0 °



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####      ##  ##   ##  ##
#####      #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

Bas\_RMR40-45\_75m  
 DIAGNOSI  
 analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 6.50000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 1.95000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 2000.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .40000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .32000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .016250  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 10.278782  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .006153  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .003844  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .004713  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 7.736103

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .016250  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 10.278782

Diametro della galleria: 13 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

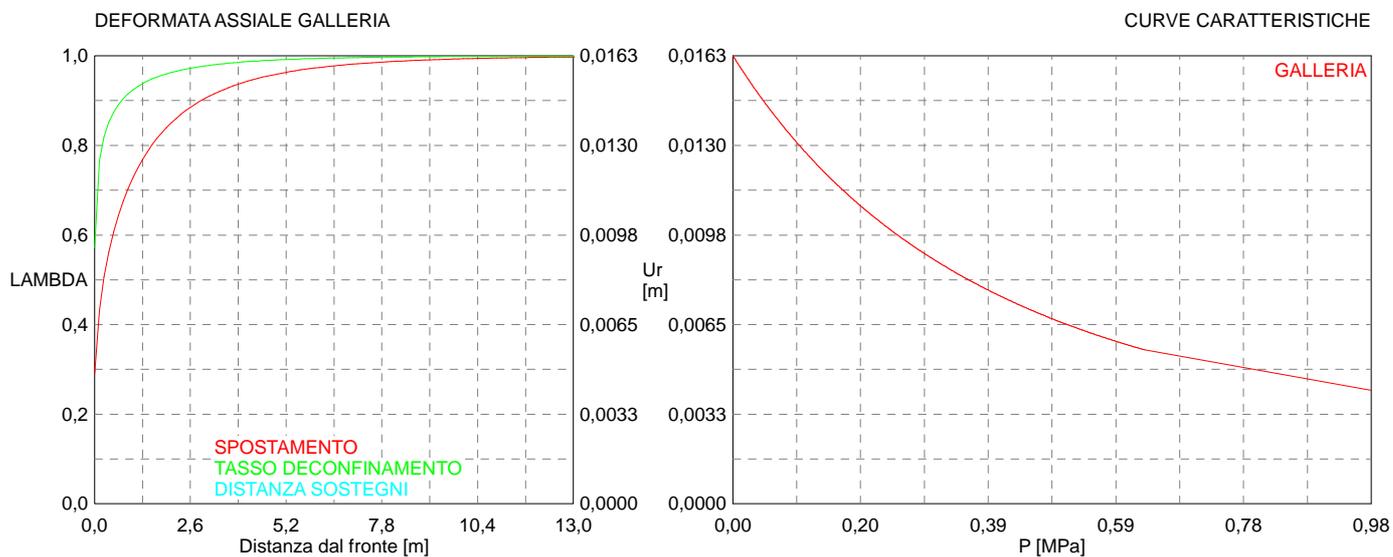
**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 2000 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 1,95 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 30 °  
 C picco: 0,4 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,32 MPa  
 PSI: 0 °



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

Bas\_RMR55-70\_65m  
DIAGNOSI  
analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....	8.15000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	1.82000
Modulo di Young [MPa] .....	7000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.80000
Angolo attrito picco [°] .....	34.00000
Coesione residua [MPa] .....	.50000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	24.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.003026
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	8.874160
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001324
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001020
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000878
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	8.150000

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.003026
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	8.874160

Diametro della galleria: 16,3 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

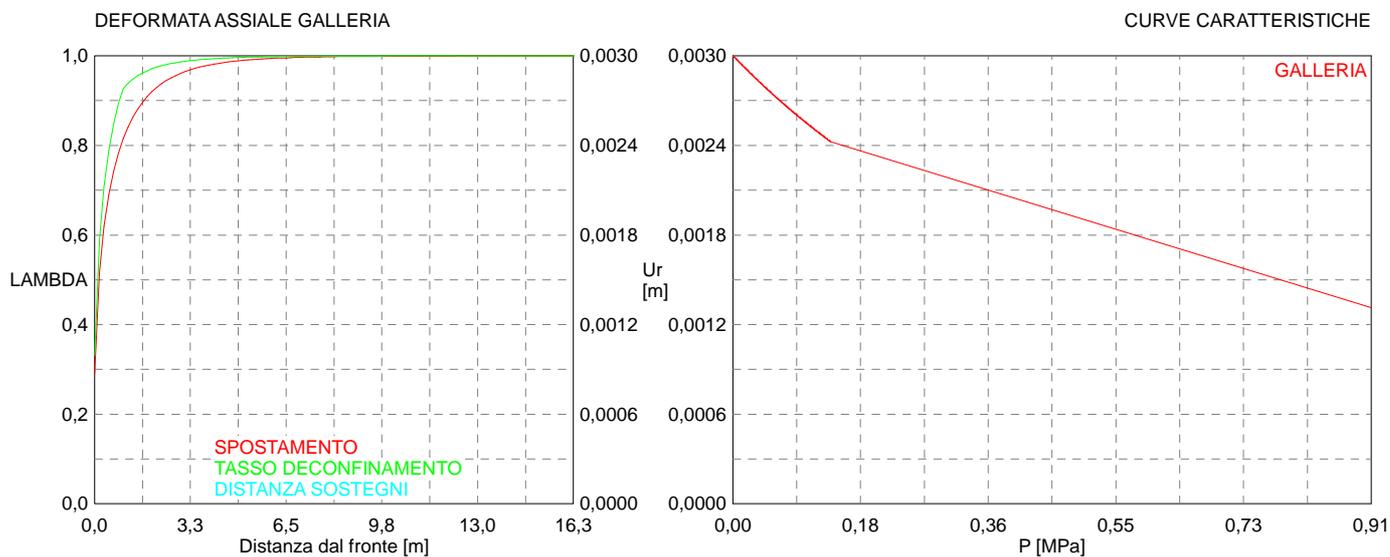
**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 7000 MPa NI: 0,25 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 1,82 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 34 °  
 C picco: 0,8 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,5 MPa  
 PSI: 0 °



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

AS\_Bas\_RMR55-70\_75m  
TERAPIA  
analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....	6.40000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	2.10000
Modulo di Young [MPa] .....	7000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.80000
Angolo attrito picco [°] .....	34.00000
Coesione residua [MPa] .....	.50000
Angolo attrito residuo [MPa] .....	24.00000
Angolo dilatanza [°] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	4.50000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	.11000
Forma del presinvestimento .....	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.15000
Modulo Young spritz [MPa] .....	20000.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.00000
Altezza sezione centina [m2] .....	.00000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00000000
Passo centine [m] .....	1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] .....	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] .....	19.20000
Resistenza ferro centine [MPa] .....	190.00000
BULLONI AD ANCORAGGIO PUNTUALE	
Modulo di Young [MPa] .....	210000.00000
Lunghezza [m] .....	6.00000
Sezione reagente [m2] .....	.00045
Spaziatura circonferenziale [°] .....	12.70000
Spaziatura longitudinale [m] .....	1.50000
Costante Q deform. piastra+ancoraggio [m/MN] .....	.00600
Resistenza a trazione [MPa] .....	255.00000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	300.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31220.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa] .....	9.75000
Opzione calcolo rivestimento .....	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000

Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.003079
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	7.459373
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.001236
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001002
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000893
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.471792

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00245
LAMBDA :	.92896
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00302
LAMBDA :	.99421
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00267
LAMBDA :	.95598
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00261
LAMBDA :	.94949
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00259
LAMBDA :	.94663

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.00308
LAMBDA :	.99962
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.00308
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica	
U [m] :	.00305
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.00304
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.00304
LAMBDA :	1.00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.003079
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.459373

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	7.45525
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.00085
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.00307
Spostamento alla messa in opera [m] .....	.00302
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00006
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.994207
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	.02048
Tensione centine [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz .....	937.59728
Coefficiente di sicurezza centine .....	1000.00000
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.44473
Pressione rottura centine [MPa] .....	.00000
Rigidezza spritz [MPa] .....	54.66424
Rigidezza centinatura [MPa] .....	.00000
BULLONI AD ANCORAGGIO PUNTUALE	
Tensione bulloni [MPa] .....	1.77517
Coefficiente di sicurezza .....	143.64850
Pressione rottura [MPa] .....	.05417
Rigidezza bullonatura [MPa] .....	43.45620

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	7.45637
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.00062
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.00308
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00307
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00000
Tensione CLS [MPa] .....	.00678
Coefficiente di sicurezza .....	1438.26307
Pressione rottura anello CLS [MPa] .....	.89107
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	3355.47327
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	1.000000

Diametro della galleria: 12,8 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 7000 MPa NI: 0,25 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 2,1 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 34 °  
 C picco: 0,8 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,5 MPa  
 PSI: 0 °

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0,001 °  
 C picco: 0,000001 MPa  
 PHI residuo: 0,001 °  
 C residua: 0,000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .15 m resistenza 19,2 MPa

Bulloni ad ancoraggio puntuale sezione 0,000452 m2 resistenza 255 MPa incidenza 0,47 bulloni/m2

Spostamento radiale anello chiuso ,0001 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 0,0 MPa

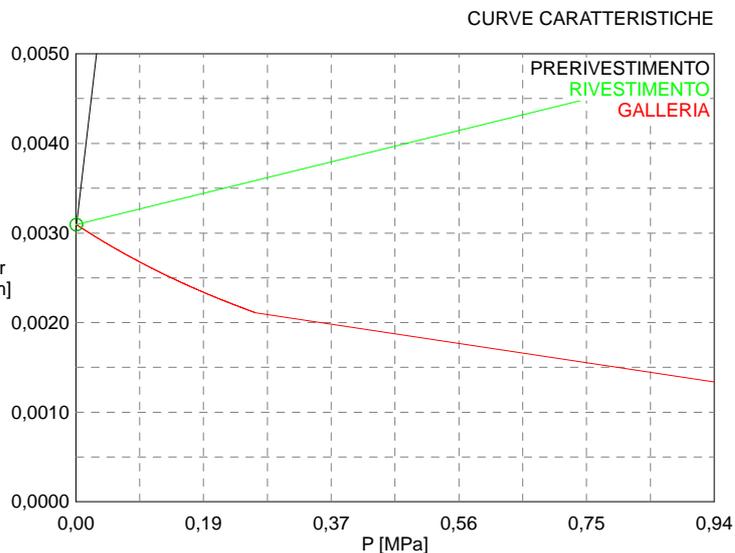
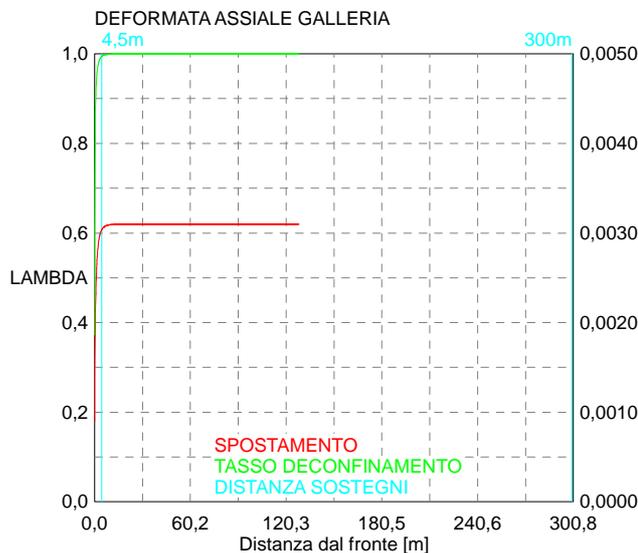
Bulloni ancoraggio puntuale 1,8 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0,6 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,0 m

Tensione CLS 0, MPa



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####      ##  ##   ##  ##
#####      #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

B0s\_Bas\_RMR55-70\_75m  
 TERAPIA  
 analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 6.50000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 2.10000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 7000.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .25000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .80000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 34.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .50000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

PRERIVESTIMENTO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .50000  
 Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
 Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] ..... .20000  
 Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
 Sezione centina [m2] ..... .00456  
 Altezza sezione centina [m2] ..... .16000  
 Posizione baricentro sezione centina [m] ..... .08000  
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00001870  
 Passo centine [m] ..... 1.20000  
 Modulo Young ferro centine [MPa] ..... 210000.00000  
 Resistenza compressione spritz [MPa] ..... 19.20000  
 Resistenza ferro centine [MPa] ..... 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 195.00000  
 Spessore CLS [m] ..... .70000  
 Modulo Young CLS [MPa] ..... 31220.00000  
 Coefficiente di Poisson CLS ..... .20000  
 Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 9.75000  
 Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .003127  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 7.575926  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001256  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001018  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000907  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.572914

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00153  
 LAMBDA : .62679

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00213  
 LAMBDA : .87252

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .00165  
 LAMBDA : .67610

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00146  
 LAMBDA : .59888

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00137  
 LAMBDA : .56292

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00312  
 LAMBDA : .99962

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00313  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .00303  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00302  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00302  
 LAMBDA : 1.00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .003127  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.575926

PRERIVESTIMENTO -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 7.51563  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .01237  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00307  
 Spostamento alla messa in opera [m] ..... .00213  
 Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .00094  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .872523  
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] ..... .34402  
 Tensione centine [MPa] ..... 3.33643  
 Coefficiente di sicurezza spritz ..... 55.81027  
 Coefficiente di sicurezza centine ..... 56.94717  
 Pressione rottura spritz [MPa] ..... .69054  
 Pressione rottura centine [MPa] ..... .70461  
 Rigidezza spritz [MPa] ..... 72.16072  
 Rigidezza centinatura [MPa] ..... 13.50462

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 7.53032  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00934  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00308  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .00307  
 Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00001  
 Tensione CLS [MPa] ..... .08898  
 Coefficiente di sicurezza ..... 109.58131  
 Pressione rottura anello CLS [MPa] ..... 1.02315  
 Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3927.91593  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... 1.000000

Diametro della galleria: 13 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 7000 MPa NI: 0,25 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 2,1 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 34 °  
 C picco: 0,8 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,5 MPa  
 PSI: 0 °

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0,001 °  
 C picco: 0,000001 MPa  
 PHI residuo: 0,001 °  
 C residua: 0,000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .2 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,00456 m<sup>2</sup> passo 1,2 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0009 m

TENSIONI ANELLO CHIUSO

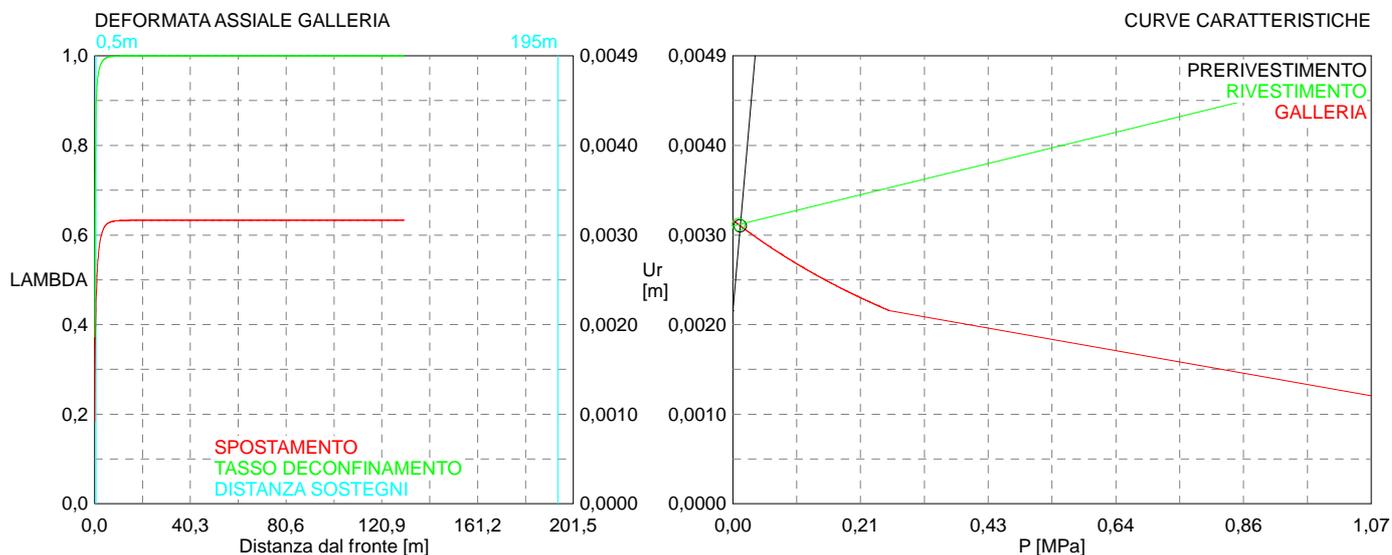
Spritz-beton 0,3 MPa Centine 3,3 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0,7 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,00001 m

Tensione CLS 0,1 MPa



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

B0s-p\_Bas\_RMR55-70\_65m  
 TERAPIA  
 analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 8.15000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 1.82000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 7000.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .80000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 34.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .50000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

PRERIVESTIMENTO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .50000  
 Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
 Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] ..... .30000  
 Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
 Sezione centina [m2] ..... .00790  
 Altezza sezione centina [m2] ..... .22000  
 Posizione baricentro sezione centina [m] ..... .11000  
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00006120  
 Passo centine [m] ..... 1.00000  
 Modulo Young ferro centine [MPa] ..... 210000.00000  
 Resistenza compressione spritz [MPa] ..... 19.20000  
 Resistenza ferro centine [MPa] ..... 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 195.00000  
 Spessore CLS [m] ..... .90000  
 Modulo Young CLS [MPa] ..... 31220.00000  
 Coefficiente di Poisson CLS ..... .20000  
 Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 9.75000  
 Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .003121  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 8.874160  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001377  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001052  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000905  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.150000

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00159  
 LAMBDA : .57554

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00216  
 LAMBDA : .78330

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .00167  
 LAMBDA : .60553

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00140  
 LAMBDA : .50717

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00127  
 LAMBDA : .46270

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00312  
 LAMBDA : .99962

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00312  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .00303  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00302  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00301  
 LAMBDA : 1.00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .003121  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 8.874160

PRERIVESTIMENTO -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 8.80497  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .01212  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00306  
 Spostamento alla messa in opera [m] ..... .00216  
 Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .00091  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .783301  
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] ..... .26656  
 Tensione centine [MPa] ..... 2.56556  
 Coefficiente di sicurezza spritz ..... 72.02902  
 Coefficiente di sicurezza centine ..... 74.05787  
 Pressione rottura spritz [MPa] ..... .87287  
 Pressione rottura centine [MPa] ..... .89745  
 Rigidezza spritz [MPa] ..... 86.72001  
 Rigidezza centinatura [MPa] ..... 22.39141

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 8.82482  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00862  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00308  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .00306  
 Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00002  
 Tensione CLS [MPa] ..... .07974  
 Coefficiente di sicurezza ..... 122.26635  
 Pressione rottura anello CLS [MPa] ..... 1.05375  
 Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 4063.76941  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... 1.000000

Diametro della galleria: 16,3 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 7000 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 1,82 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

PHI picco: 34 °  
 C picco: 0,8 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,5 MPa  
 PSI: 0 °

RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 0,001 °  
 C picco: 0,000001 MPa  
 PHI residuo: 0,001 °  
 C residua: 0,000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,0079 m2 passo 1 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0009 m

TENSIONI ANELLO CHIUSO

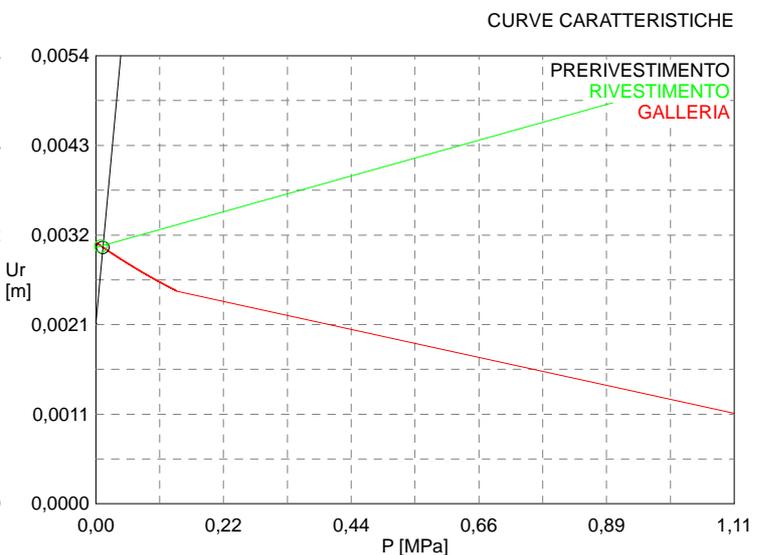
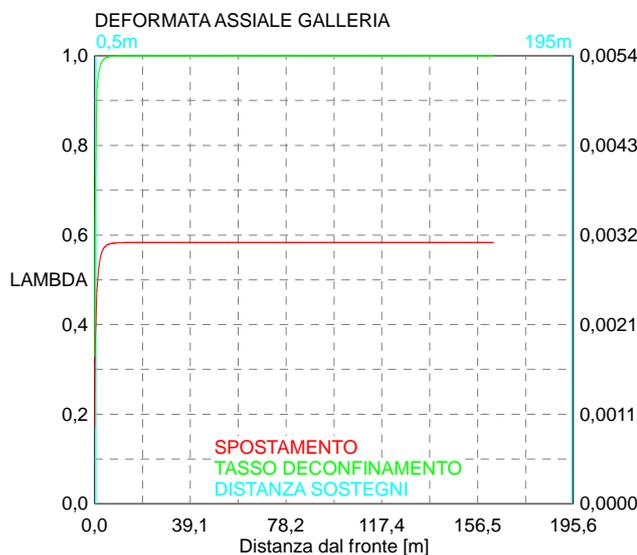
Spritz-beton 0,3 MPa Centine 2,6 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0,9 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,00002 m

Tensione CLS 0,1 MPa



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

B0V\_Bas\_RMR40-55\_75m  
 TERAPIA  
 analisi base

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 6.70000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 1.95000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 2000.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... .40000  
 Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... .32000  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.00000  
 Angolo dilatanza [°] ..... .00000

PRERIVESTIMENTO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... .50000  
 Coefficiente riduzione rigidezza ..... .11000  
 Forma del presinvestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] ..... .20000  
 Modulo Young spritz [MPa] ..... 20000.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz ..... .20000  
 Sezione centina [m2] ..... .00558  
 Altezza sezione centina [m2] ..... .18000  
 Posizione baricentro sezione centina [m] ..... .09000  
 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00002900  
 Passo centine [m] ..... 1.00000  
 Modulo Young ferro centine [MPa] ..... 210000.00000  
 Resistenza compressione spritz [MPa] ..... 19.20000  
 Resistenza ferro centine [MPa] ..... 190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 160.00000  
 Spessore CLS [m] ..... .70000  
 Modulo Young CLS [MPa] ..... 31220.00000  
 Coefficiente di Poisson CLS ..... .20000  
 Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 9.75000  
 Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] .. .000000  
 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .016750  
 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 10.595052  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .006343  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .003962  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .004858  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 7.974137

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00749  
 LAMBDA : .77823

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .01024  
 LAMBDA : .87650

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .00807  
 LAMBDA : .80344

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00611  
 LAMBDA : .70206

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00685  
 LAMBDA : .74616

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .01671  
 LAMBDA : .99947

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .01675  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .01399  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .01344  
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .01366  
 LAMBDA : 1.00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.016750
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	10.595052
PRERIVESTIMENTO -----	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	10.00344
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.05892
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.01467
Spostamento alla messa in opera [m] .....	.01024
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00443
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.876498
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	1.57146
Tensione centine [MPa] .....	15.25806
Coefficiente di sicurezza spritz .....	12.21796
Coefficiente di sicurezza centine .....	12.45244
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.71984
Pressione rottura centine [MPa] .....	.73365
Rigidezza spritz [MPa] .....	69.95837
Rigidezza centinatura [MPa] .....	19.23851
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	10.03151
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.05593
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.01476
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01467
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00010
Tensione CLS [MPa] .....	.54895
Coefficiente di sicurezza .....	17.76121
Pressione rottura anello CLS [MPa] .....	.99346
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	3797.31310
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	1.000000

Diametro della galleria: 13,4 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 2000 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 1,95 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

PHI picco: 30 °  
 C picco: 0,4 MPa  
 PHI residuo: 24 °  
 C residua: 0,32 MPa  
 PSI: 0 °

RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 0,001 °  
 C picco: 0,000001 MPa  
 PHI residuo: 0,001 °  
 C residua: 0,000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .2 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,00558 m2 passo 1 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0044 m

TENSIONI ANELLO CHIUSO

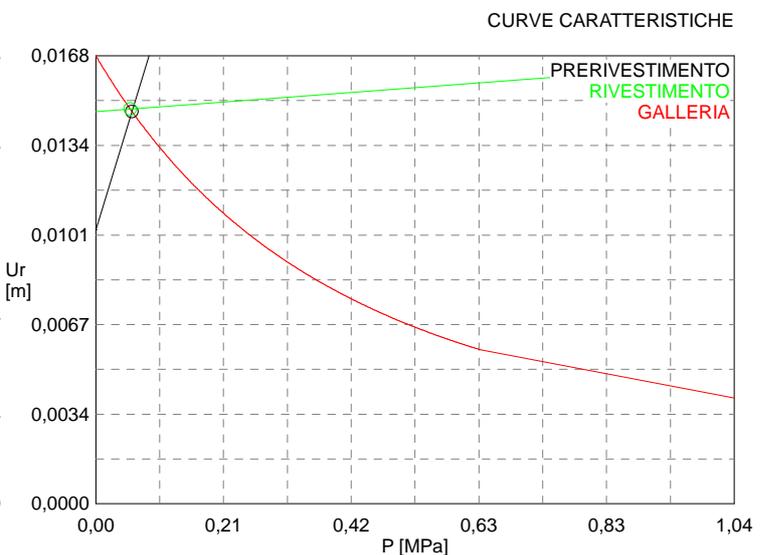
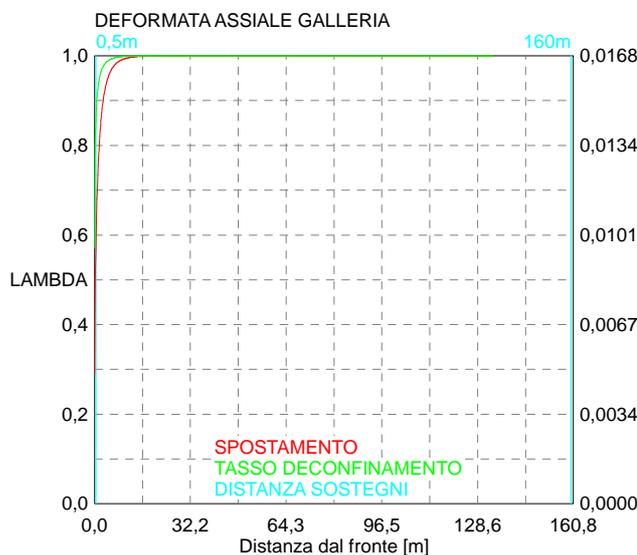
Spritz-beton 1,6 MPa Centine 15,3 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0,7 m resistenza 9,75 MPa gioco radiale 0 m

Spostamento radiale 0,0001 m

Tensione CLS 0,5 MPa



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

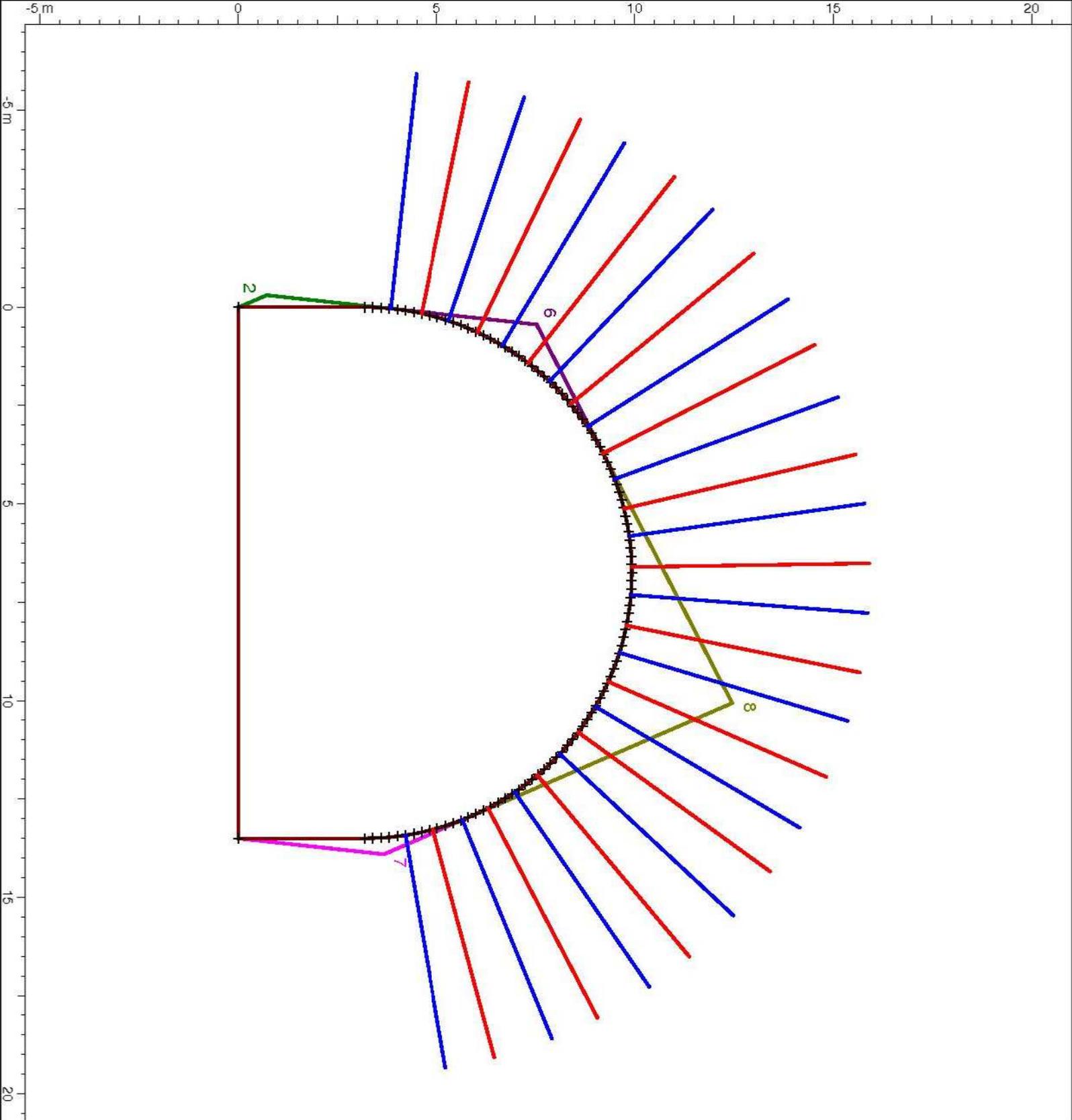


IG5101ECVCLGNSA00001A00

Foglio  
56 di 56

## 11.2 Analisi UNWEDGE

**Analisi UNWEDGE – Galleria Borzoli**



### Wedge Information

Lower Left wedge [2]  
 Factor of Safety: 2.013  
 Wedge Weight: 0.618 tonnes  
 Apex Height: 0.31 m

Upper Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 15.400  
 Wedge Weight: 3.873 tonnes  
 Apex Height: 0.92 m

Lower Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 2.474  
 Wedge Weight: 1.492 tonnes  
 Apex Height: 0.42 m

Roof wedge [8]  
 Factor of Safety: 1.468  
 Wedge Weight: 53.550 tonnes  
 Apex Height: 3.10 m

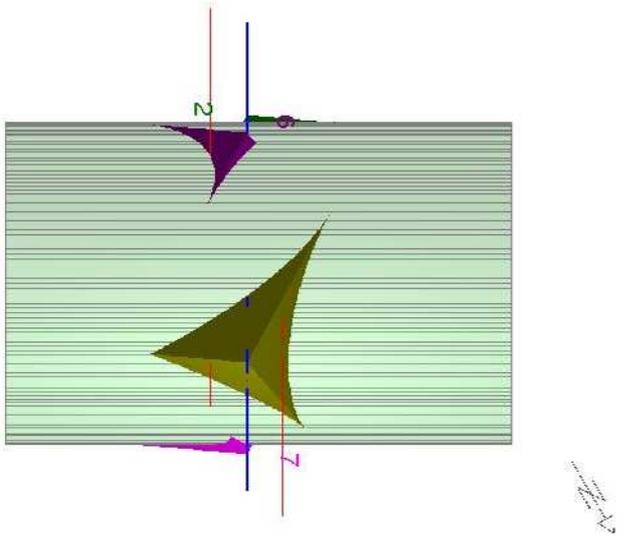
### Wedge Information

Lower Left wedge [2]  
Factor of Safety: 2.013  
Wedge Weight: 0.618 tonnes  
Apex Height: 0.31 m

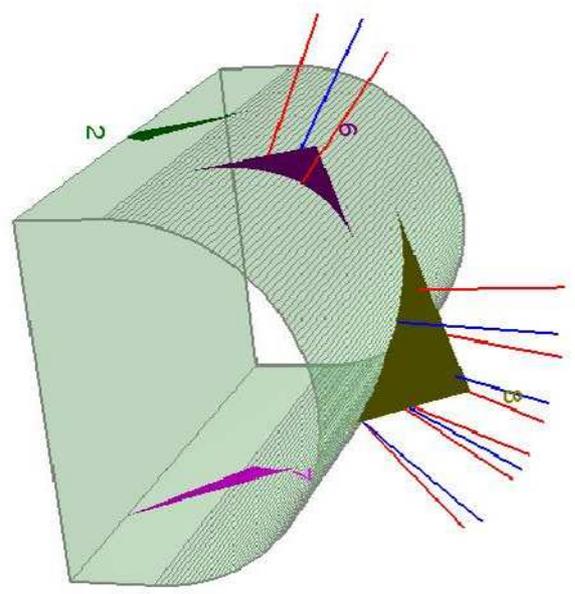
Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 15.400  
Wedge Weight: 3.873 tonnes  
Apex Height: 0.92 m

Lower Right wedge [7]  
Factor of Safety: 2.474  
Wedge Weight: 1.492 tonnes  
Apex Height: 0.42 m

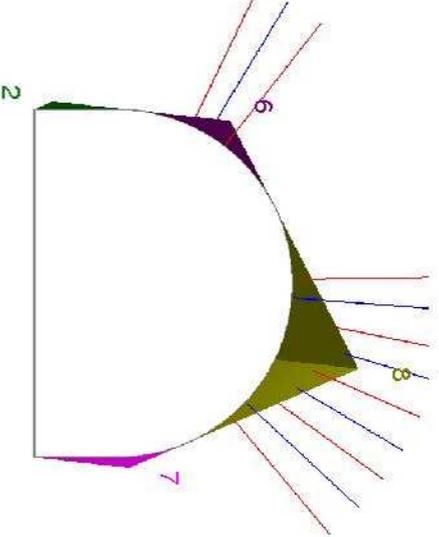
Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 1.468  
Wedge Weight: 53.550 tonnes  
Apex Height: 3.10 m



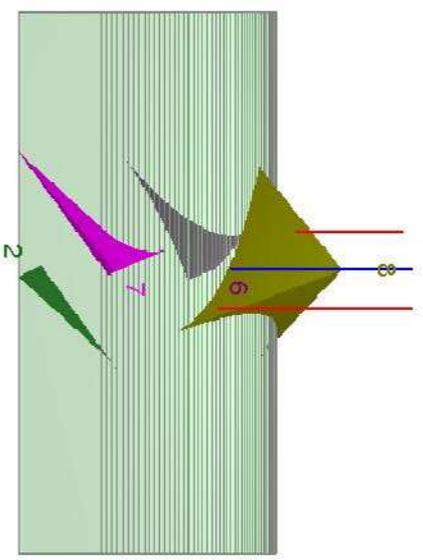
Top



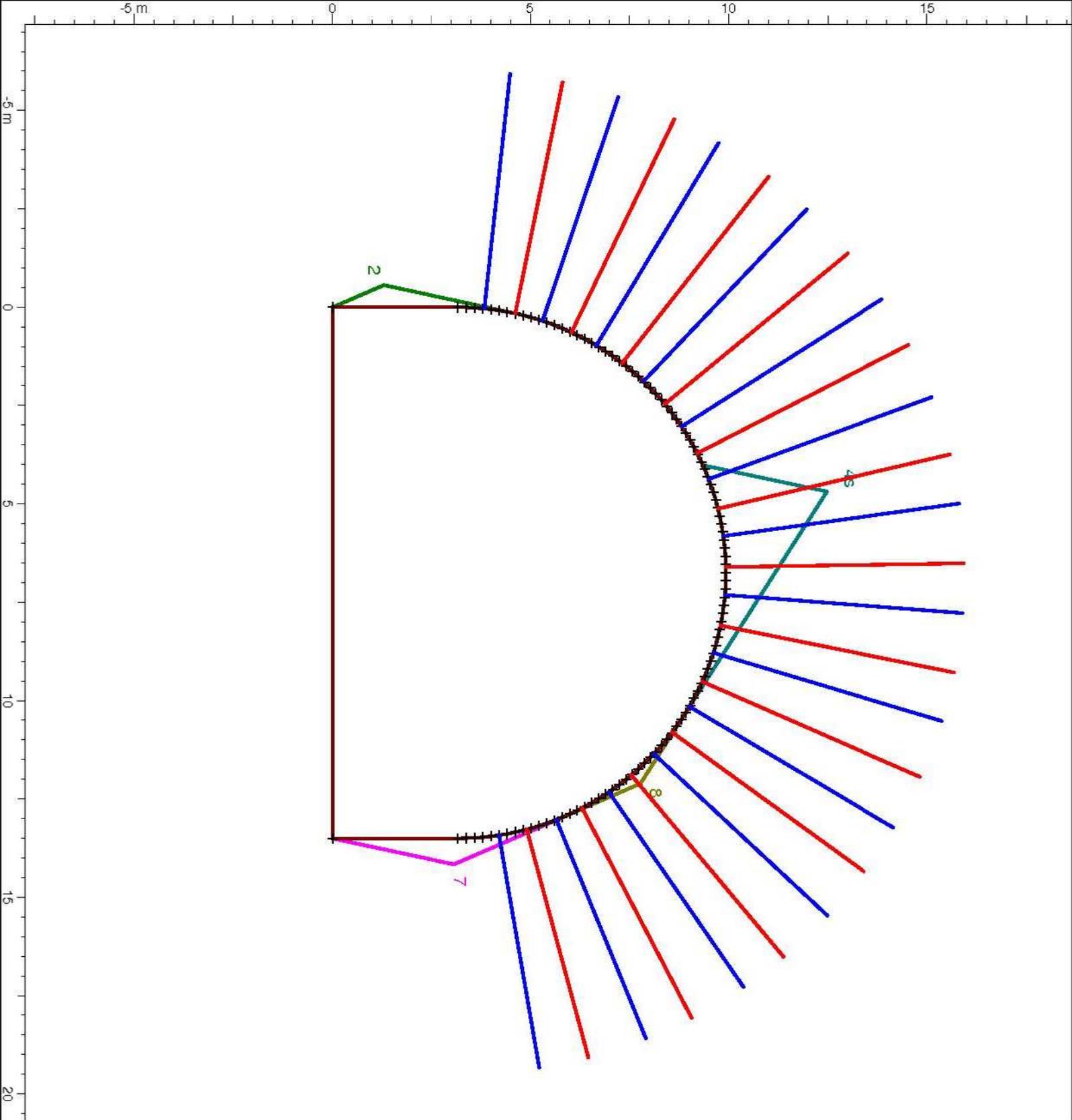
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Lower Left wedge [2]  
 Factor of Safety: 2.013  
 Wedge Weight: 1.318 tonnes  
 Apex Height: 0.56 m

Root wedge [4]  
 Factor of Safety: 2.567  
 Wedge Weight: 20.231 tonnes  
 Apex Height: 2.77 m

Lower Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 7.736  
 Wedge Weight: 2.293 tonnes  
 Apex Height: 0.66 m

Upper Right wedge [8]  
 Factor of Safety: 14.804  
 Wedge Weight: 0.275 tonnes  
 Apex Height: 0.31 m

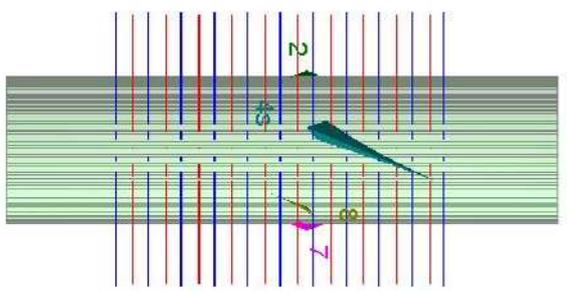
### Wedge Information

Lower Left wedge [2]  
Factor of Safety: 2.013  
Wedge Weight: 1.318 tonnes  
Apex Height: 0.56 m

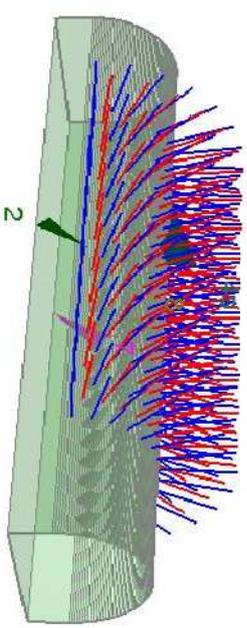
Root wedge [4]  
Factor of Safety: 2.567  
Wedge Weight: 20.231 tonnes  
Apex Height: 2.77 m

Lower Right wedge [7]  
Factor of Safety: 7.736  
Wedge Weight: 2.293 tonnes  
Apex Height: 0.66 m

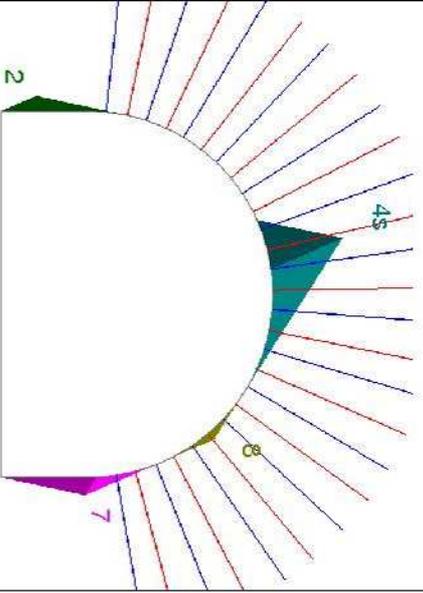
Upper Right wedge [8]  
Factor of Safety: 14.804  
Wedge Weight: 0.275 tonnes  
Apex Height: 0.31 m



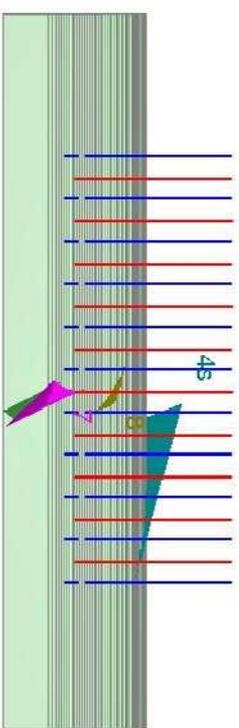
Top - Wedge 4 Scaled



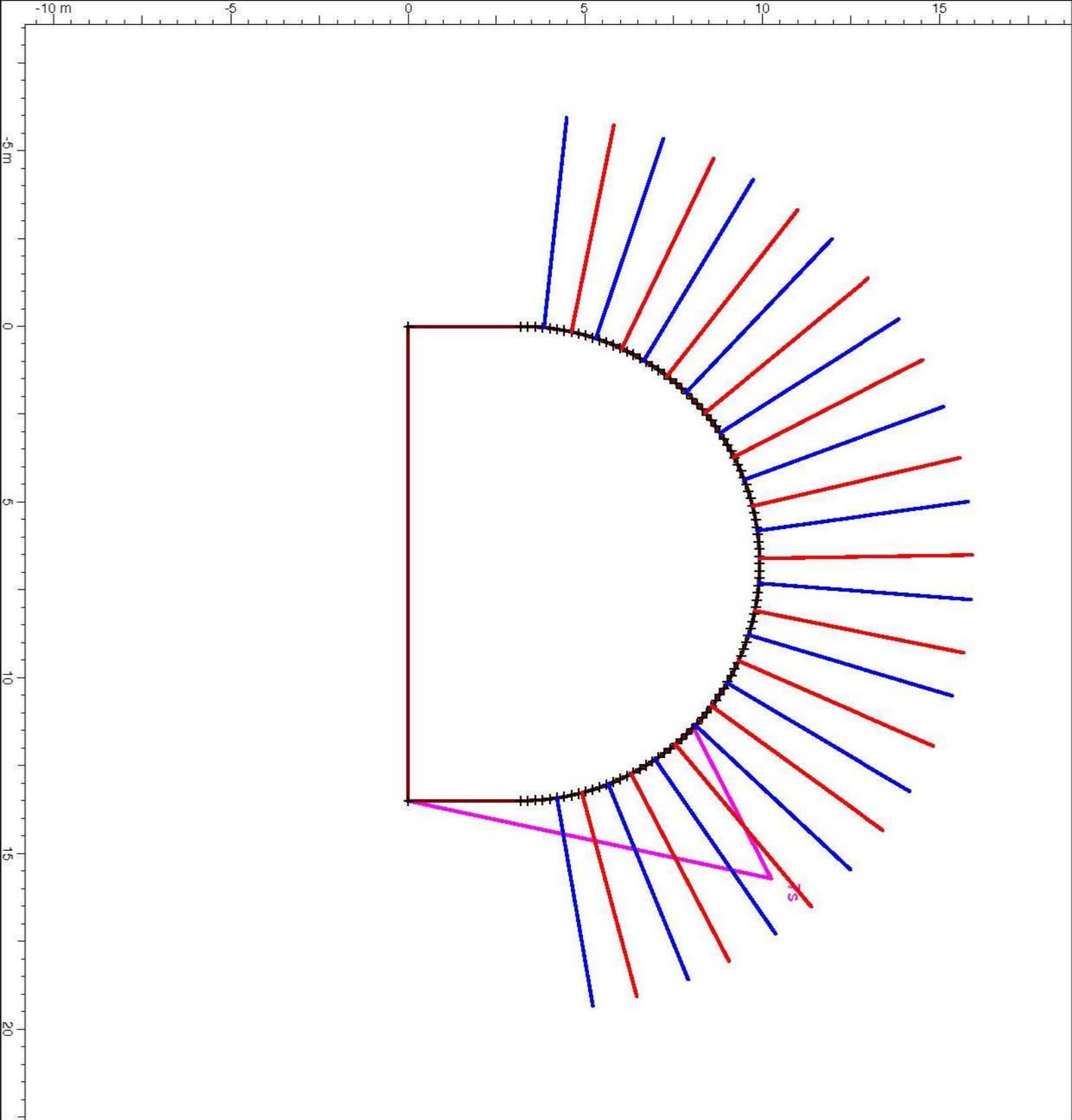
Perspective - Wedge 4 Scaled



Front - Wedge 4 Scaled



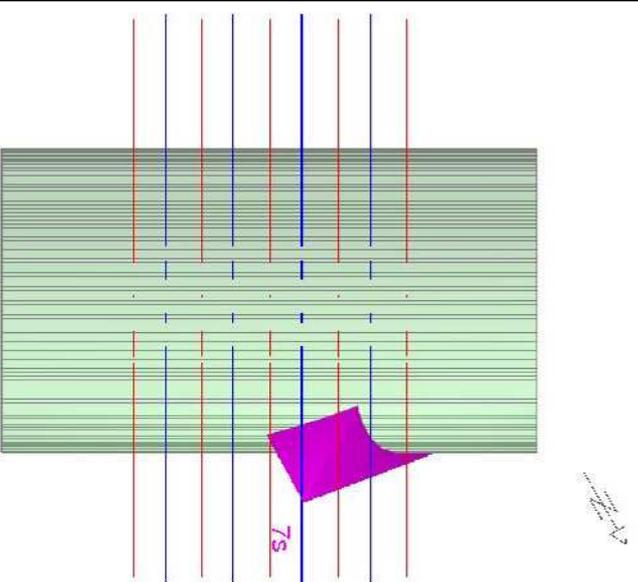
Side - Wedge 4 Scaled



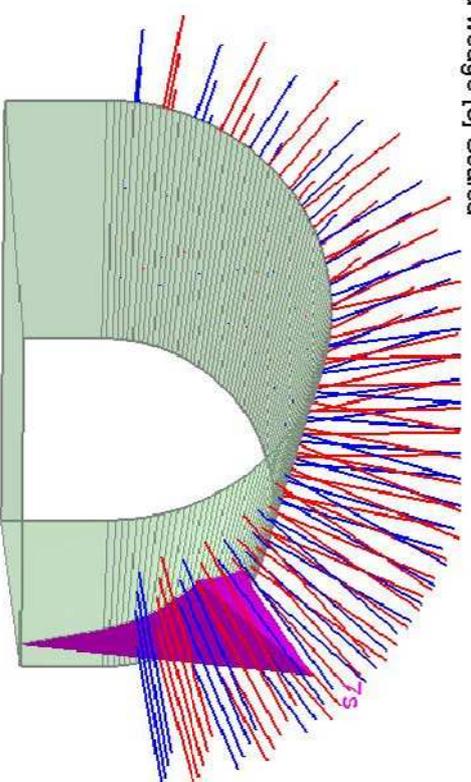
**Wedge Information**

Upper Right wedge [7]  
Factor of Safety: 3.582  
Wedge Weight: 54.529 tonnes  
Apex Height: 4.67 m

not formed wedge [3] Scaled



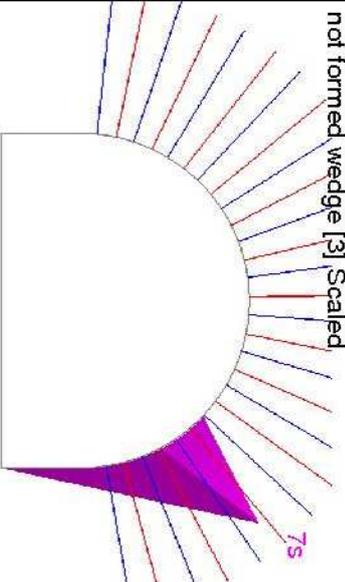
not formed wedge [3] Scaled



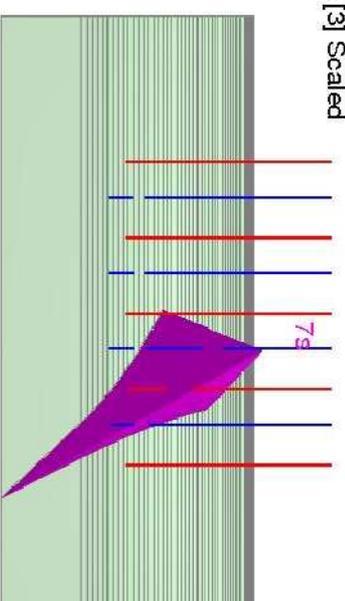
### Wedge Information

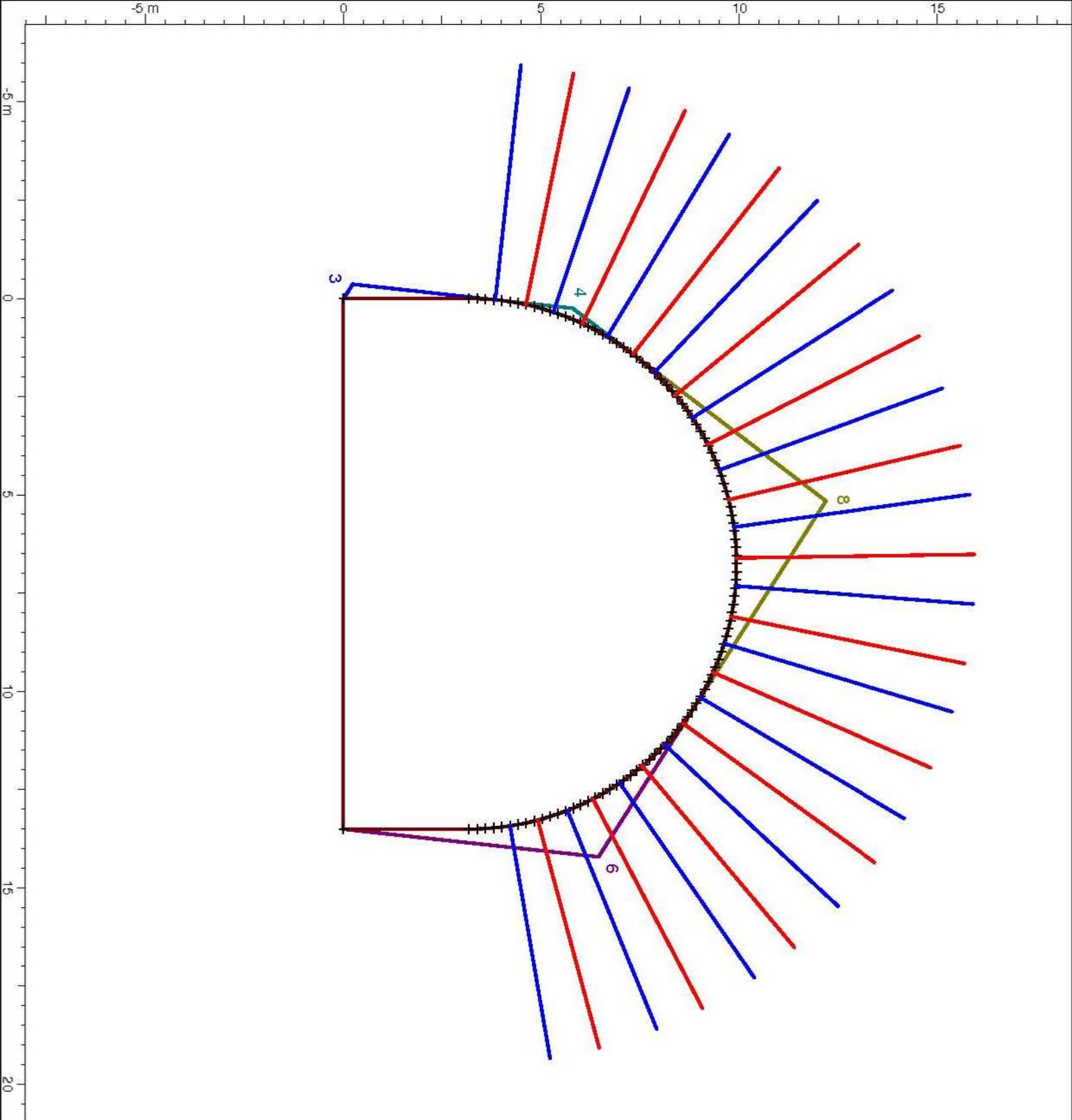
Upper Right wedge [7]  
Factor of Safety: 3.582  
Wedge Weight: 54.529 tonnes  
Apex Height: 4.67 m

not formed wedge [3] Scaled



not formed wedge [3] Scaled





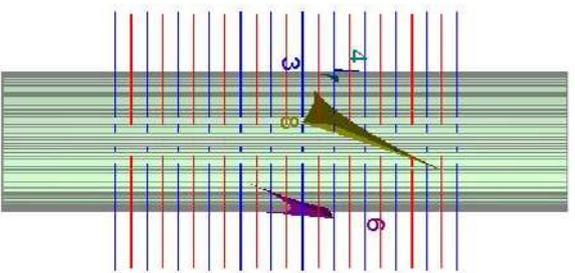
### Wedge Information

Lower Left wedge [3]  
 Factor of Safety: 27.095  
 Wedge Weight: 0.768 tonnes  
 Apex Height: 0.36 m

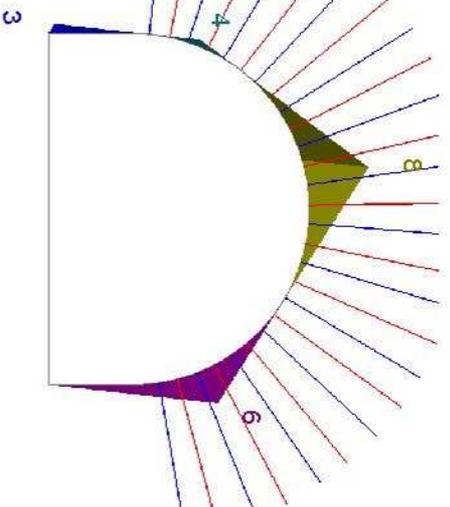
Upper Left wedge [4]  
 Factor of Safety: 52.022  
 Wedge Weight: 0.261 tonnes  
 Apex Height: 0.26 m

Upper Right wedge [6]  
 Factor of Safety: 7.597  
 Wedge Weight: 13.210 tonnes  
 Apex Height: 1.39 m

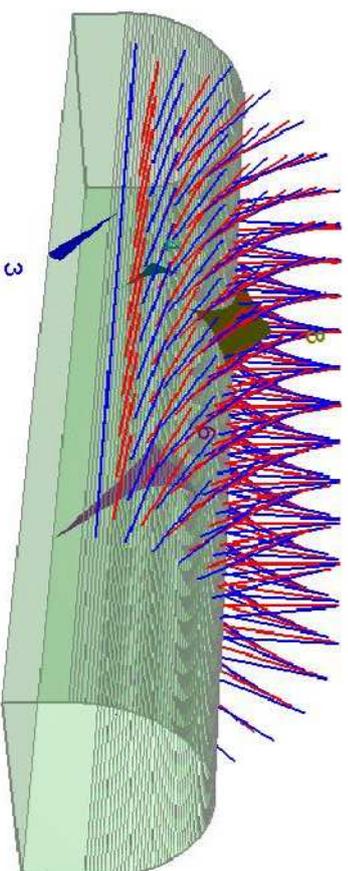
Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 3.017  
 Wedge Weight: 32.801 tonnes  
 Apex Height: 2.39 m



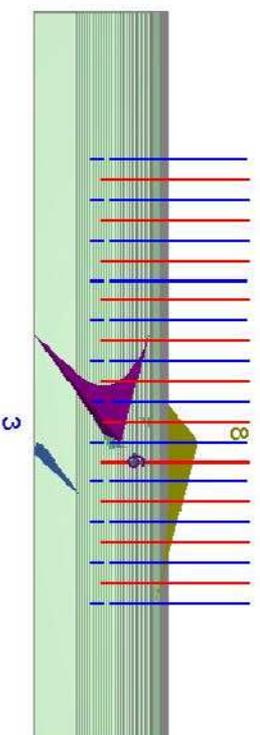
Top



Front



Perspective



Side

### Wedge Information

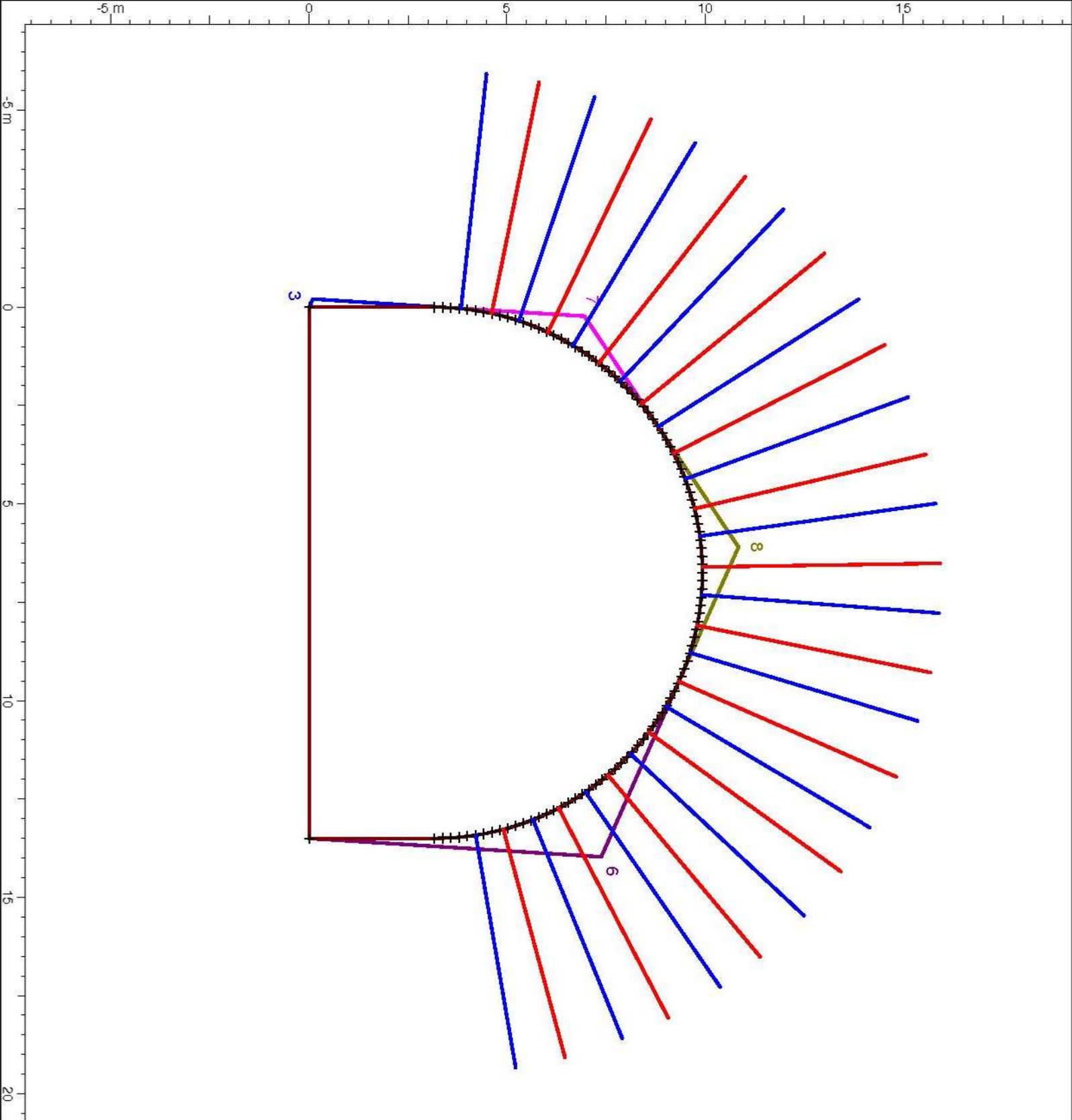
Lower Left wedge [3]  
Factor of Safety: 27.095  
Wedge Weight: 0.768 tonnes  
Apex Height: 0.36 m

Upper Left wedge [4]  
Factor of Safety: 52.022  
Wedge Weight: 0.261 tonnes  
Apex Height: 0.26 m

Upper Right wedge [6]  
Factor of Safety: 7.597  
Wedge Weight: 13.210 tonnes  
Apex Height: 1.39 m

Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 3.017  
Wedge Weight: 32.801 tonnes  
Apex Height: 2.39 m

**Analisi UNWEDGE – Galleria Erzelli**  
**SETTORE A**



### Wedge Information

Lower Left wedge [3]  
 Factor of Safety: 21.535  
 Wedge Weight: 0.125 tonnes  
 Apex Height: 0.21 m

Upper Right wedge [6]  
 Factor of Safety: 3.051  
 Wedge Weight: 10.156 tonnes  
 Apex Height: 1.60 m

Upper Left wedge [7]  
 Factor of Safety: 9.975  
 Wedge Weight: 1.963 tonnes  
 Apex Height: 0.79 m

Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 3.450  
 Wedge Weight: 2.839 tonnes  
 Apex Height: 0.94 m

### Wedge Information

#### Lower Left wedge [3]

Factor of Safety: 21.535  
Wedge Weight: 0.125 tonnes  
Apex Height: 0.21 m

#### Upper Right wedge [6]

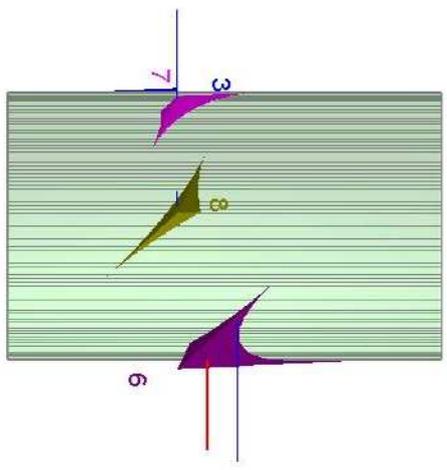
Factor of Safety: 3.051  
Wedge Weight: 10.156 tonnes  
Apex Height: 1.60 m

#### Upper Left wedge [7]

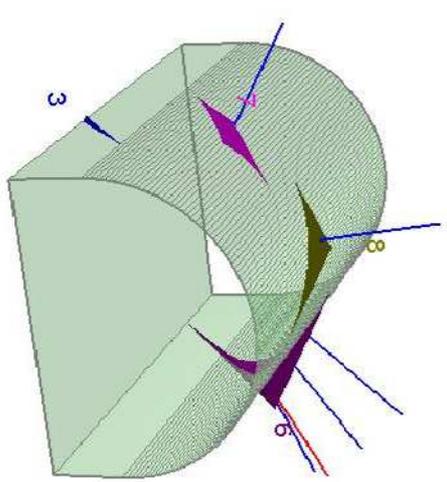
Factor of Safety: 9.975  
Wedge Weight: 1.963 tonnes  
Apex Height: 0.79 m

#### Roof wedge [8]

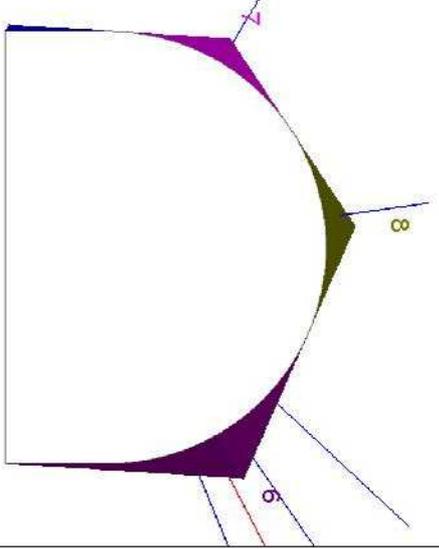
Factor of Safety: 3.450  
Wedge Weight: 2.839 tonnes  
Apex Height: 0.94 m



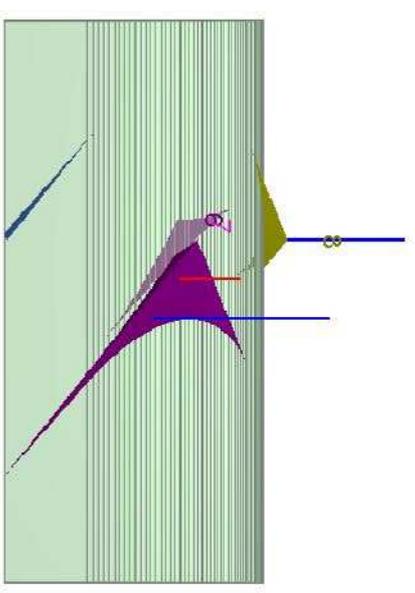
Top



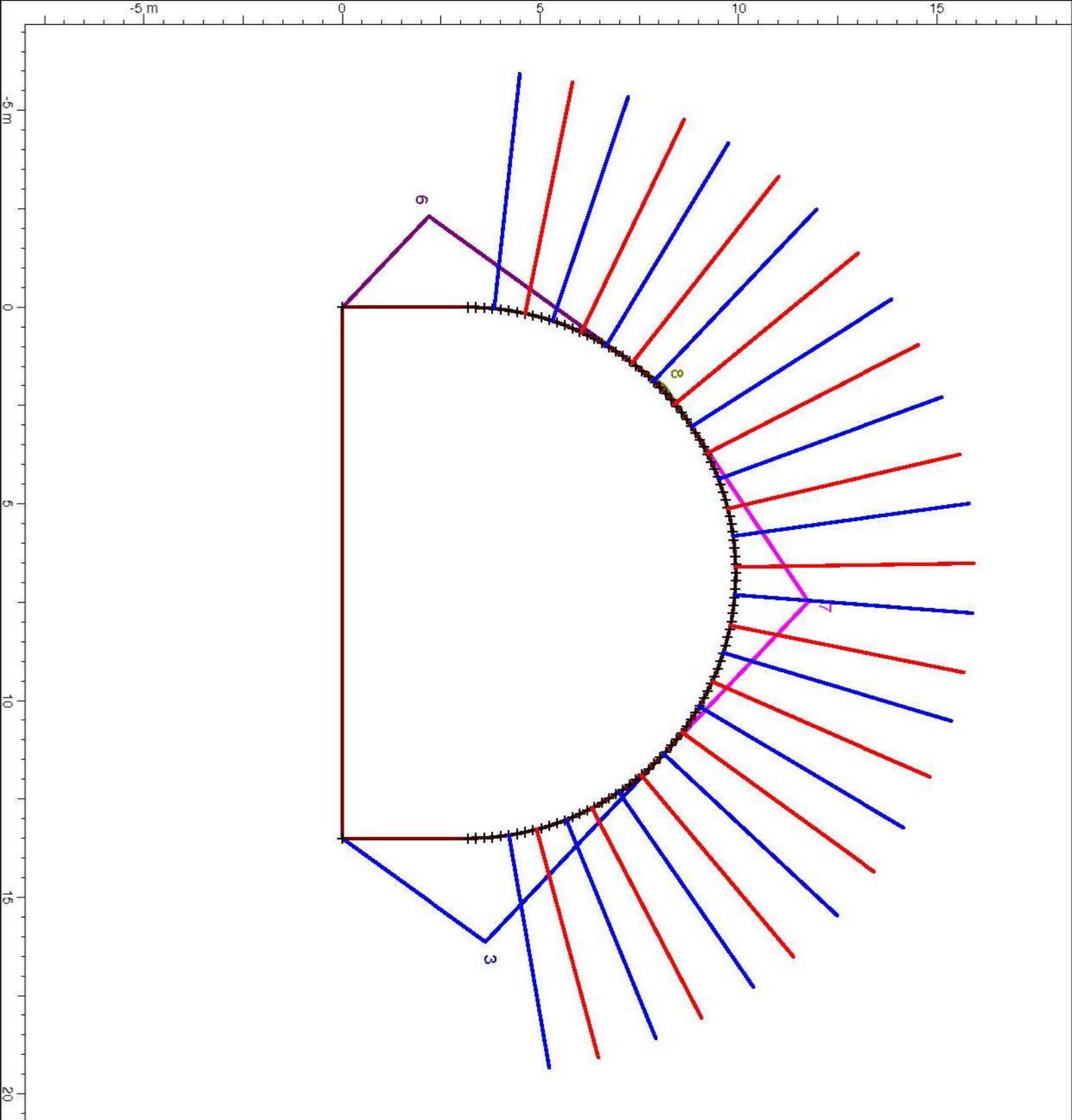
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
 Factor of Safety: 2.729  
 Wedge Weight: 18,210 tonnes  
 Apex Height: 2.65 m

Lower Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 29.038  
 Wedge Weight: 12,534 tonnes  
 Apex Height: 2.32 m

Root wedge [7]  
 Factor of Safety: 3.222  
 Wedge Weight: 7,910 tonnes  
 Apex Height: 1.86 m

Upper Left wedge [8]  
 Factor of Safety: 278.865  
 Wedge Weight: 0.017 tonnes  
 Apex Height: 0.11 m

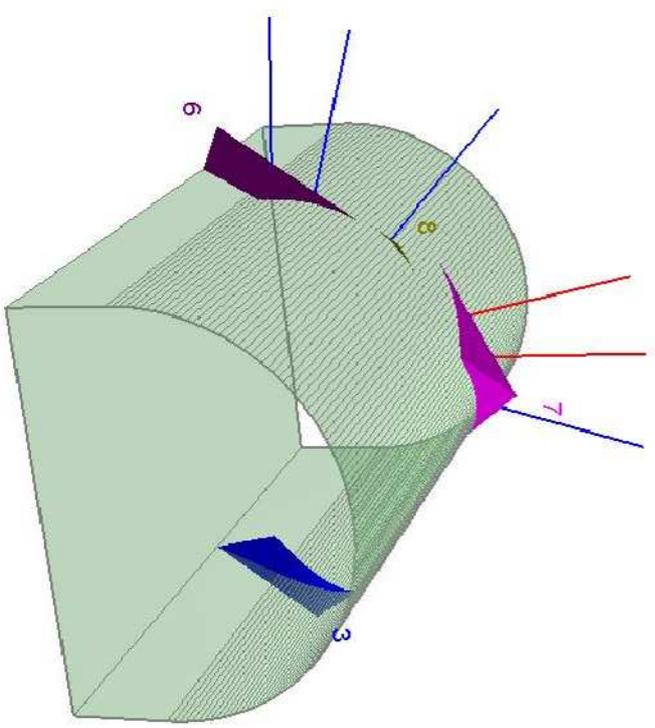
### Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
Factor of Safety: 2.729  
Wedge Weight: 18,210 tonnes  
Apex Height: 2.65 m

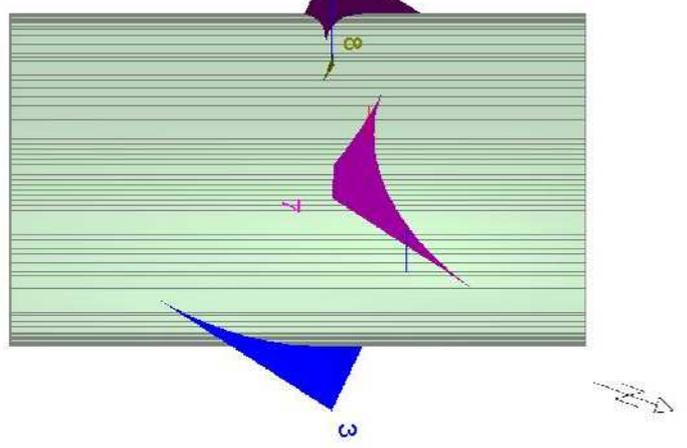
Lower Left wedge [6]  
Factor of Safety: 29.038  
Wedge Weight: 12,534 tonnes  
Apex Height: 2.32 m

Root wedge [7]  
Factor of Safety: 3.222  
Wedge Weight: 7,910 tonnes  
Apex Height: 1.86 m

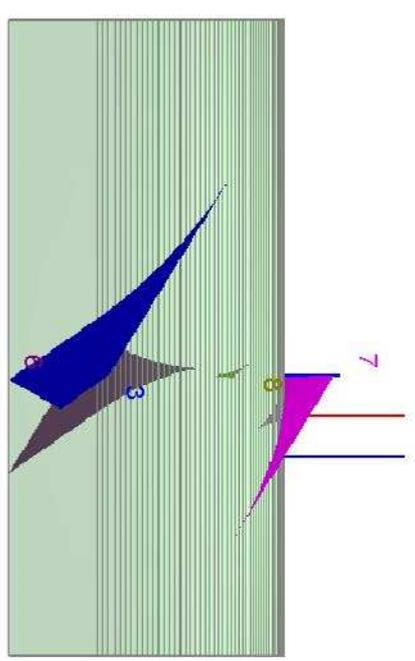
Upper Left wedge [8]  
Factor of Safety: 278.865  
Wedge Weight: 0.017 tonnes  
Apex Height: 0.11 m



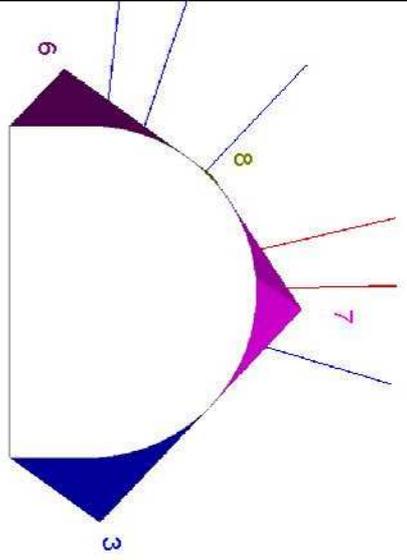
Perspective



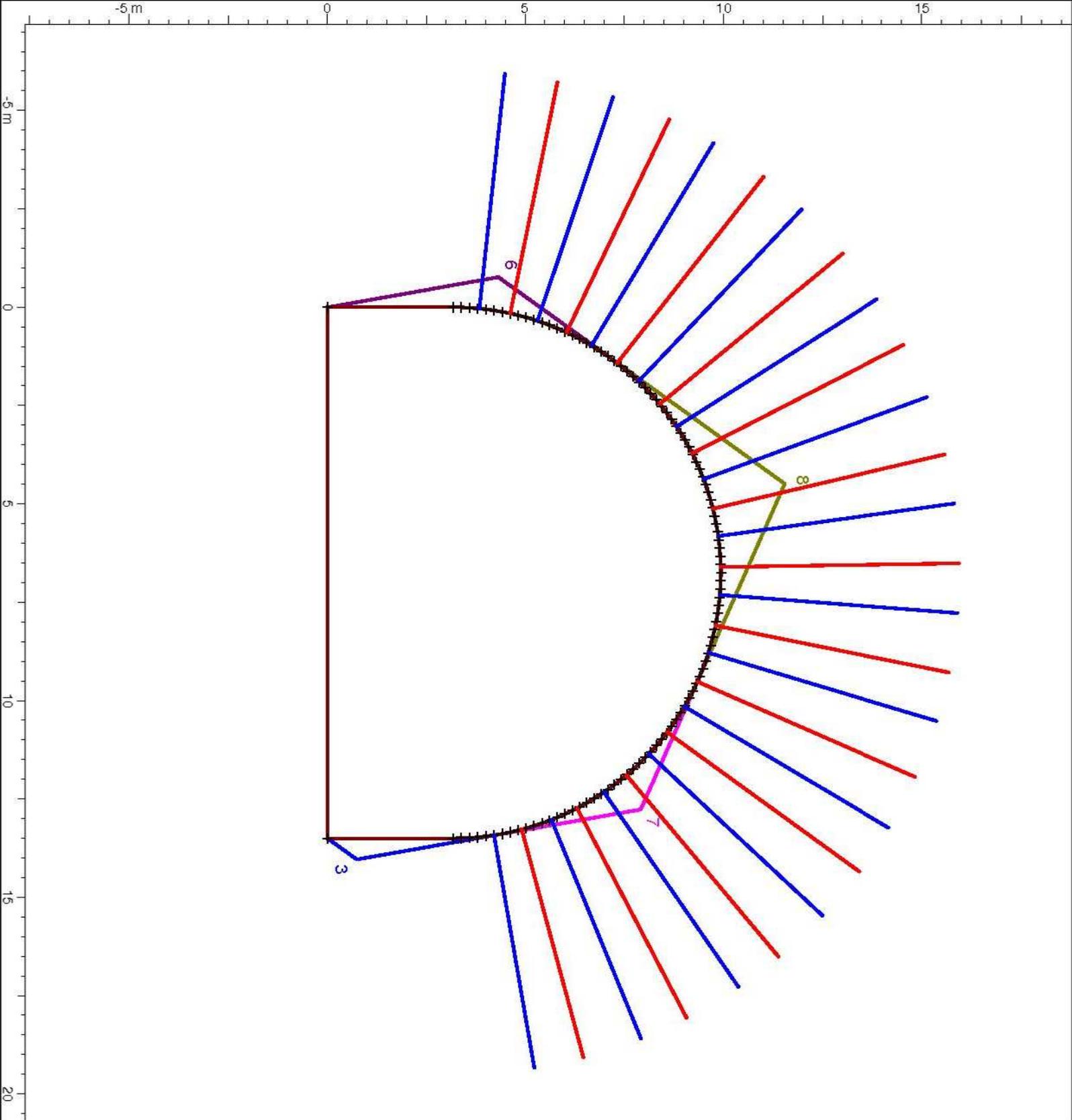
Top



Side



Front



### Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
 Factor of Safety: 2.729  
 Wedge Weight: 1.120 tonnes  
 Apex Height: 0.54 m

Lower Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 9.127  
 Wedge Weight: 3.989 tonnes  
 Apex Height: 0.85 m

Upper Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 9.152  
 Wedge Weight: 2.807 tonnes  
 Apex Height: 0.91 m

Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 2.479  
 Wedge Weight: 14.225 tonnes  
 Apex Height: 1.91 m

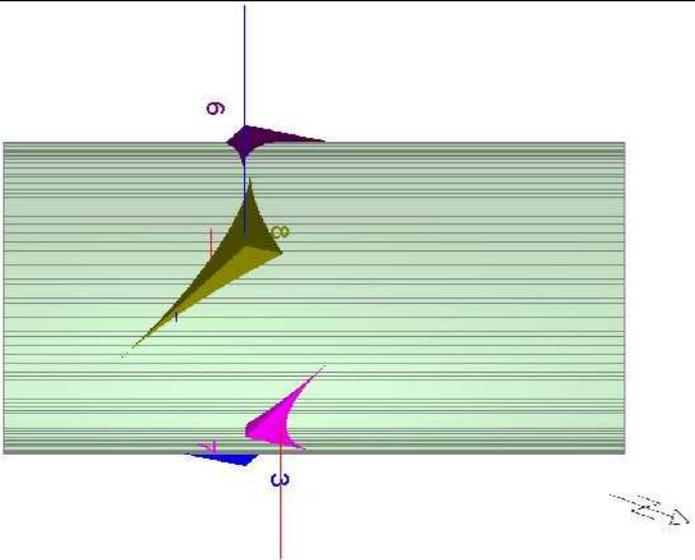
## Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
Factor of Safety: 2.729  
Wedge Weight: 1.120 tonnes  
Apex Height: 0.54 m

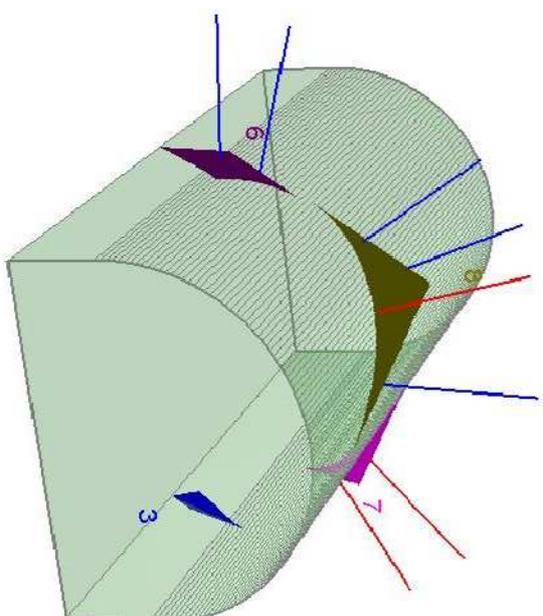
Lower Left wedge [6]  
Factor of Safety: 9.127  
Wedge Weight: 3.989 tonnes  
Apex Height: 0.85 m

Upper Right wedge [7]  
Factor of Safety: 9.152  
Wedge Weight: 2.807 tonnes  
Apex Height: 0.91 m

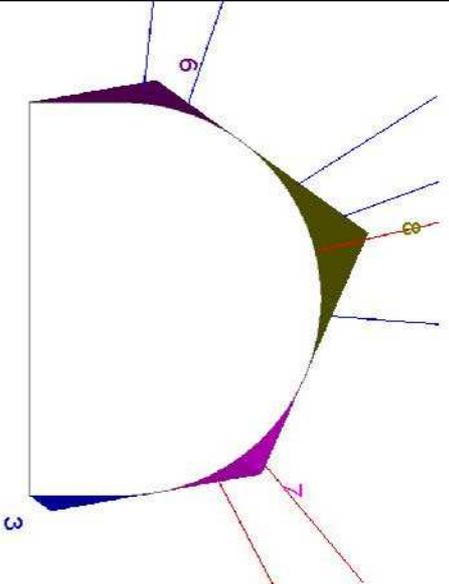
Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 2.479  
Wedge Weight: 14.225 tonnes  
Apex Height: 1.91 m



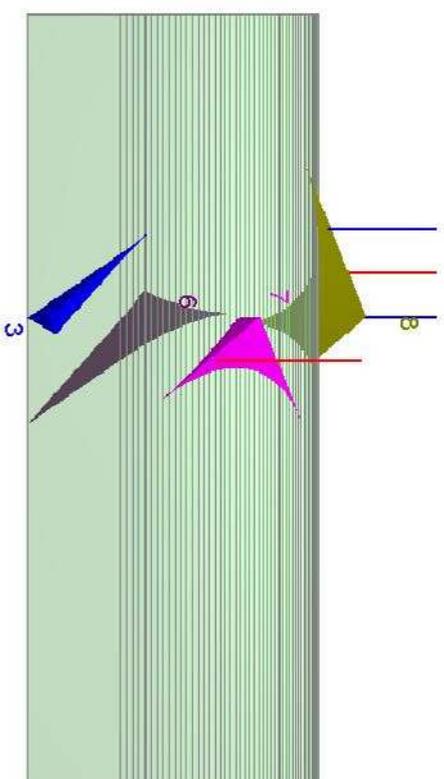
Top



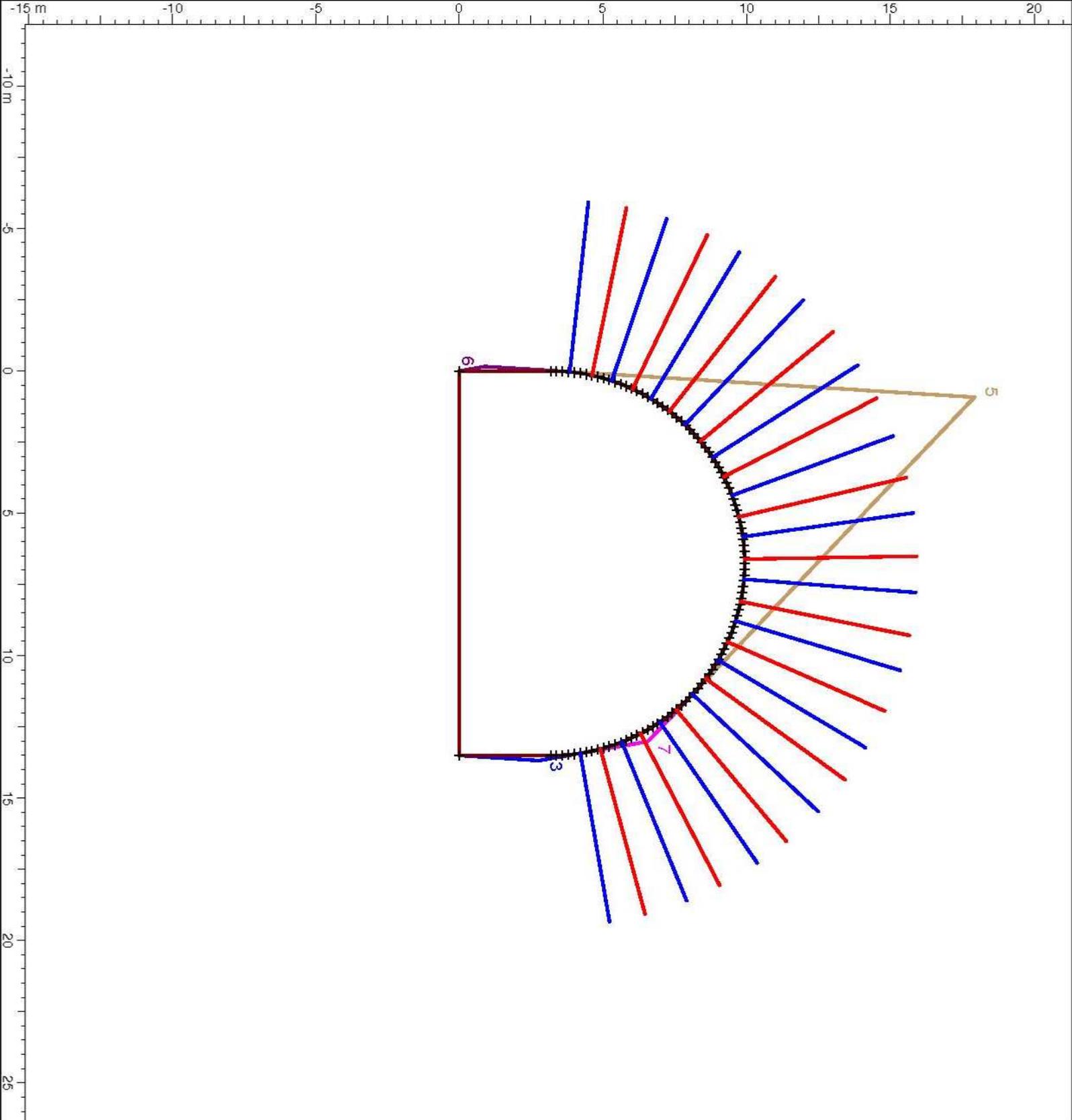
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
 Factor of Safety: 3.051  
 Wedge Weight: 0.110 tonnes  
 Apex Height: 0.18 m

Root wedge [5]  
 Factor of Safety: 2.992  
 Wedge Weight: 169.757 tonnes  
 Apex Height: 9.11 m

Lower Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 1.586  
 Wedge Weight: 0.079 tonnes  
 Apex Height: 0.16 m

Upper Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 1.340  
 Wedge Weight: 0.182 tonnes  
 Apex Height: 0.36 m

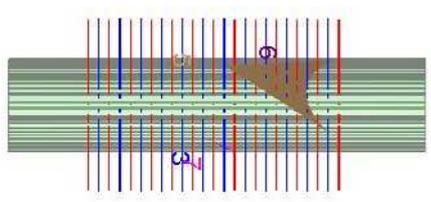
### Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
Factor of Safety: 3.051  
Wedge Weight: 0.110 tonnes  
Apex Height: 0.18 m

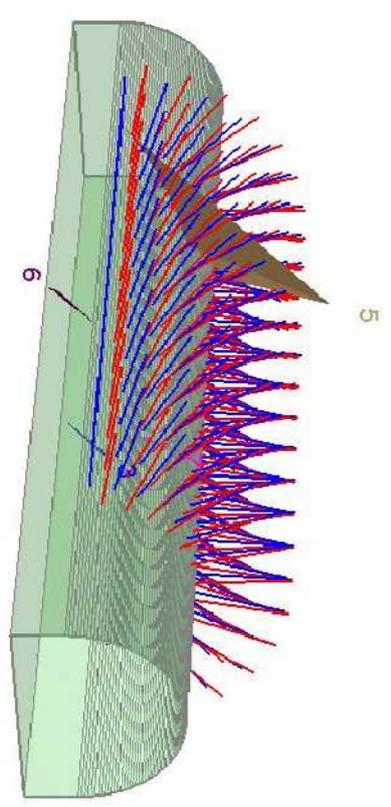
Root wedge [5]  
Factor of Safety: 2.992  
Wedge Weight: 169.757 tonnes  
Apex Height: 9.11 m

Lower Left wedge [6]  
Factor of Safety: 1.586  
Wedge Weight: 0.079 tonnes  
Apex Height: 0.16 m

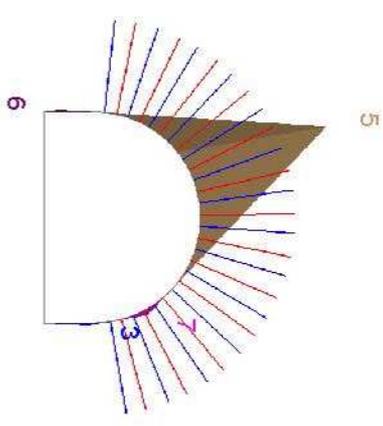
Upper Right wedge [7]  
Factor of Safety: 1.340  
Wedge Weight: 0.182 tonnes  
Apex Height: 0.36 m



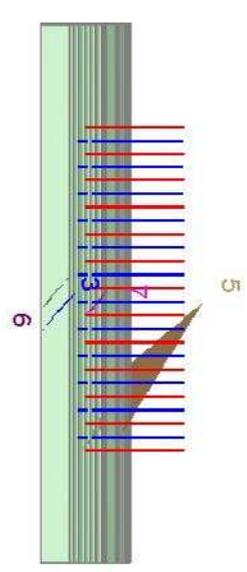
Top



Perspective

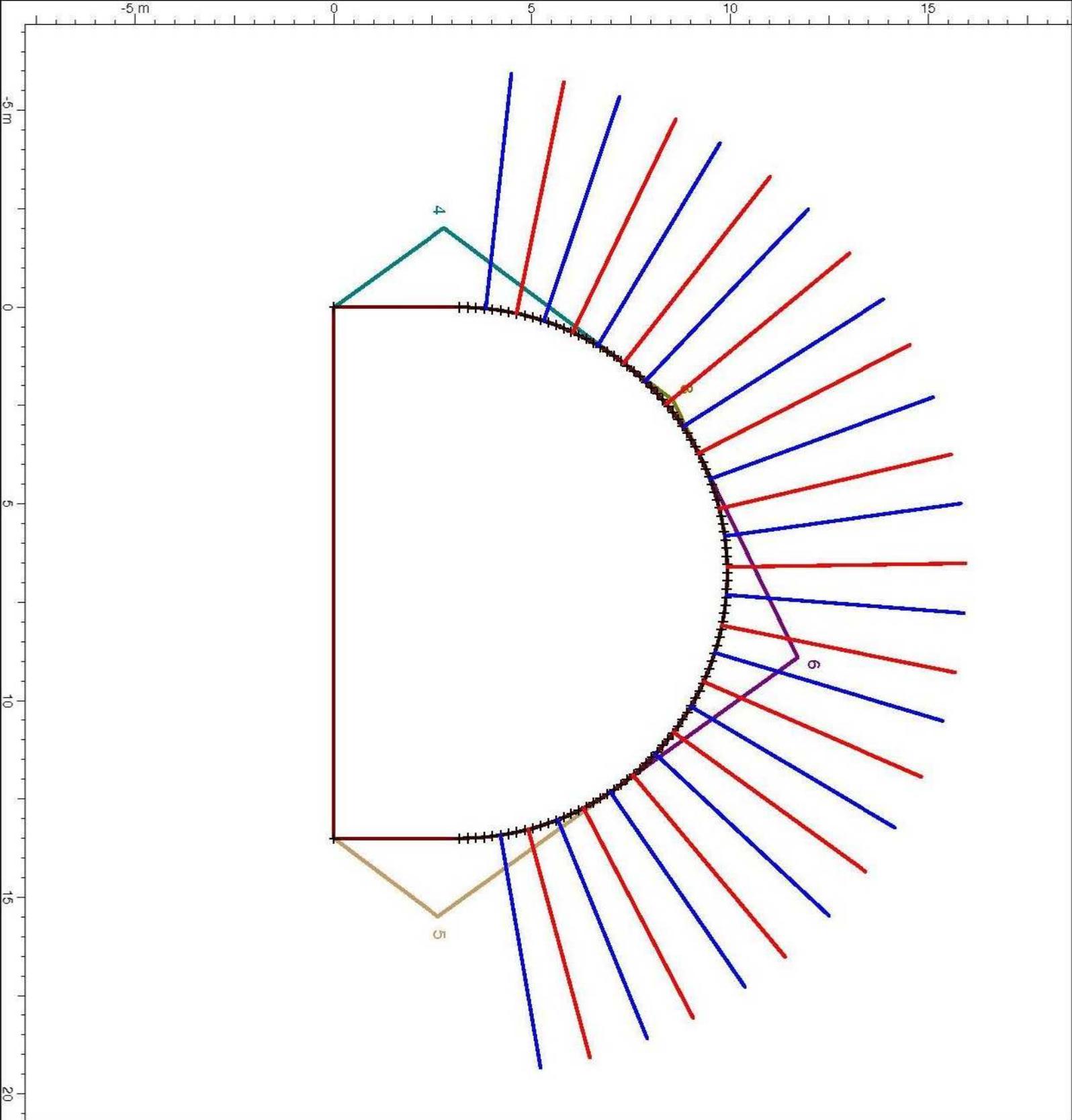


Front



Side

**Analisi UNWEDGE – Galleria Erzelli**  
**SETTORE B**



**Wedge Information**

Lower Left wedge [4]  
 Factor of Safety: 8.214  
 Wedge Weight: 17.411 tonnes  
 Apex Height: 2.02 m

Lower Right wedge [5]  
 Factor of Safety: 2.810  
 Wedge Weight: 15.962 tonnes  
 Apex Height: 1.99 m

Root wedge [6]  
 Factor of Safety: 2.120  
 Wedge Weight: 16.666 tonnes  
 Apex Height: 2.04 m

Upper Left wedge [8]  
 Factor of Safety: 47.083  
 Wedge Weight: 0.100 tonnes  
 Apex Height: 0.19 m

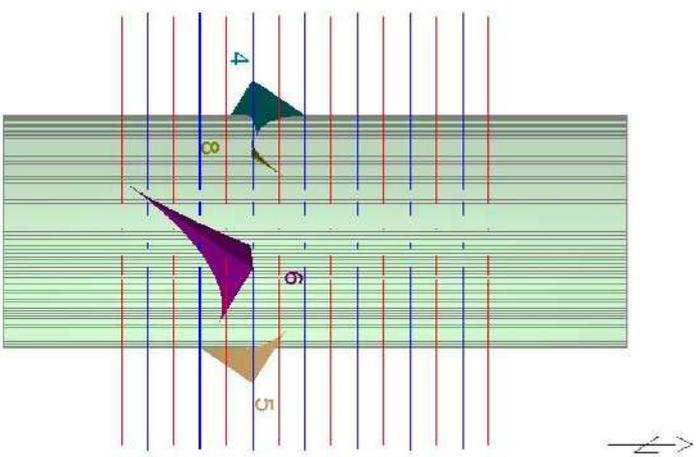
## Wedge Information

Lower Left wedge [4]  
Factor of Safety: 8.214  
Wedge Weight: 17.411 tonnes  
Apex Height: 2.02 m

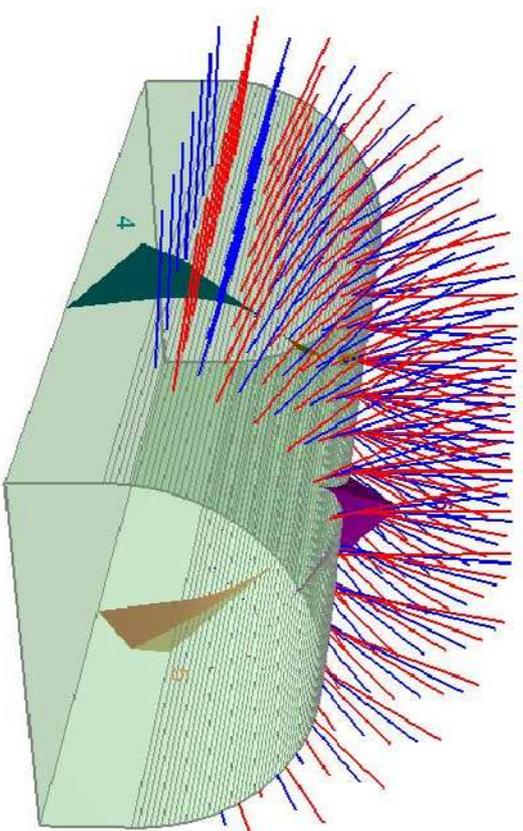
Lower Right wedge [5]  
Factor of Safety: 2.810  
Wedge Weight: 15.962 tonnes  
Apex Height: 1.99 m

Root wedge [6]  
Factor of Safety: 2.120  
Wedge Weight: 16.666 tonnes  
Apex Height: 2.04 m

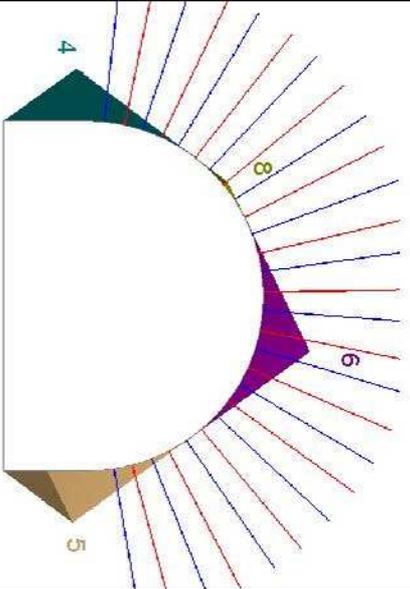
Upper Left wedge [8]  
Factor of Safety: 47.083  
Wedge Weight: 0.100 tonnes  
Apex Height: 0.19 m



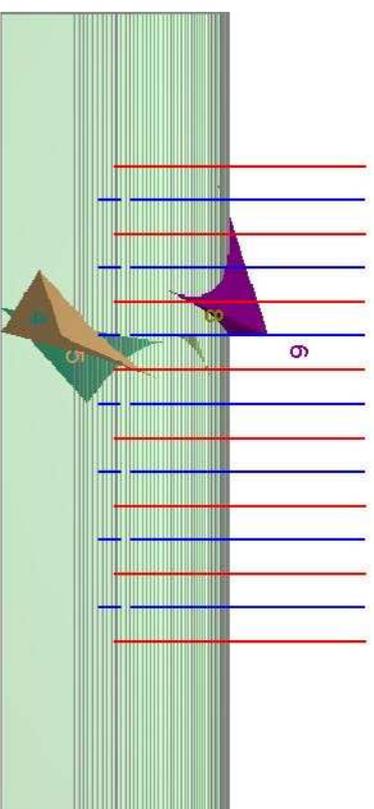
Top



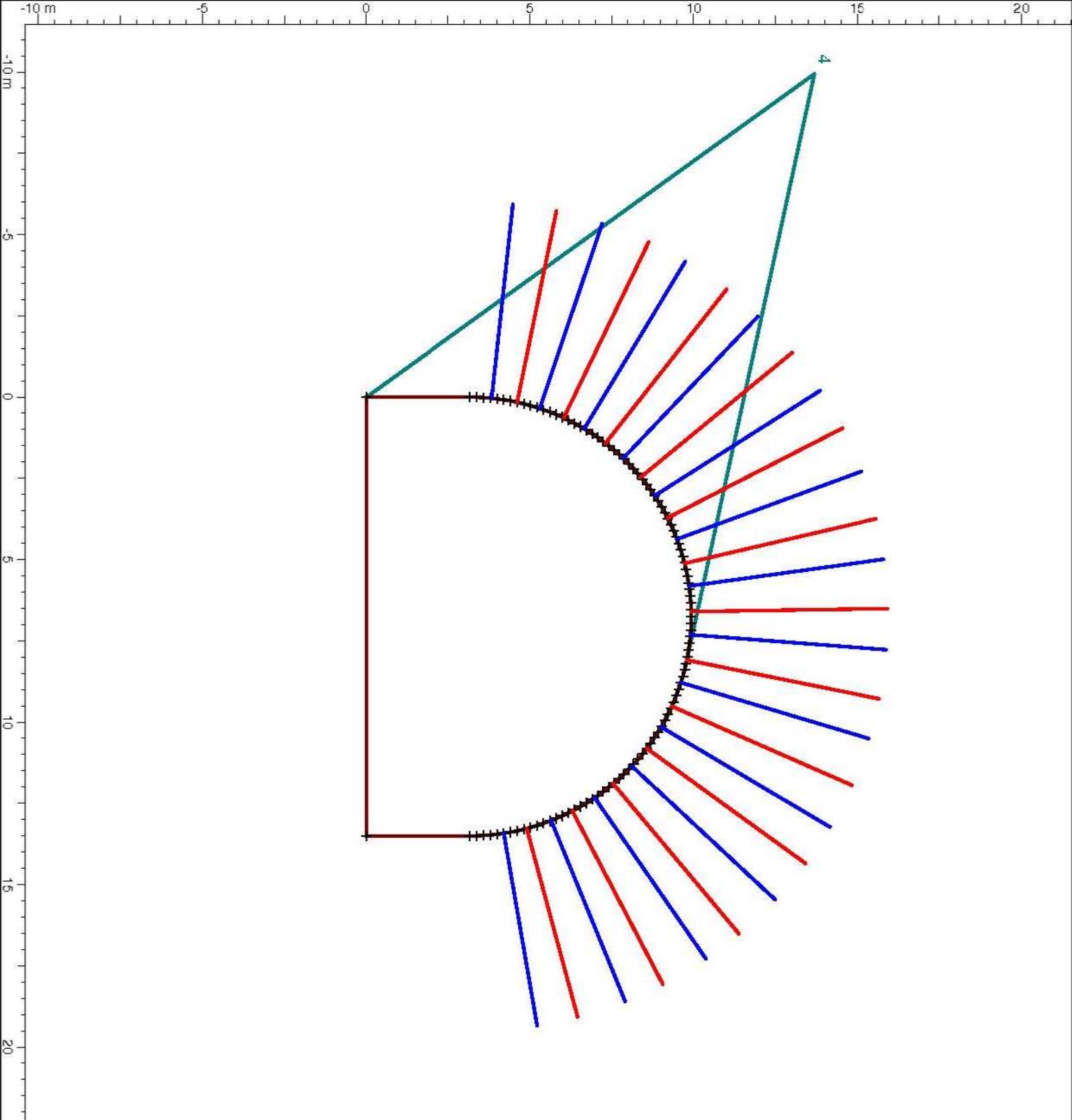
Perspective



Front



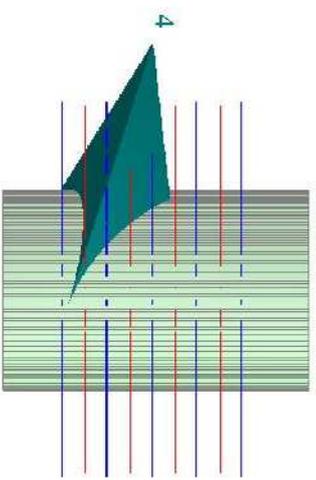
Side



**Wedge Information**

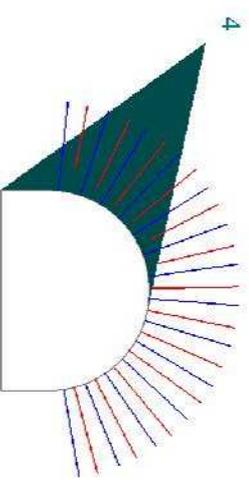
Upper Left wedge [4]  
Factor of Safety: 4.306  
Wedge Weight: 375.622 tonnes  
Apex Height: 12.98 m

Upper Left wedge [4]  
FS: 4.306

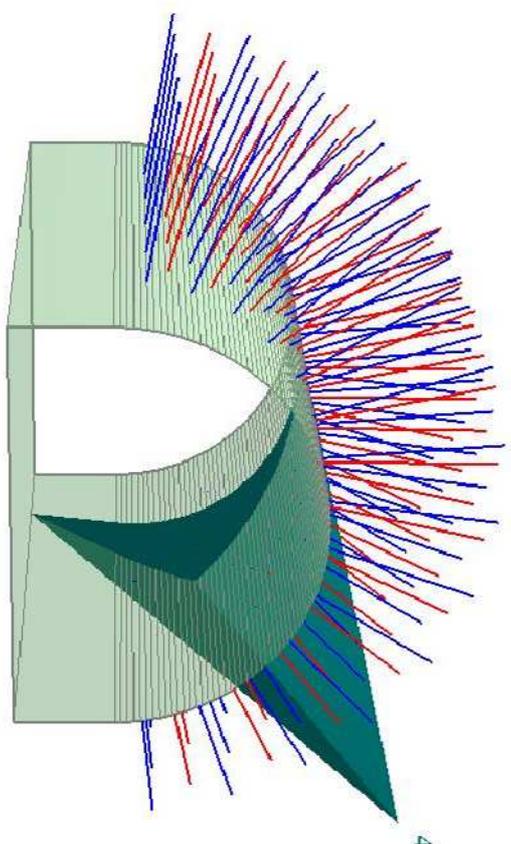


Weight: 375.622 tonnes, Apex Height: 12.98 m

Upper Left wedge [4]  
FS: 4.306

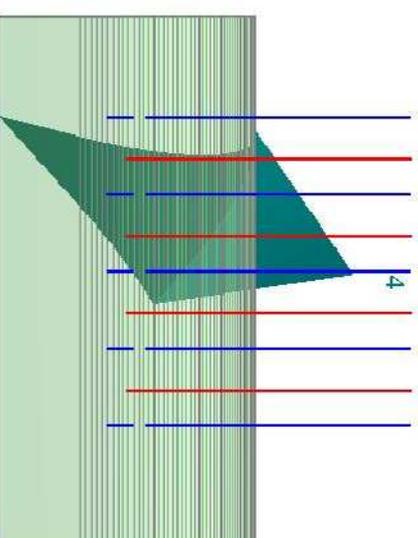


Upper Left wedge [4]  
FS: 4.306



Weight: 375.622 tonnes, Apex Height: 12.98 m

Upper Left wedge [4]  
FS: 4.306

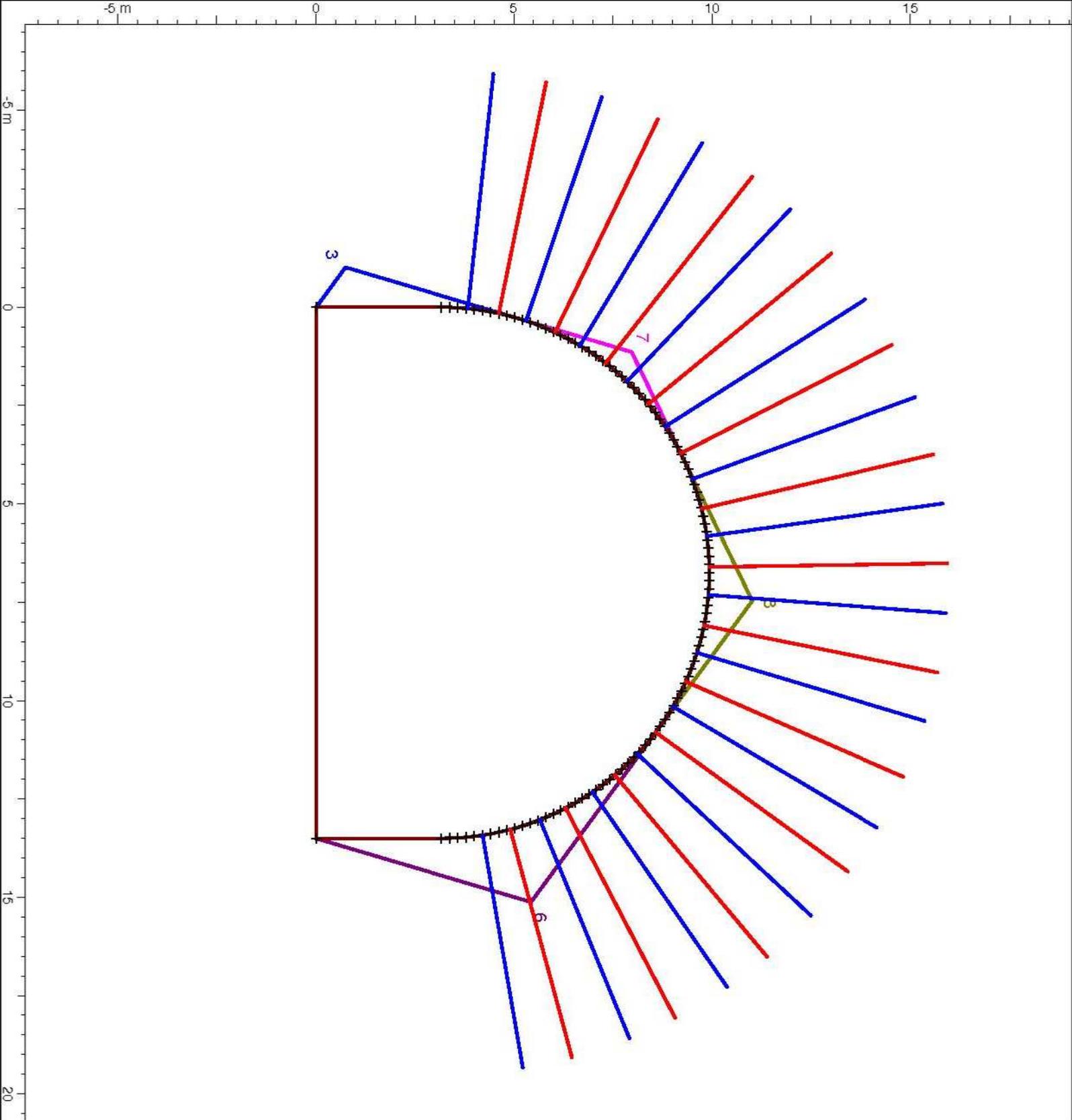


### Wedge Information

Upper Left wedge [4]  
Factor of Safety: 4.306  
Wedge Weight: 375.622 tonnes  
Apex Height: 12.98 m

Weight: 375.622 tonnes, Apex Height: 12.98 m

Weight: 375.622 tonnes, Apex Height: 12.98 m



### Wedge Information

Lower Left wedge [3]  
 Factor of Safety: 13.256  
 Wedge Weight: 4.615 tonnes  
 Apex Height: 1.02 m

Upper Right wedge [6]  
 Factor of Safety: 4.798  
 Wedge Weight: 24.844 tonnes  
 Apex Height: 1.92 m

Upper Left wedge [7]  
 Factor of Safety: 4.243  
 Wedge Weight: 1.661 tonnes  
 Apex Height: 0.63 m

Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 5.065  
 Wedge Weight: 5.740 tonnes  
 Apex Height: 1.11 m

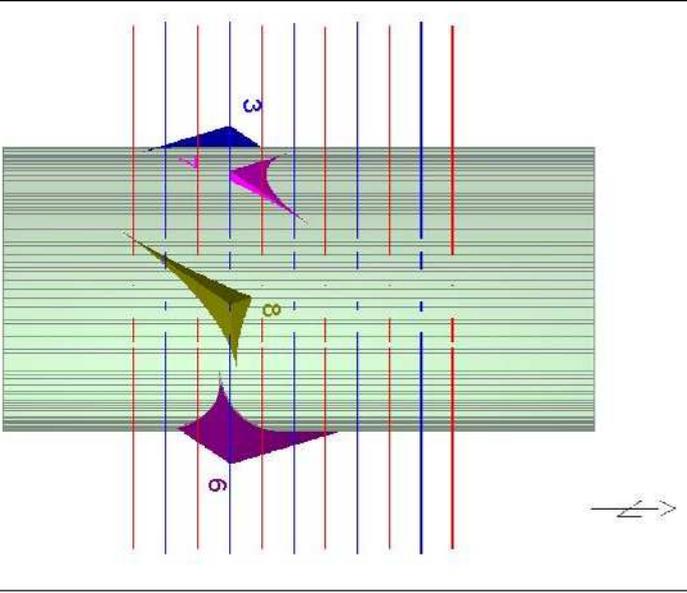
### Wedge Information

Lower Left wedge [3]  
Factor of Safety: 1.3,256  
Wedge Weight: 4,615 tonnes  
Apex Height: 1.02 m

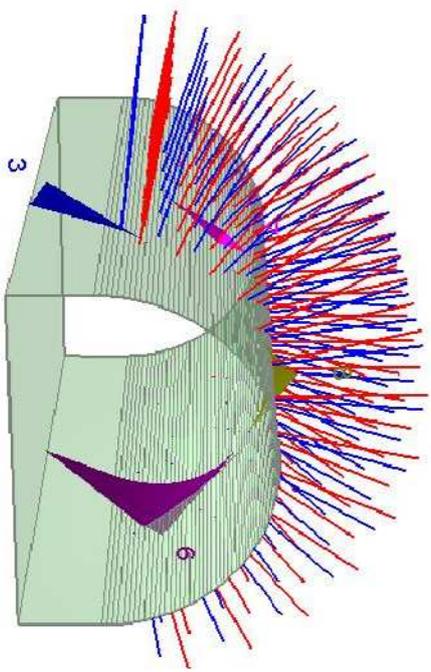
Upper Right wedge [6]  
Factor of Safety: 4,798  
Wedge Weight: 24,844 tonnes  
Apex Height: 1.92 m

Upper Left wedge [7]  
Factor of Safety: 4,243  
Wedge Weight: 1,661 tonnes  
Apex Height: 0.63 m

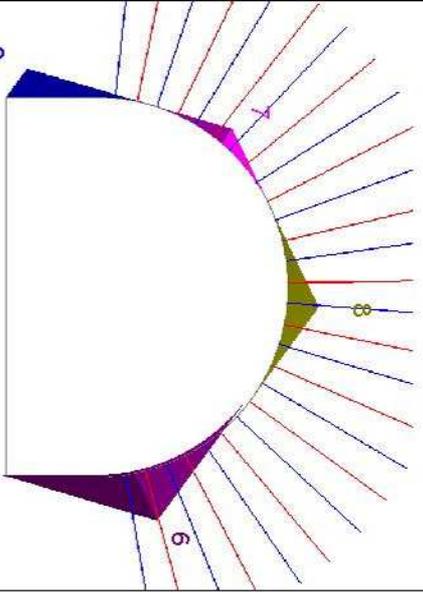
Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 5,065  
Wedge Weight: 5,740 tonnes  
Apex Height: 1.11 m



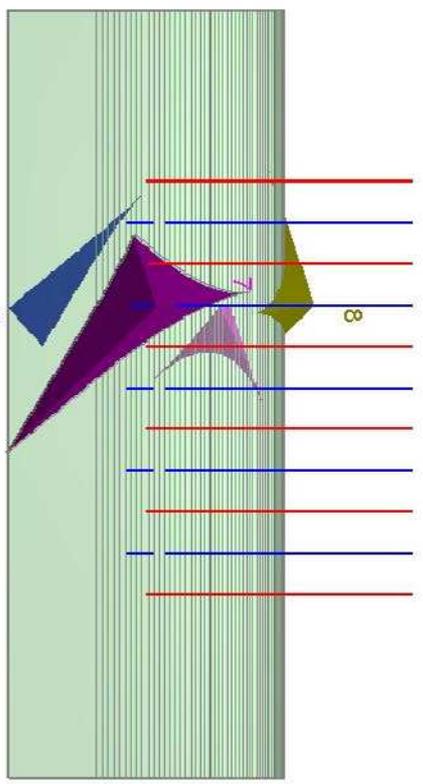
Top



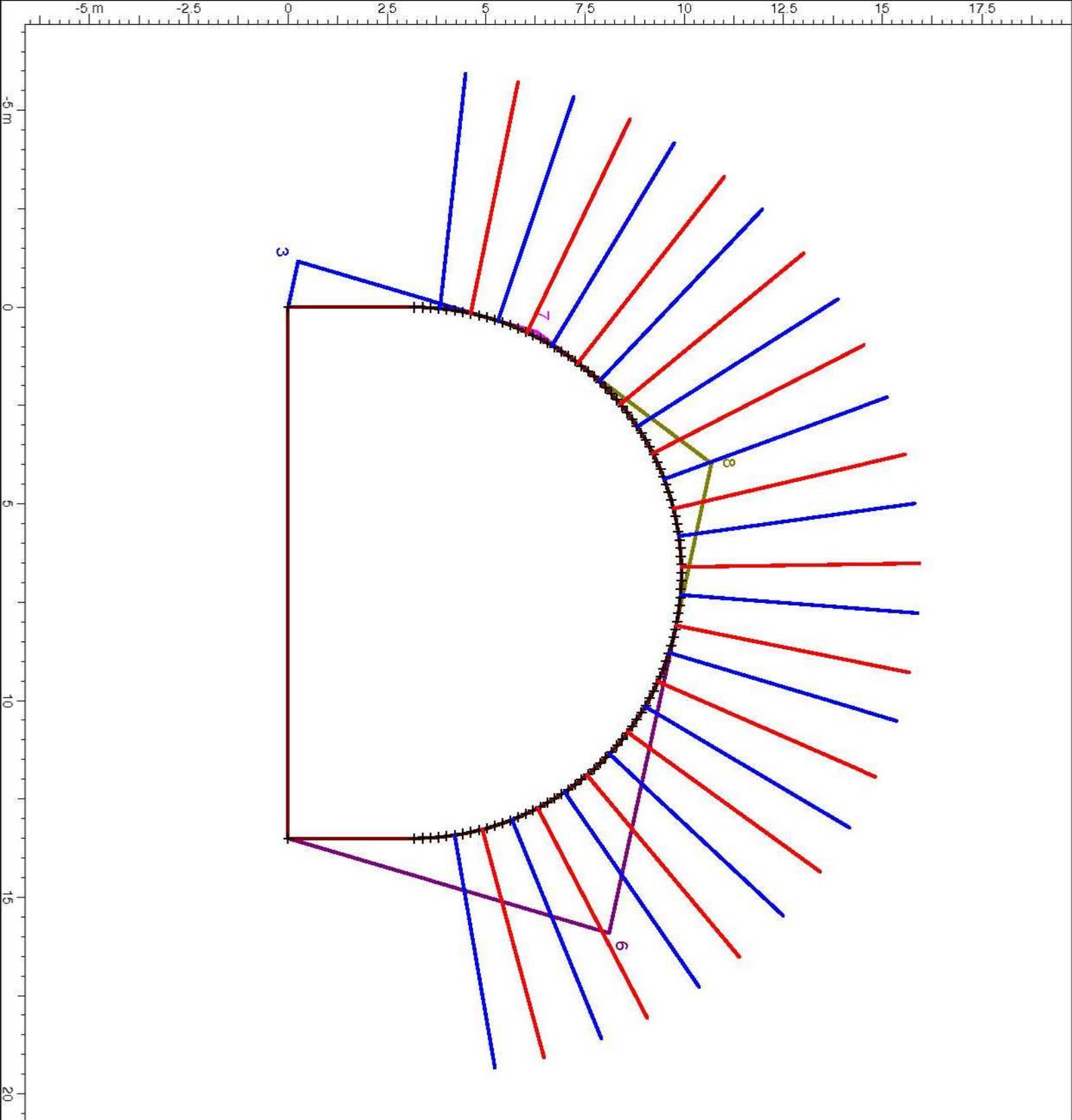
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Lower Left wedge [3]

Factor of Safety: 31.798  
 Wedge Weight: 4.278 tonnes  
 Apex Height: 1.16 m

Upper Right wedge [6]

Factor of Safety: 3.566  
 Wedge Weight: 58.208 tonnes  
 Apex Height: 3.65 m

Upper Left wedge [7]

Factor of Safety: 1.924  
 Wedge Weight: 0.024 tonnes  
 Apex Height: 0.11 m

Roof wedge [8]

Factor of Safety: 3.336  
 Wedge Weight: 4.756 tonnes  
 Apex Height: 1.25 m

### Wedge Information

#### Lower Left wedge [3]

Factor of Safety: 31.798  
Wedge Weight: 4.278 tonnes  
Apex Height: 1.16 m

#### Upper Right wedge [6]

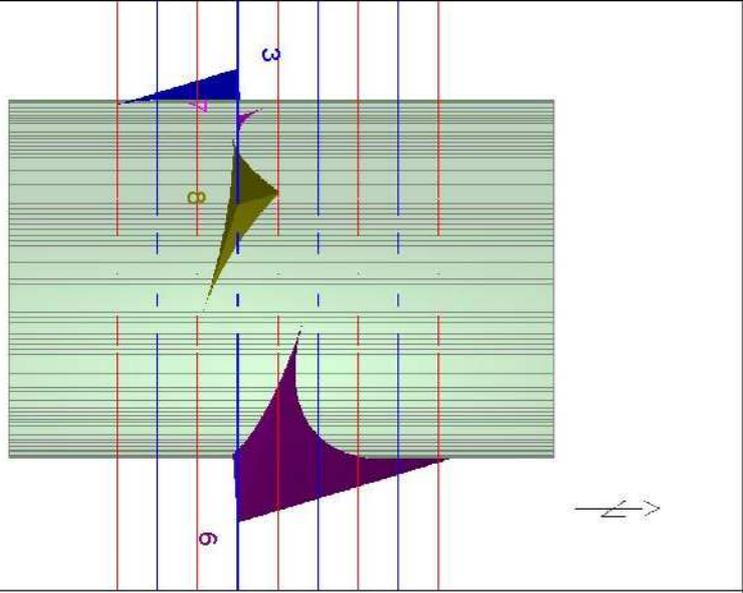
Factor of Safety: 3.566  
Wedge Weight: 58.208 tonnes  
Apex Height: 3.65 m

#### Upper Left wedge [7]

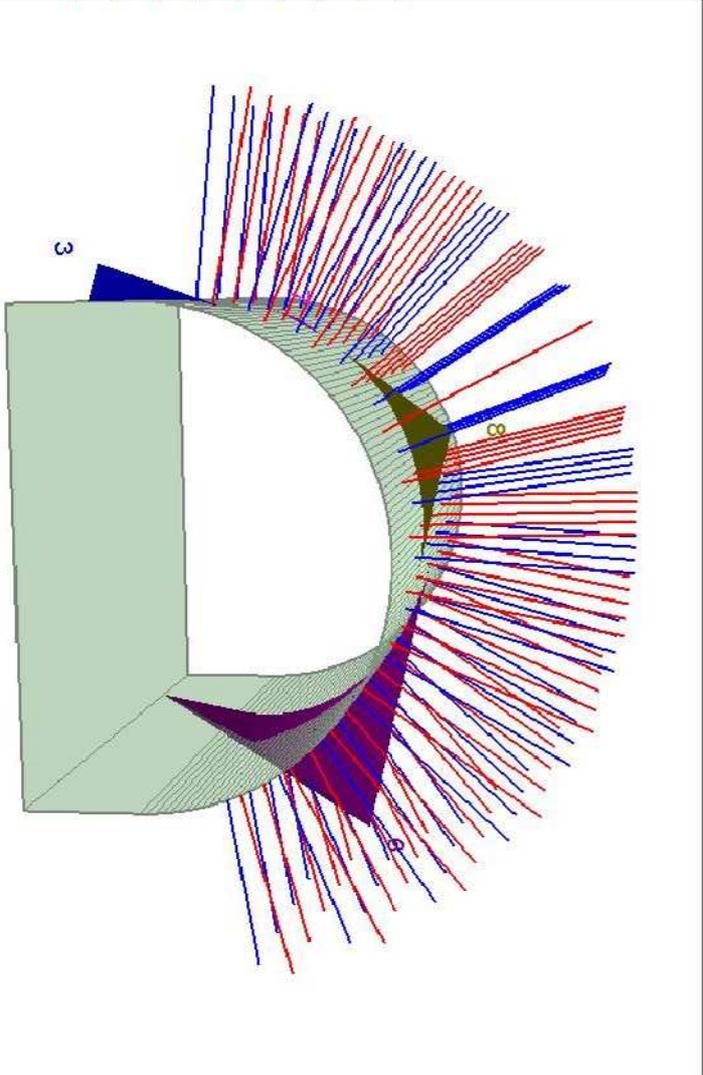
Factor of Safety: 1.924  
Wedge Weight: 0.024 tonnes  
Apex Height: 0.11 m

#### Roof wedge [8]

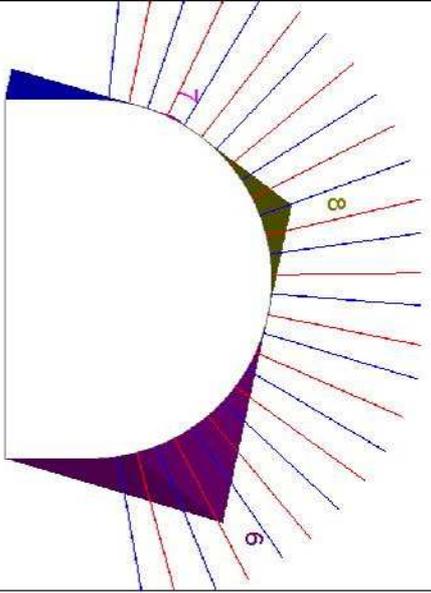
Factor of Safety: 3.336  
Wedge Weight: 4.756 tonnes  
Apex Height: 1.25 m



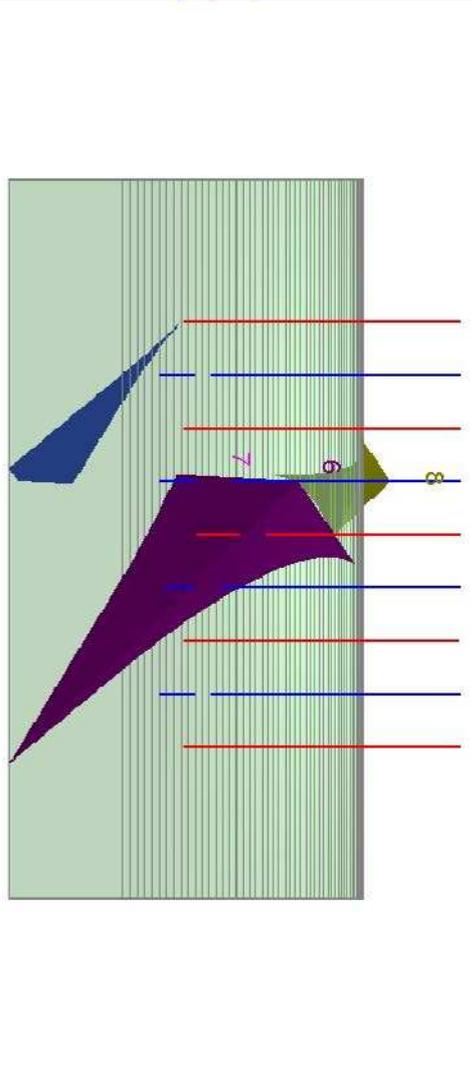
Top



Perspective



Front



Side

**Analisi UNWEDGE – Galleria Erzelli**  
**SETTORE C**

## Wedge Information

Lower Right wedge [4]

Factor of Safety: 1.461

Wedge Weight: 0.117 tonnes

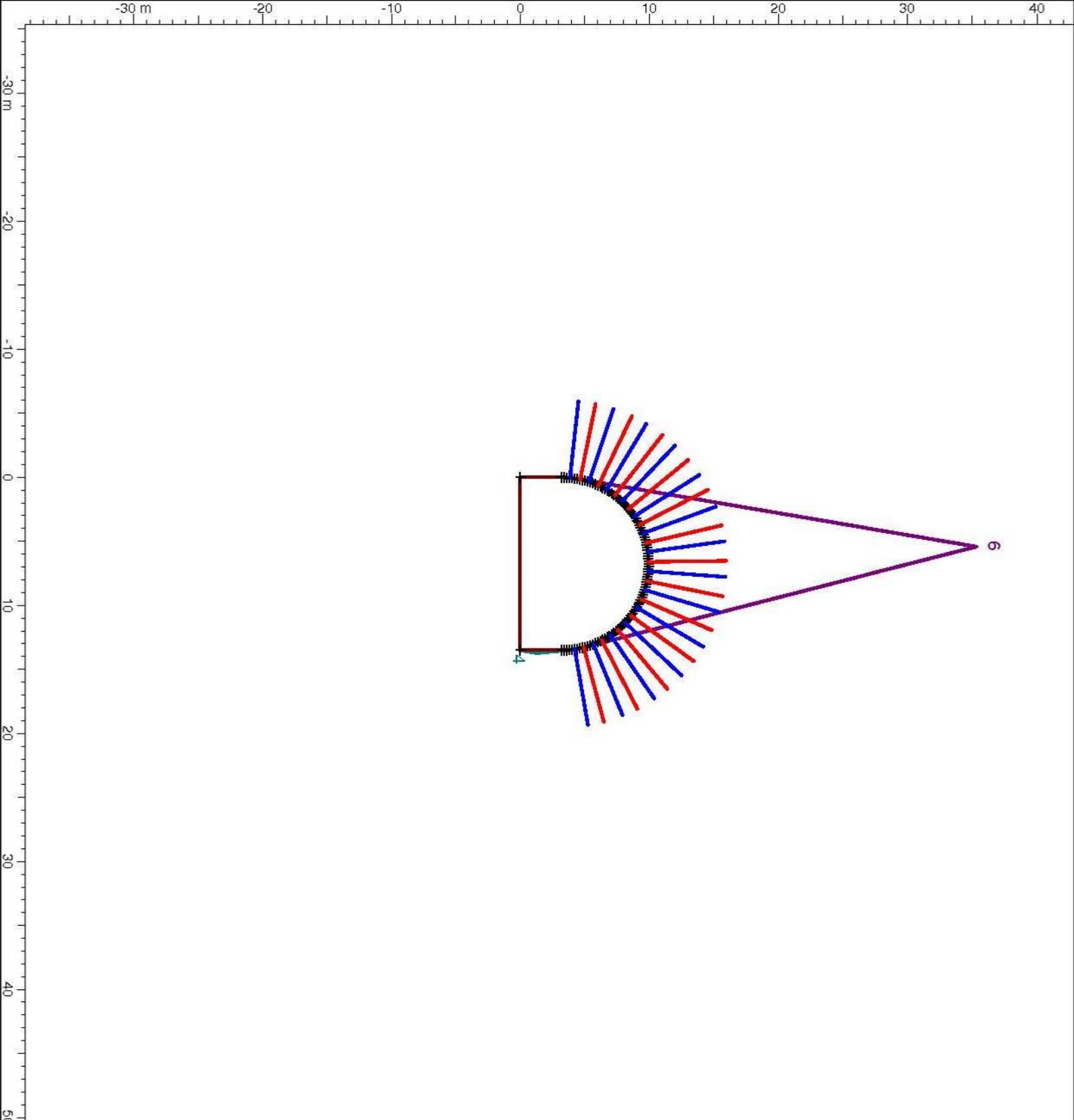
Apex Height: 0.21 m

Root wedge [6]

Factor of Safety: 1.784

Wedge Weight: 866.400 tonnes

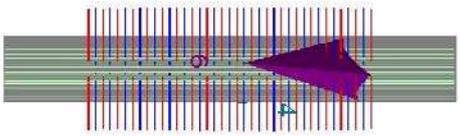
Apex Height: 25.40 m



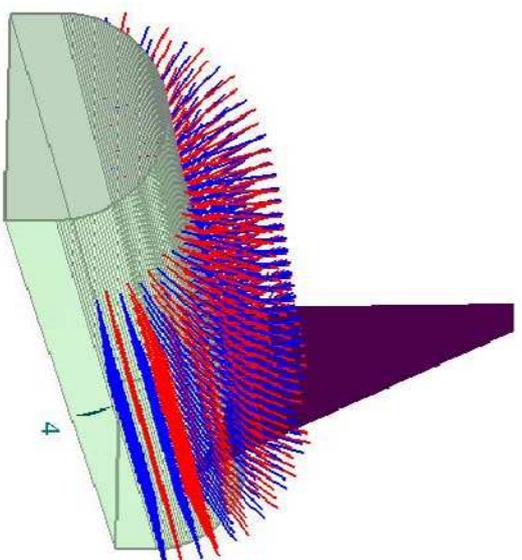
### Wedge Information

Lower Right wedge [4]  
Factor of Safety: 1.461  
Wedge Weight: 0.117 tonnes  
Apex Height: 0.21 m

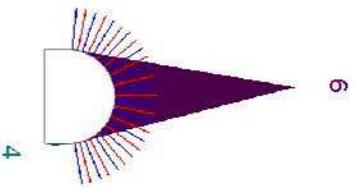
Root wedge [6]  
Factor of Safety: 1.784  
Wedge Weight: 866.400 tonnes  
Apex Height: 25.40 m



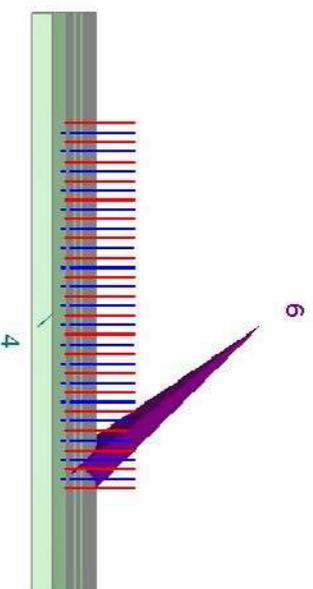
Top



Perspective



Front



Side

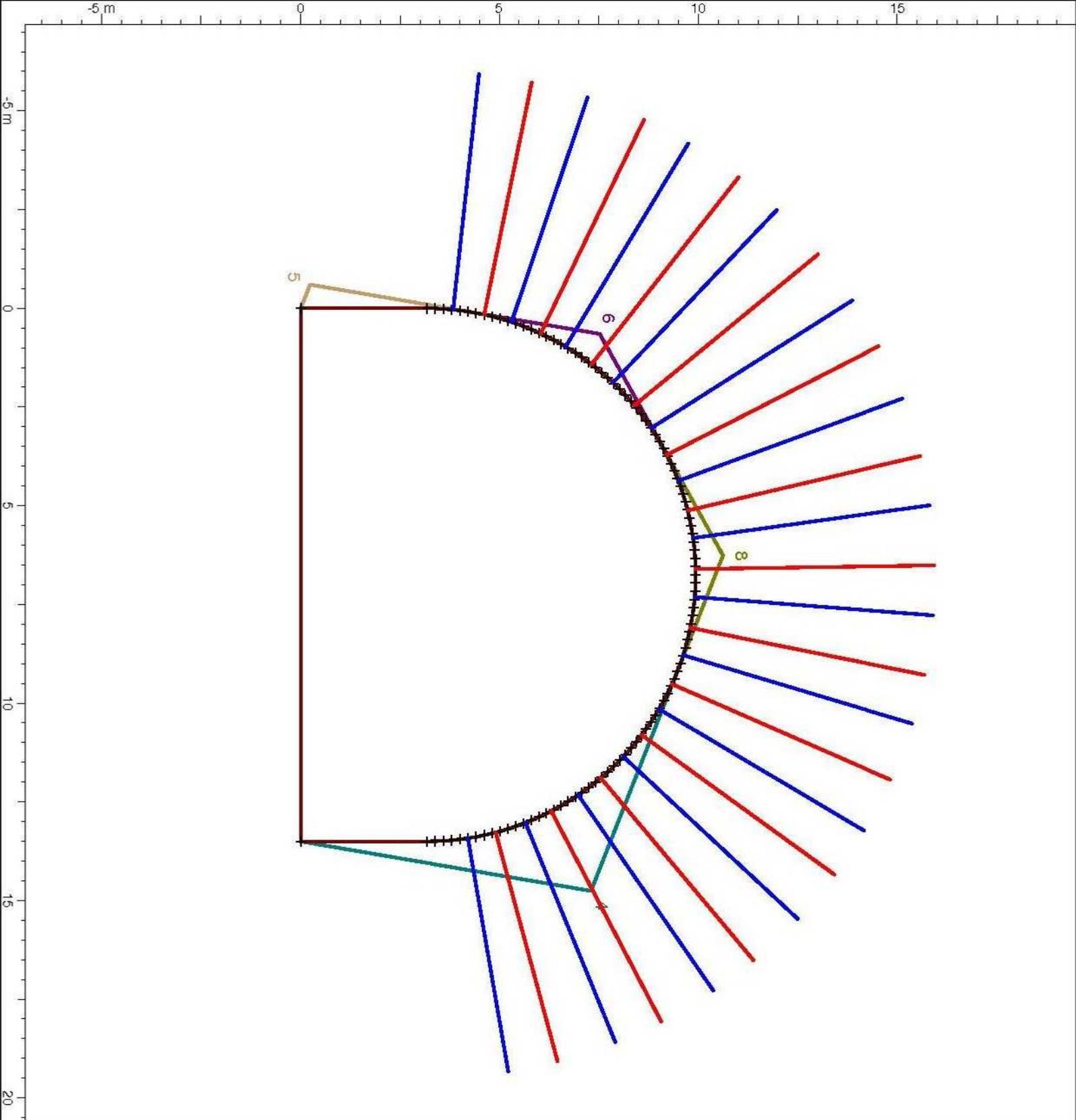
## Wedge Information

Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 3.721  
Wedge Weight: 12.091 tonnes  
Apex Height: 2.25 m

Lower Left wedge [5]  
Factor of Safety: 18.247  
Wedge Weight: 0.539 tonnes  
Apex Height: 0.60 m

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 1.784  
Wedge Weight: 0.898 tonnes  
Apex Height: 0.74 m

Root wedge [8]  
Factor of Safety: 12.161  
Wedge Weight: 0.806 tonnes  
Apex Height: 0.70 m



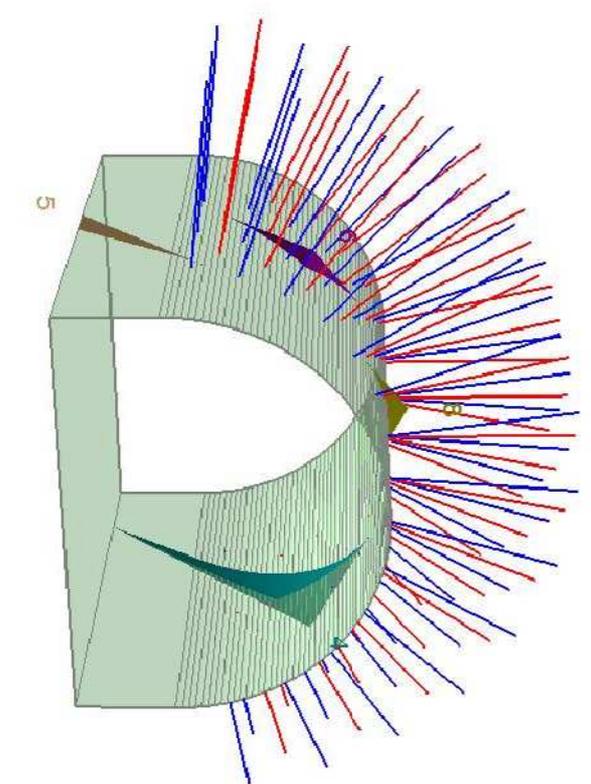
### Wedge Information

Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 3.721  
Wedge Weight: 12.091 tonnes  
Apex Height: 2.25 m

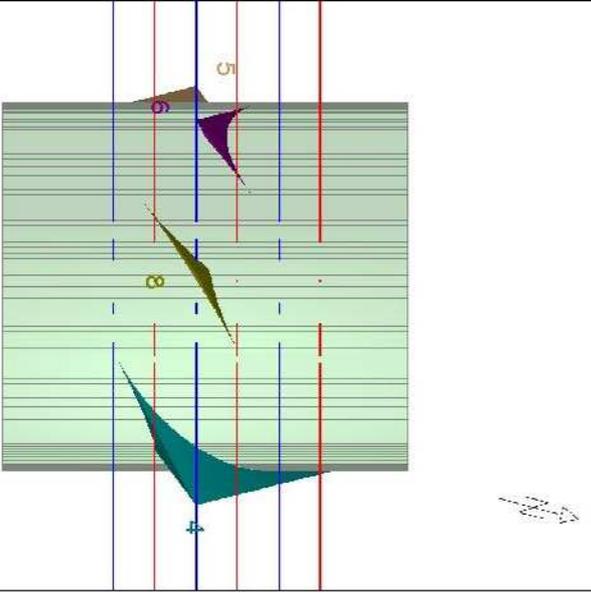
Lower Left wedge [5]  
Factor of Safety: 18.247  
Wedge Weight: 0.539 tonnes  
Apex Height: 0.60 m

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 1.784  
Wedge Weight: 0.898 tonnes  
Apex Height: 0.74 m

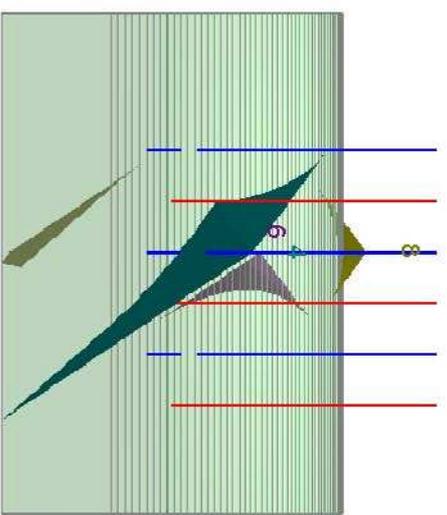
Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 12.161  
Wedge Weight: 0.806 tonnes  
Apex Height: 0.70 m



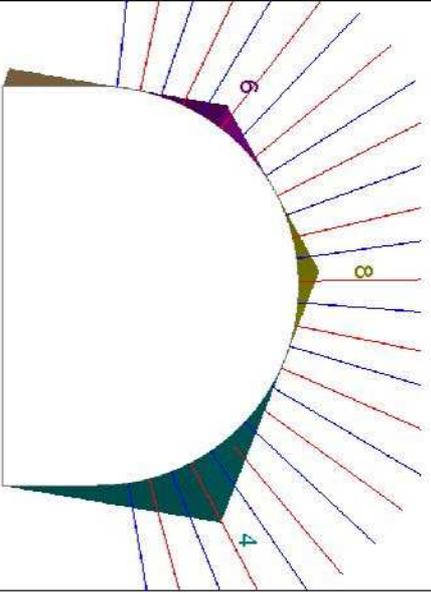
Perspective



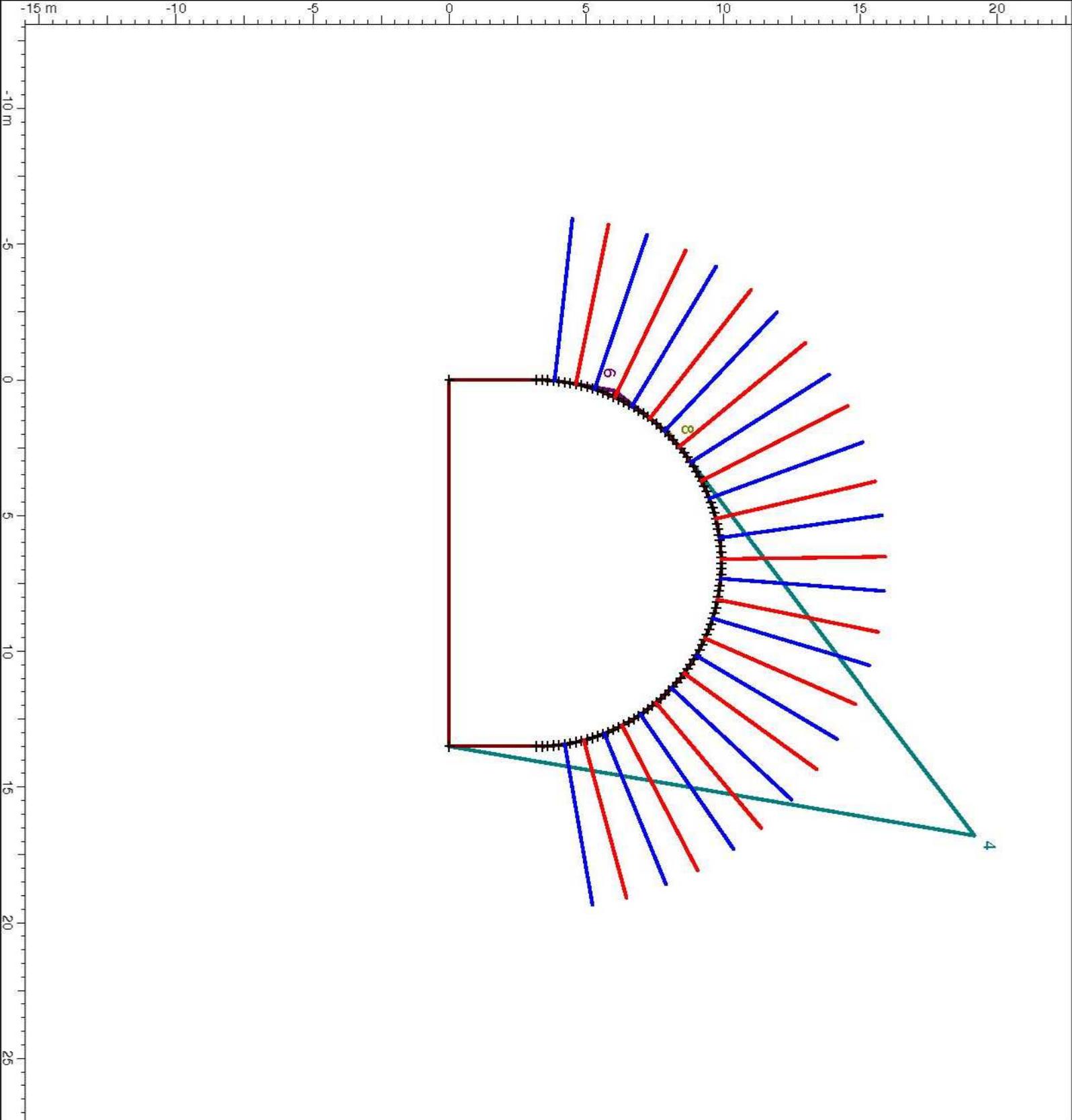
Top



Side



Front



### Wedge Information

#### Upper Right wedge [4]

Factor of Safety: 1.666  
 Wedge Weight: 336.704 tonnes  
 Apex Height: 12.13 m

#### Upper Left wedge [6]

Factor of Safety: 24.966  
 Wedge Weight: 0.063 tonnes  
 Apex Height: 0.22 m

#### Upper Left wedge [8]

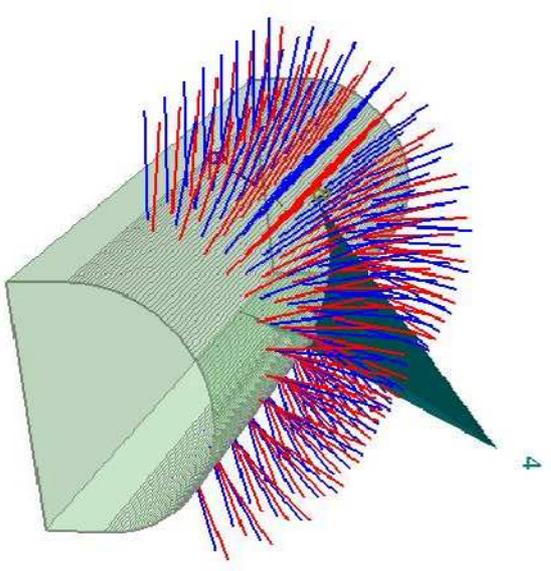
Factor of Safety: 1.460.354  
 Wedge Weight: 0.003 tonnes  
 Apex Height: 0.06 m

### Wedge Information

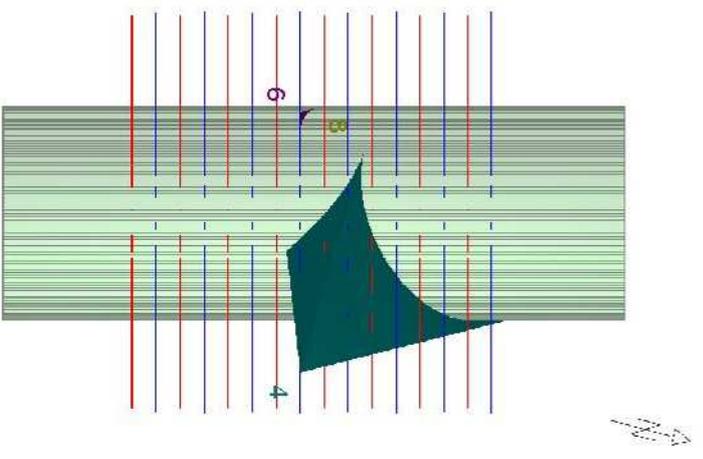
Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 1.666  
Wedge Weight: 336.704 tonnes  
Apex Height: 12.13 m

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 24.966  
Wedge Weight: 0.063 tonnes  
Apex Height: 0.22 m

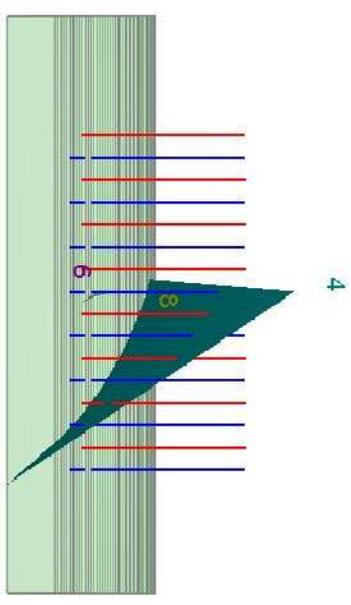
Upper Left wedge [8]  
Factor of Safety: 1460.354  
Wedge Weight: 0.003 tonnes  
Apex Height: 0.06 m



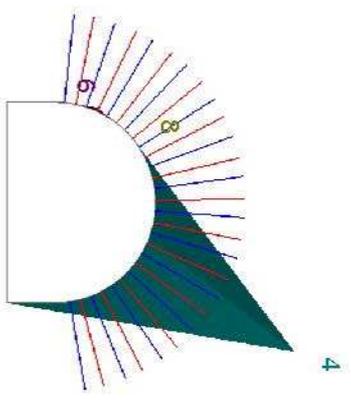
Perspective



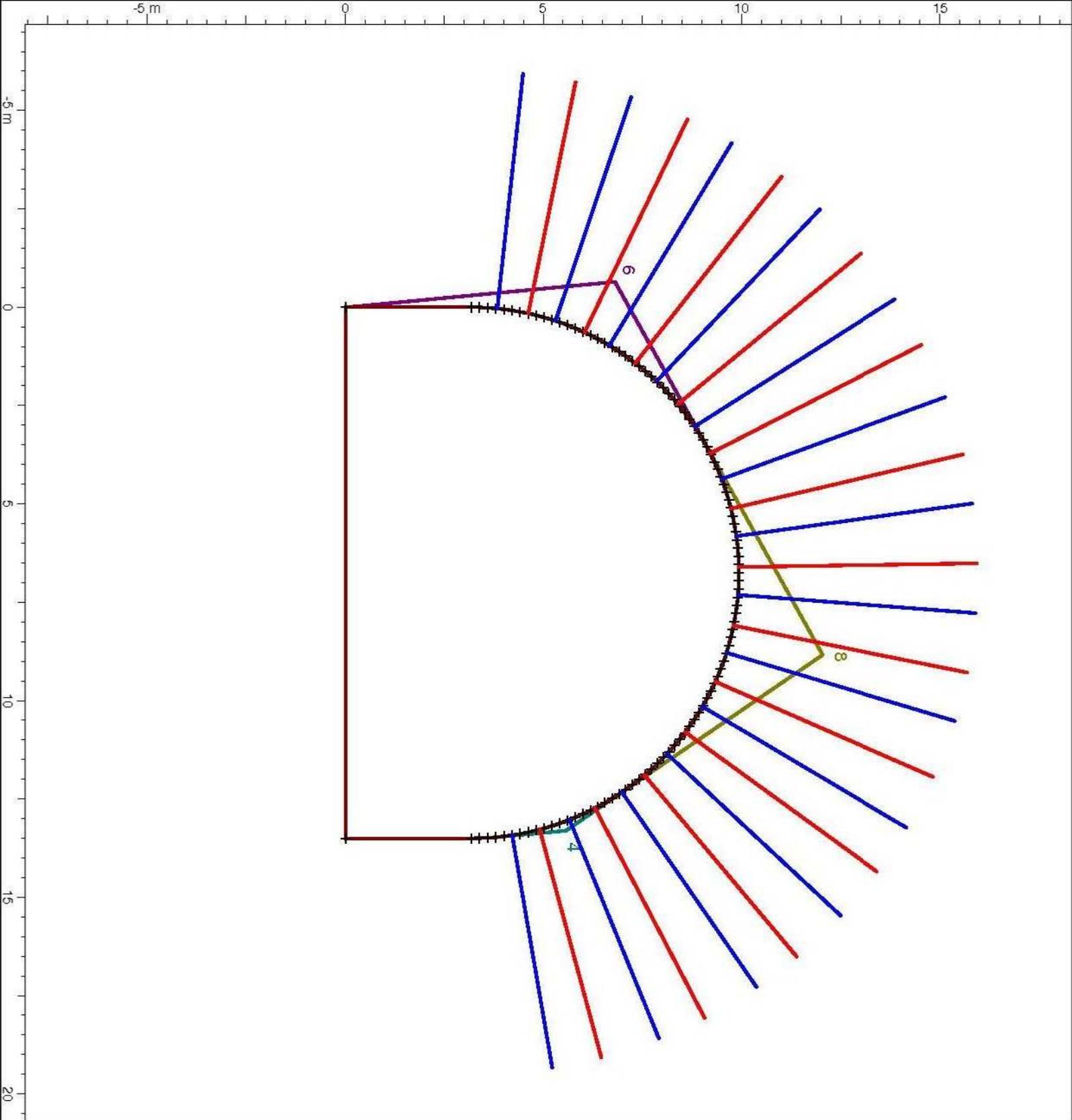
Top



Side



Front



### Wedge Information

Upper Right wedge [4]  
 Factor of Safety: 124.733  
 Wedge Weight: 0.112 tonnes  
 Apex Height: 0.23 m

Upper Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 8.348  
 Wedge Weight: 8.564 tonnes  
 Apex Height: 1.49 m

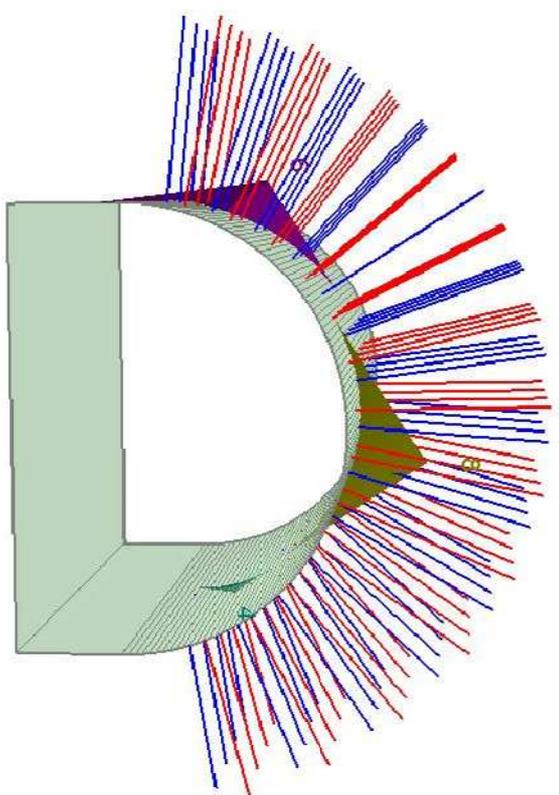
Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 2.014  
 Wedge Weight: 18.583 tonnes  
 Apex Height: 2.35 m

### Wedge Information

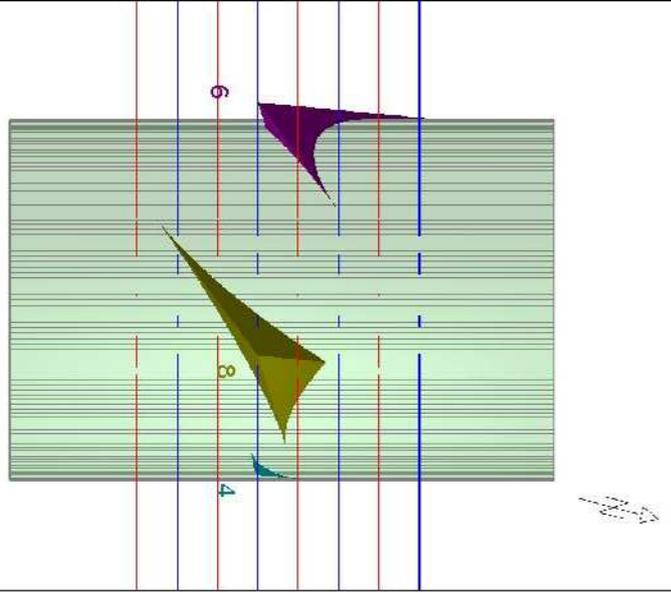
Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 124.733  
Wedge Weight: 0.112 tonnes  
Apex Height: 0.23 m

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 8.348  
Wedge Weight: 8.564 tonnes  
Apex Height: 1.49 m

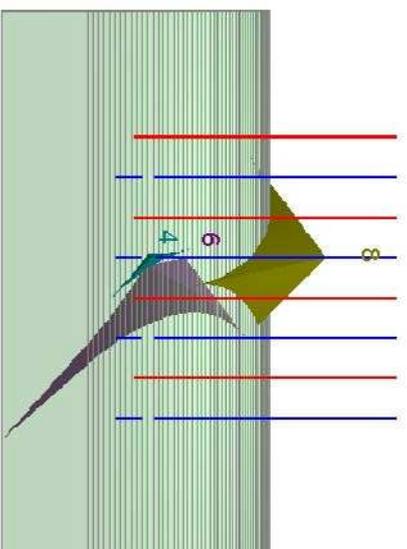
Root wedge [8]  
Factor of Safety: 2.014  
Wedge Weight: 18.583 tonnes  
Apex Height: 2.35 m



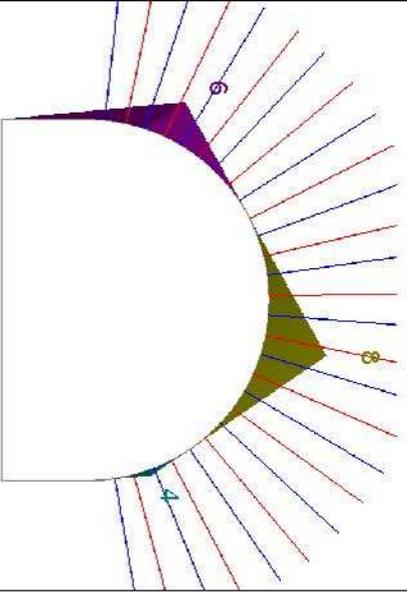
Perspective



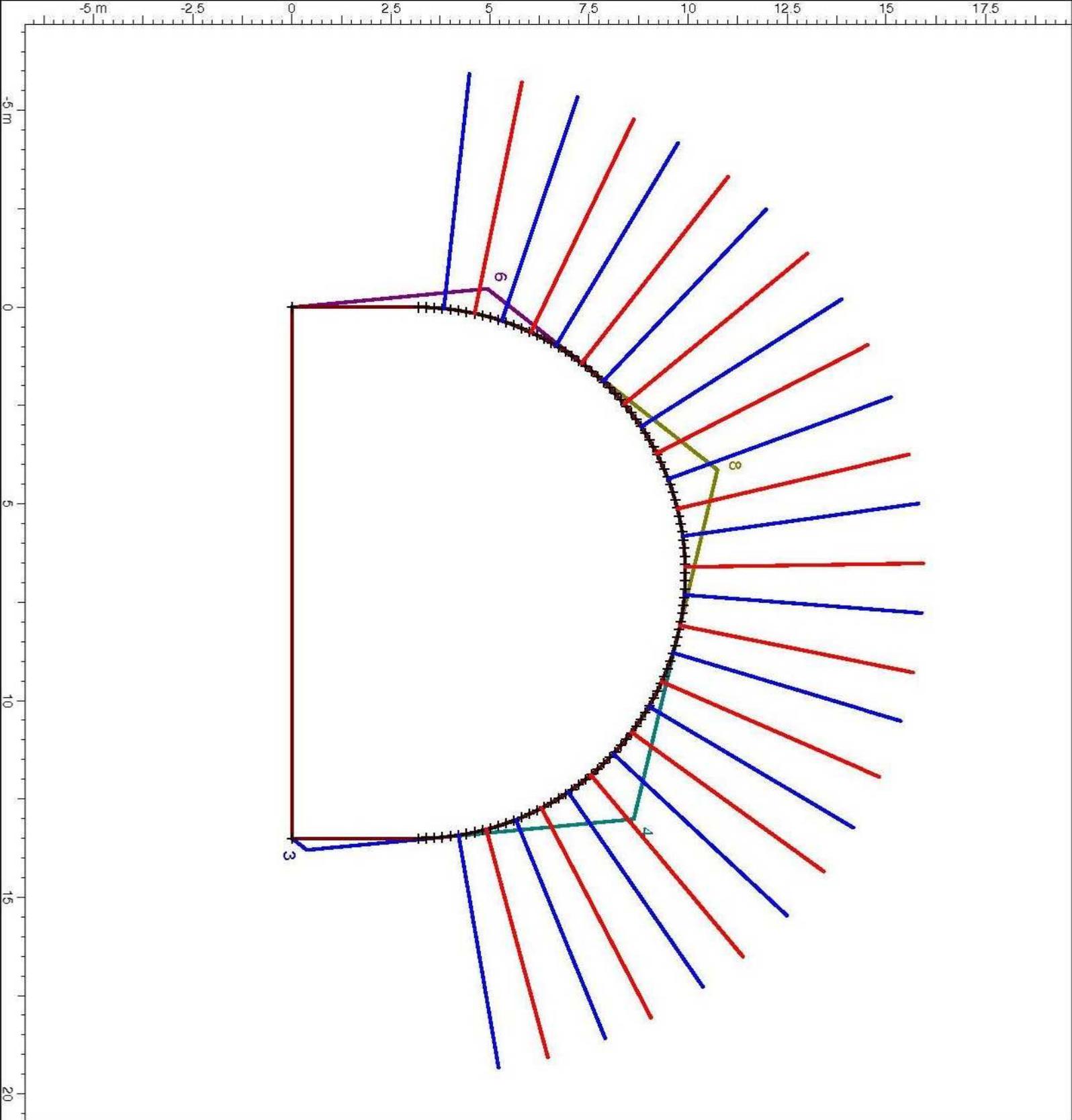
Top



Side



Front



**Wedge Information**

Lower Right wedge [3]  
 Factor of Safety: 2.767  
 Wedge Weight: 0.349 tonnes  
 Apex Height: 0.30 m

Upper Right wedge [4]  
 Factor of Safety: 4.967  
 Wedge Weight: 10.003 tonnes  
 Apex Height: 1.55 m

Lower Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 7.964  
 Wedge Weight: 2.455 tonnes  
 Apex Height: 0.68 m

Roof wedge [8]  
 Factor of Safety: 4.060  
 Wedge Weight: 6.240 tonnes  
 Apex Height: 1.25 m

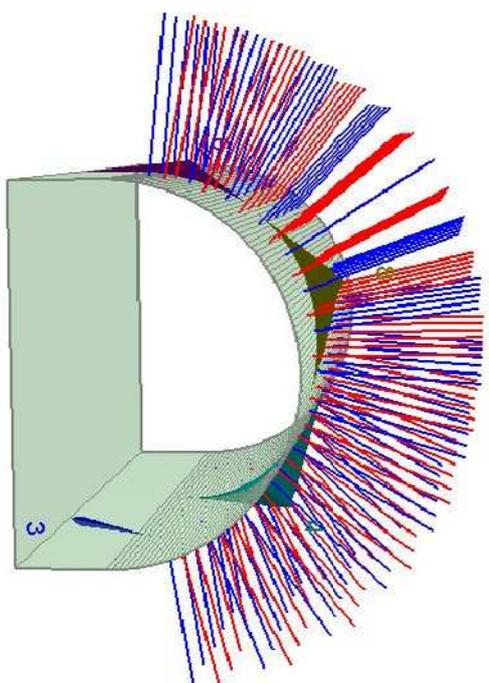
## Wedge Information

Lower Right wedge [3]  
Factor of Safety: 2.767  
Wedge Weight: 0.349 tonnes  
Apex Height: 0.30 m

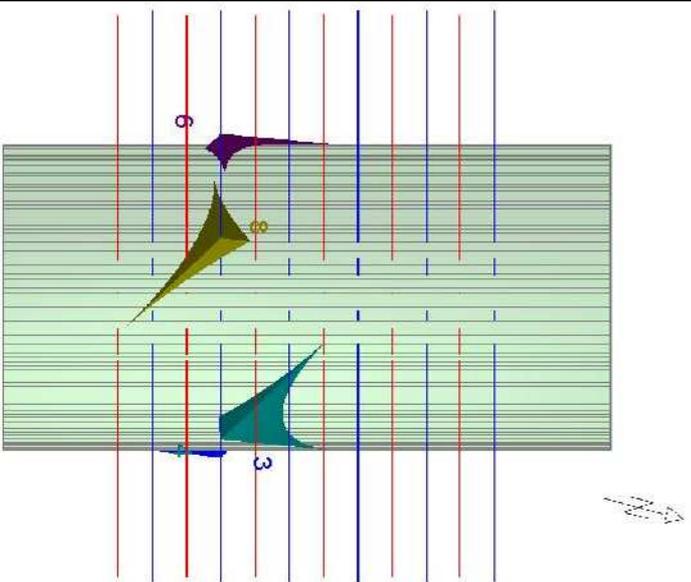
Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 4.967  
Wedge Weight: 10.003 tonnes  
Apex Height: 1.55 m

Lower Left wedge [6]  
Factor of Safety: 7.964  
Wedge Weight: 2.455 tonnes  
Apex Height: 0.68 m

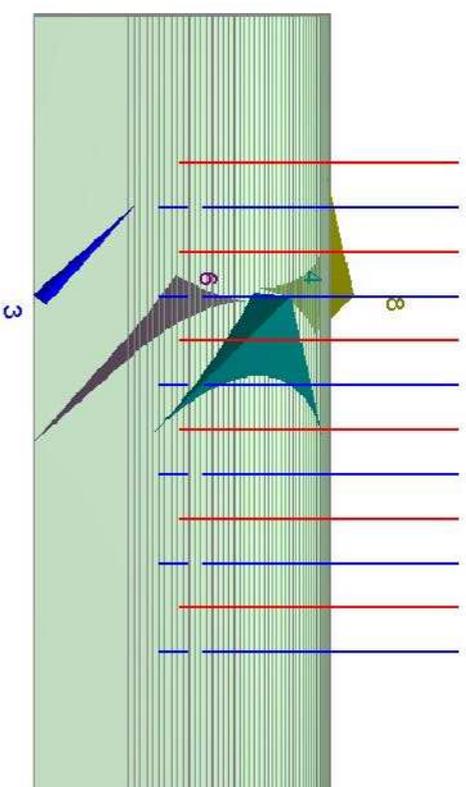
Roof wedge [8]  
Factor of Safety: 4.060  
Wedge Weight: 6.240 tonnes  
Apex Height: 1.25 m



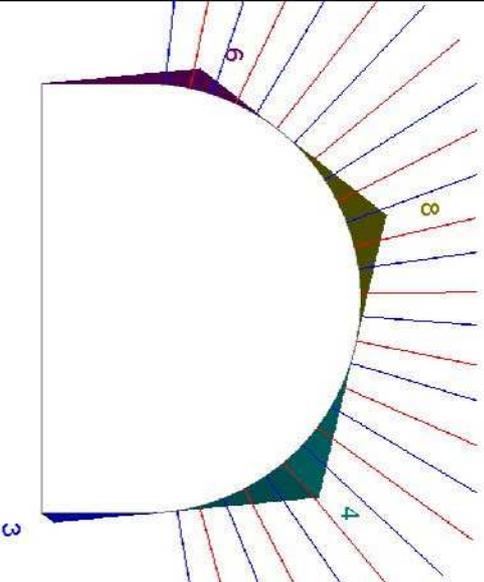
Perspective



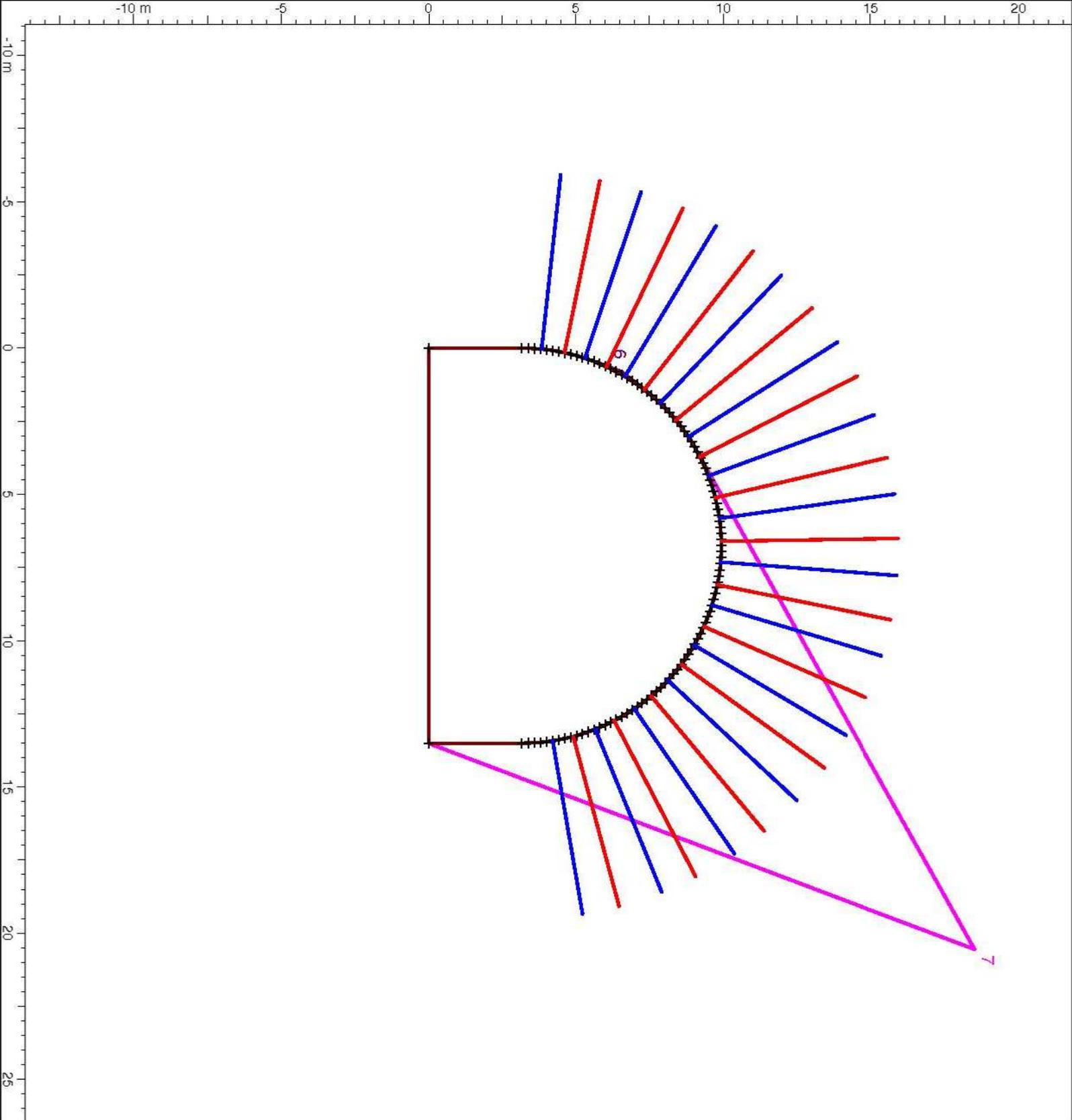
Top



Side



Front



**Wedge Information**

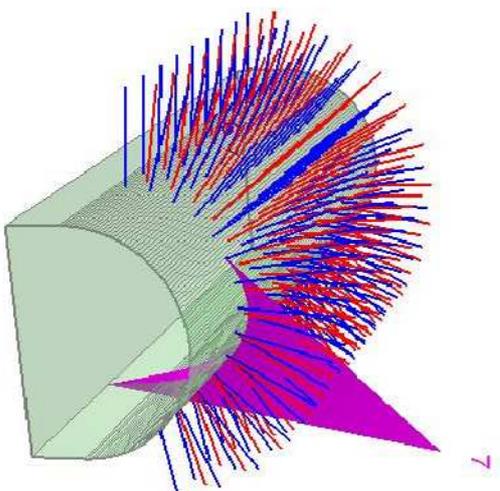
Upper Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 1.051,204  
 Wedge Weight: 0.007 tonnes  
 Apex Height: 0.08 m

Upper Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 1.981  
 Wedge Weight: 471.444 tonnes  
 Apex Height: 13.87 m

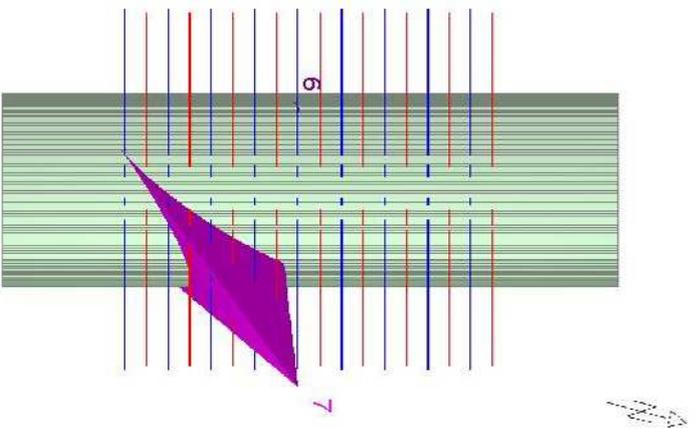
### Wedge Information

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 1.051,204  
Wedge Weight: 0.007 tonnes  
Apex Height: 0.08 m

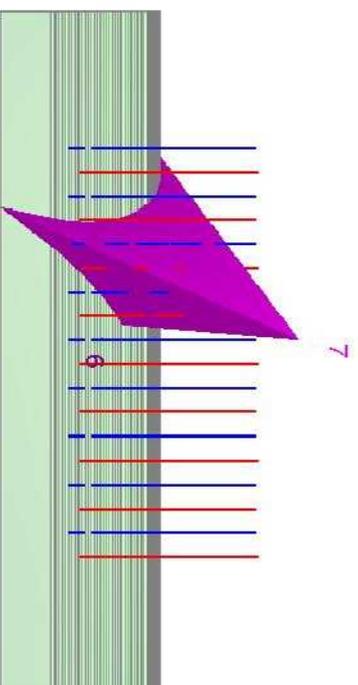
Upper Right wedge [7]  
Factor of Safety: 1.981  
Wedge Weight: 471.444 tonnes  
Apex Height: 13.87 m



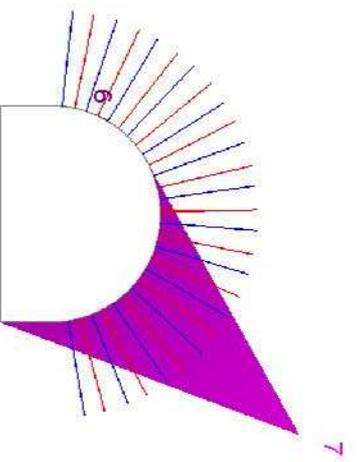
Perspective



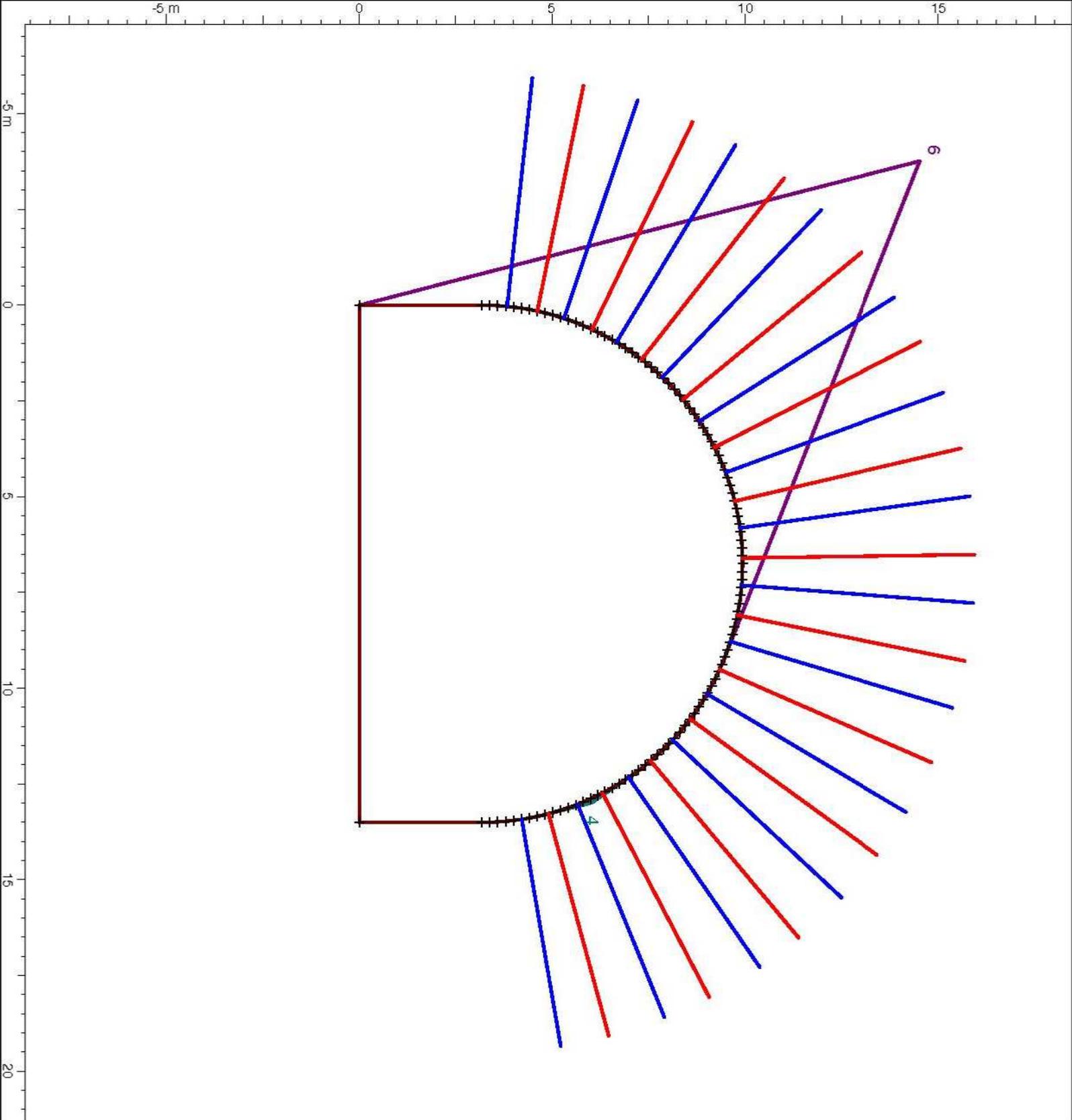
Top



Side



Front



**Wedge Information**

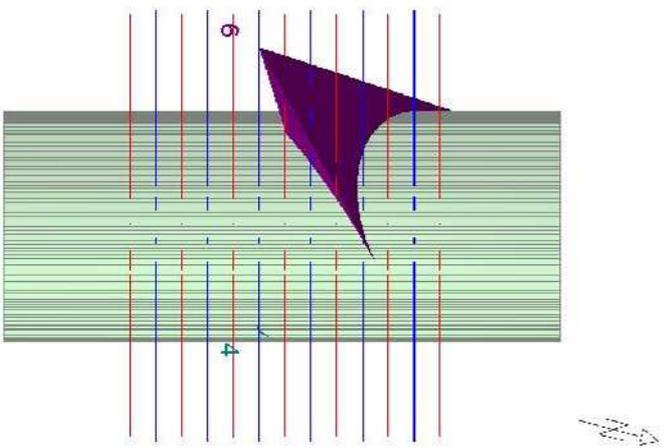
Upper Right wedge [4]  
 Factor of Safety: 1.784  
 Wedge Weight: 0.014 tonnes  
 Apex Height: 0.11 m

Upper Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 2.399  
 Wedge Weight: 198.114 tonnes  
 Apex Height: 8.71 m

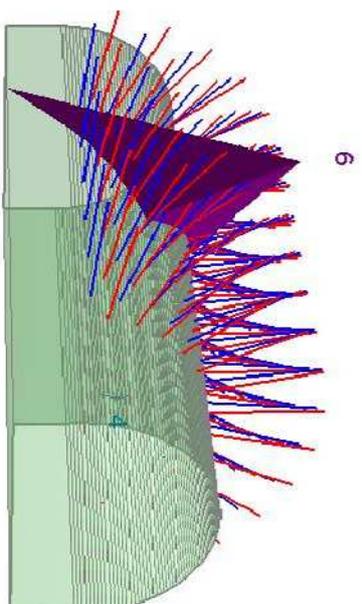
### Wedge Information

Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 1.784  
Wedge Weight: 0.014 tonnes  
Apex Height: 0.11 m

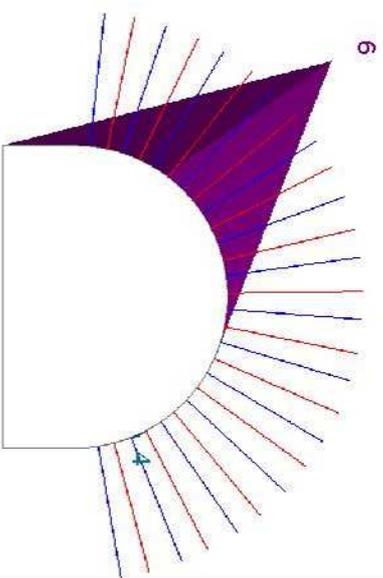
Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 2.399  
Wedge Weight: 198.114 tonnes  
Apex Height: 8.71 m



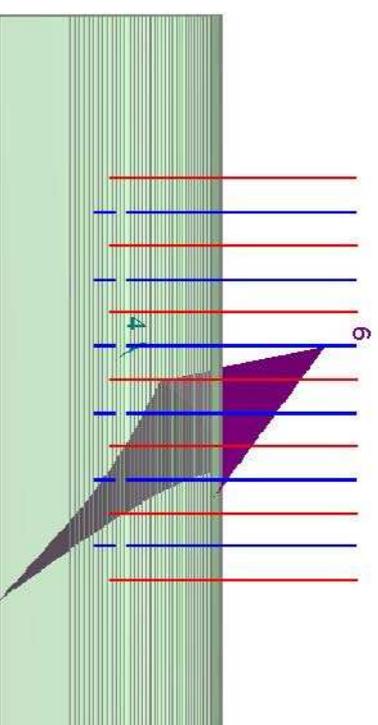
Top



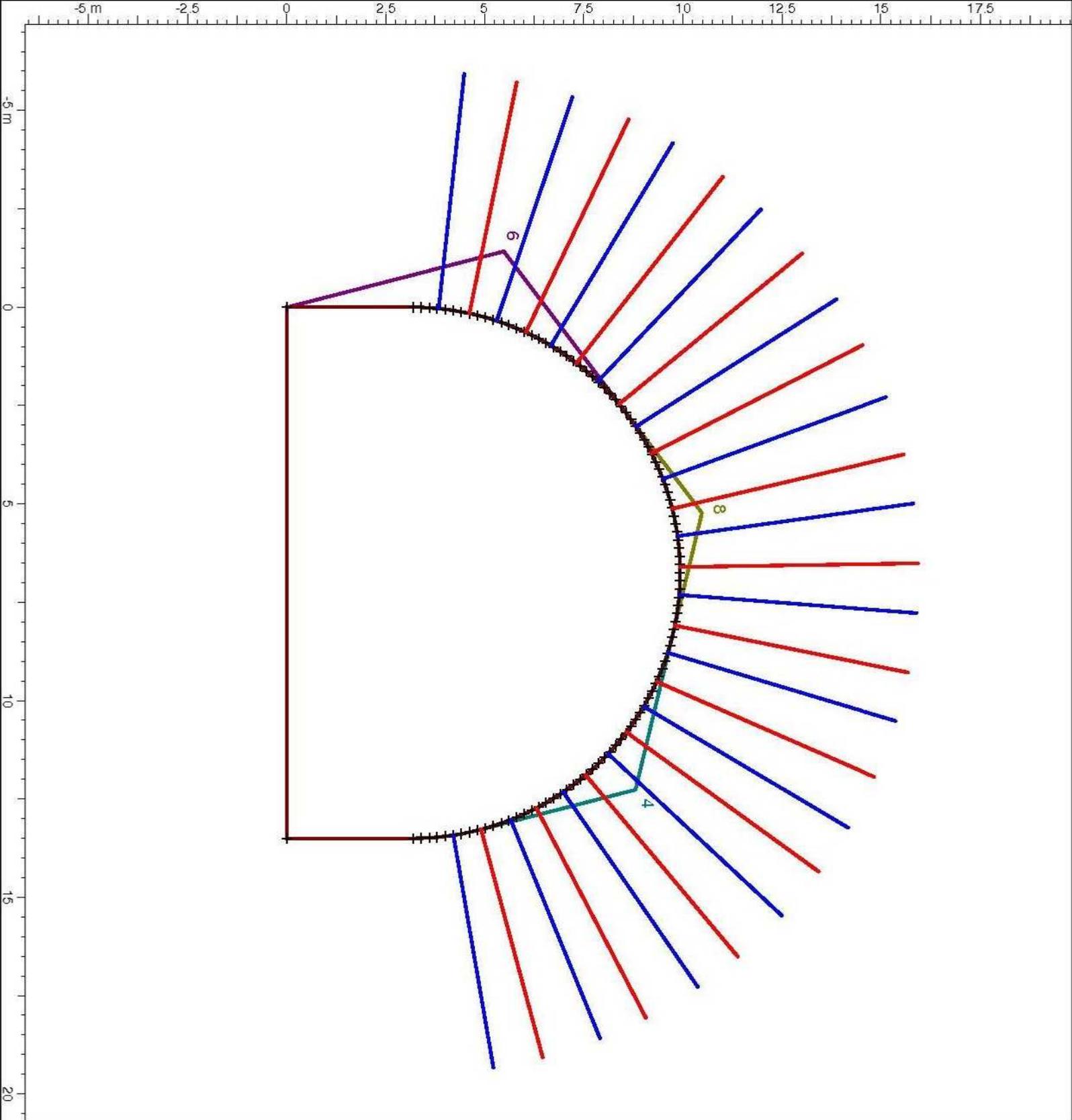
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Upper Right wedge [4]  
 Factor of Safety: 2.867  
 Wedge Weight: 3.898 tonnes  
 Apex Height: 1.13 m

Upper Left wedge [6]  
 Factor of Safety: 3.960  
 Wedge Weight: 13.061 tonnes  
 Apex Height: 1.74 m

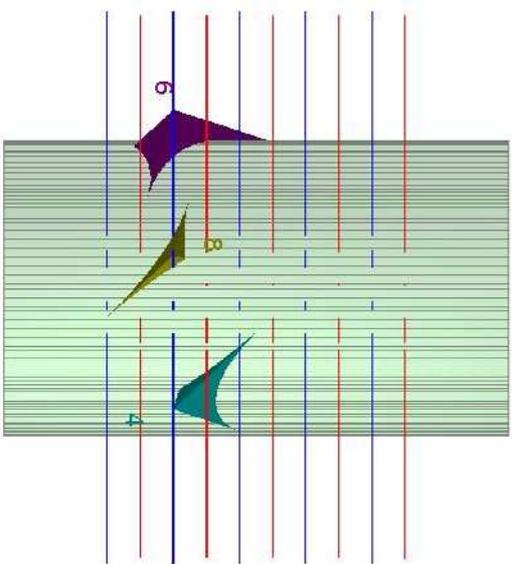
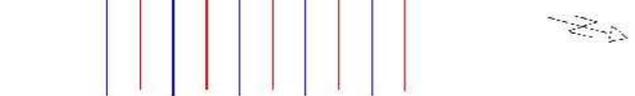
Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 13.421  
 Wedge Weight: 1.399 tonnes  
 Apex Height: 0.71 m

## Wedge Information

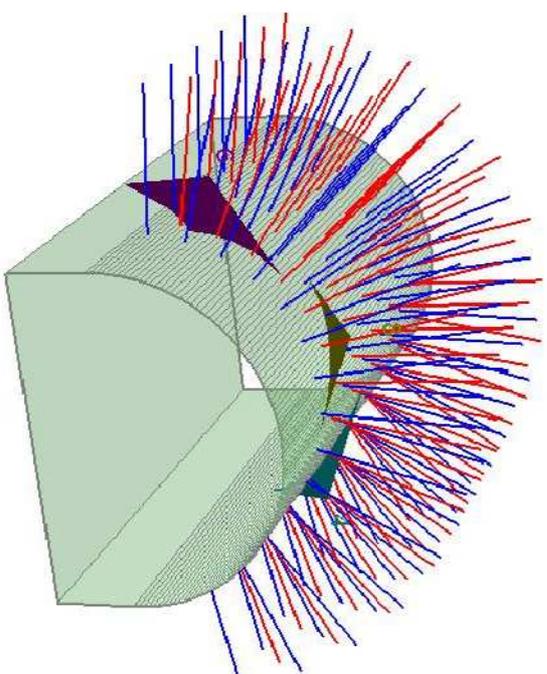
Upper Right wedge [4]  
Factor of Safety: 2.867  
Wedge Weight: 3.898 tonnes  
Apex Height: 1.13 m

Upper Left wedge [6]  
Factor of Safety: 3.960  
Wedge Weight: 13.061 tonnes  
Apex Height: 1.74 m

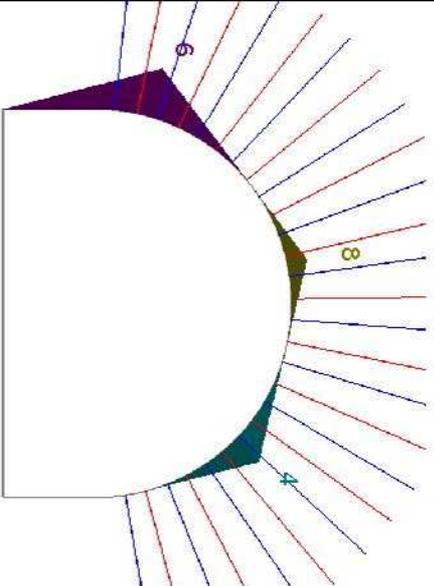
Root wedge [8]  
Factor of Safety: 13.421  
Wedge Weight: 1.399 tonnes  
Apex Height: 0.71 m



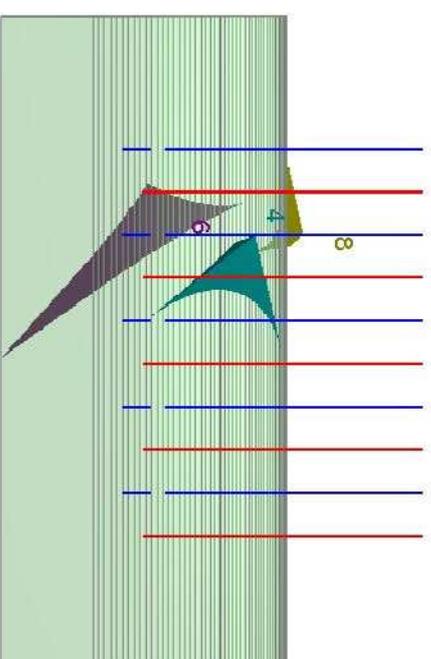
Top



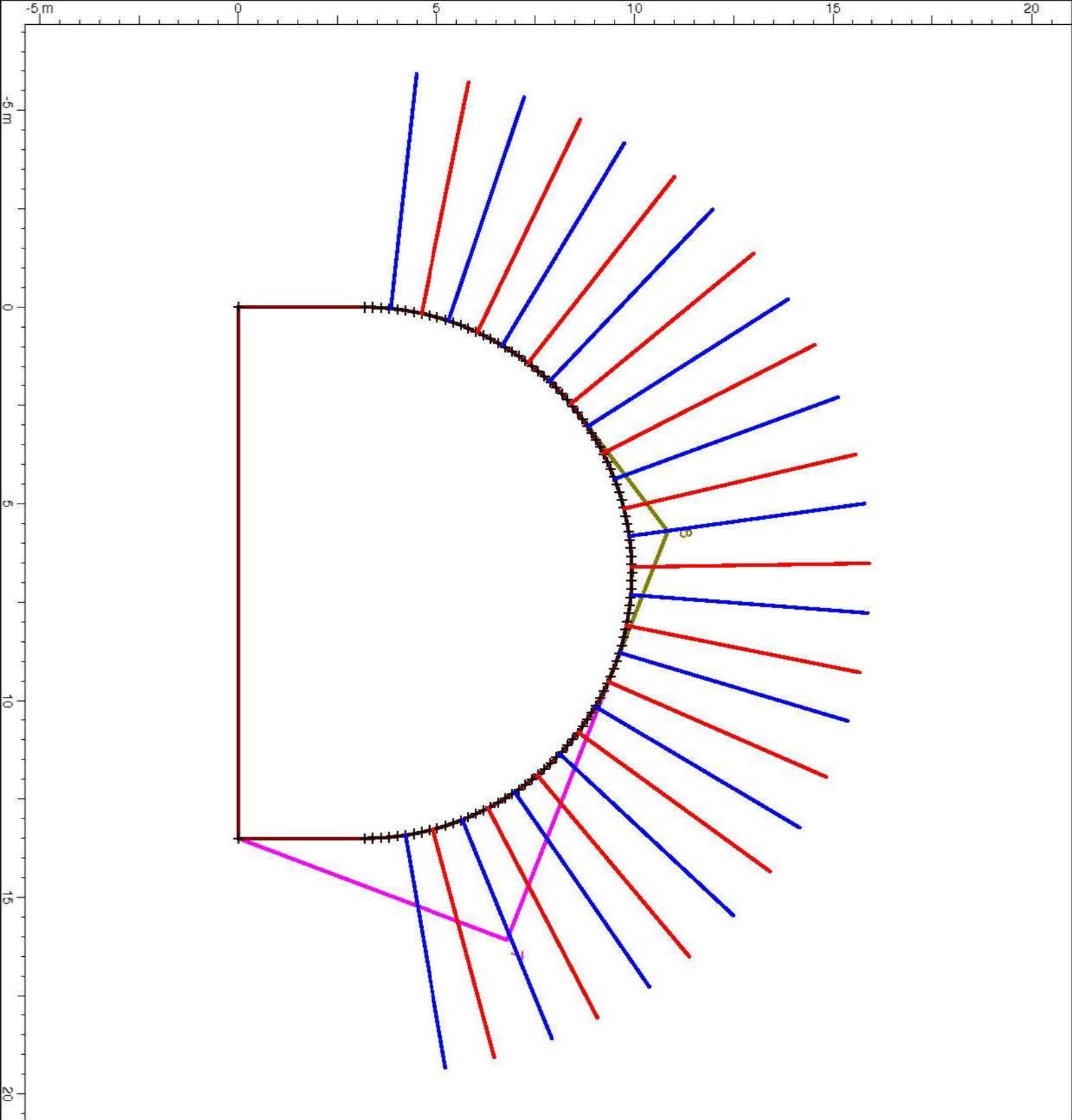
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

Upper Right wedge [7]  
 Factor of Safety: 3.063  
 Wedge Weight: 34,287 tonnes  
 Apex Height: 3.26 m

Root wedge [8]  
 Factor of Safety: 4.746  
 Wedge Weight: 2,064 tonnes  
 Apex Height: 0.98 m

## Wedge Information

### Upper Right wedge [7]

Factor of Safety: 3.063

Wedge Weight: 34,287 tonnes

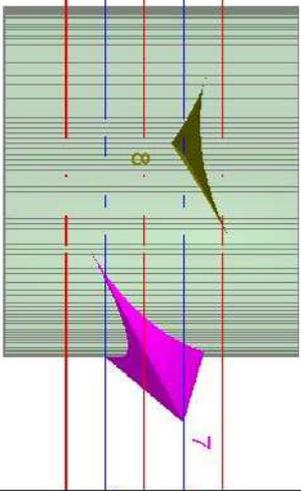
Apex Height: 3.26 m

### Root wedge [8]

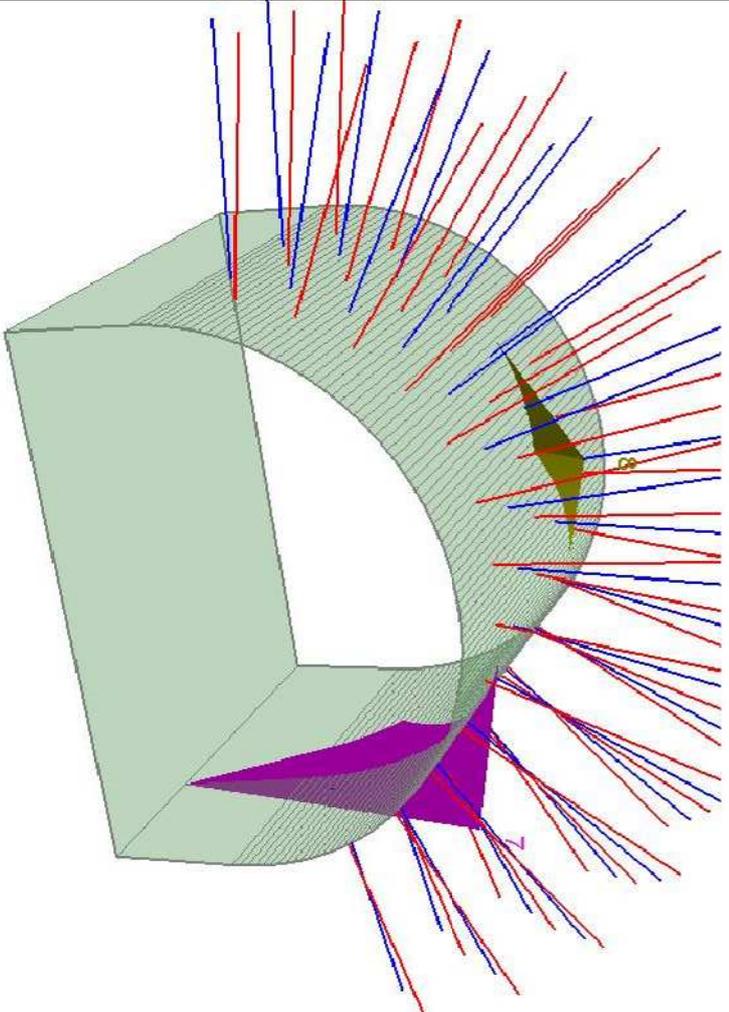
Factor of Safety: 4.746

Wedge Weight: 2,064 tonnes

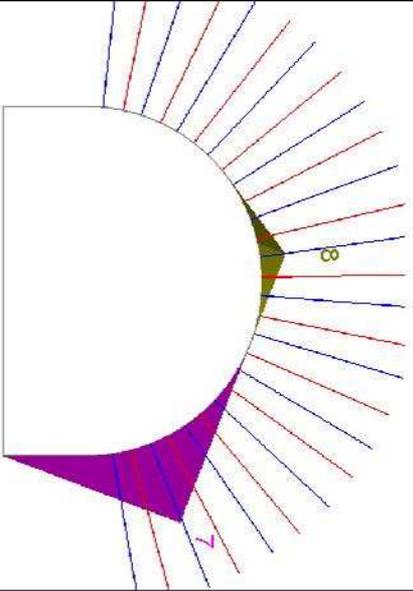
Apex Height: 0.98 m



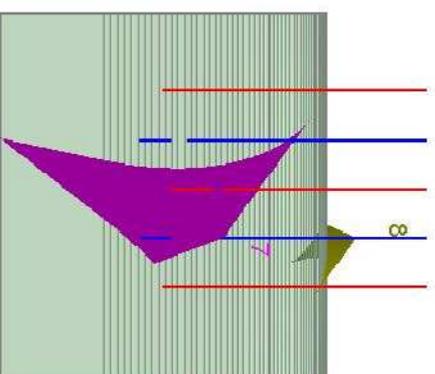
Top



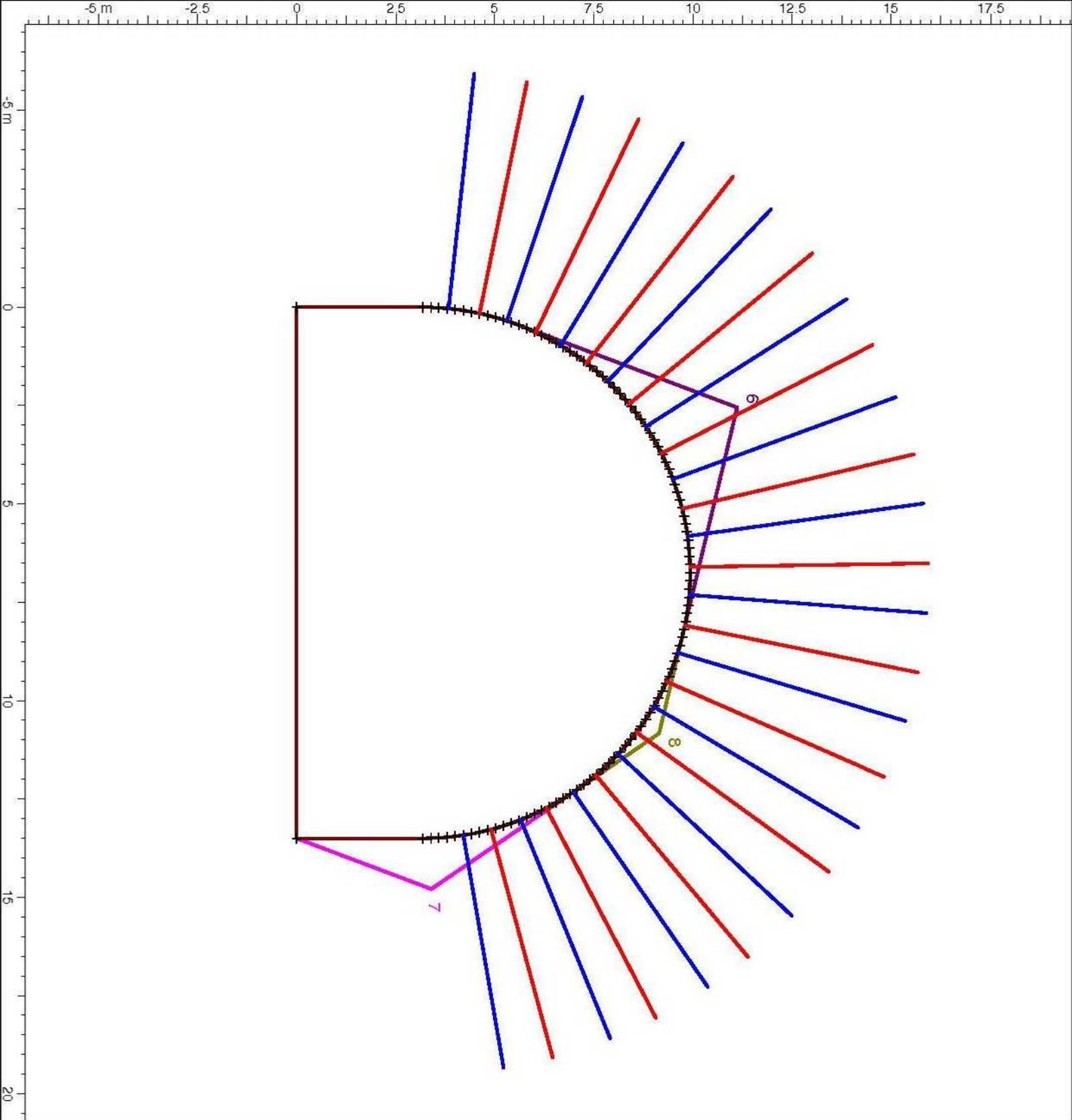
Perspective



Front



Side



### Wedge Information

#### Upper Left wedge [6]

Factor of Safety: 2.258  
 Wedge Weight: 17.544 tonnes  
 Apex Height: 2.23 m

#### Lower Right wedge [7]

Factor of Safety: 3.178  
 Wedge Weight: 7.172 tonnes  
 Apex Height: 1.30 m

#### Upper Right wedge [8]

Factor of Safety: 13.398  
 Wedge Weight: 0.624 tonnes  
 Apex Height: 0.48 m

## Wedge Information

### Upper Left wedge [6]

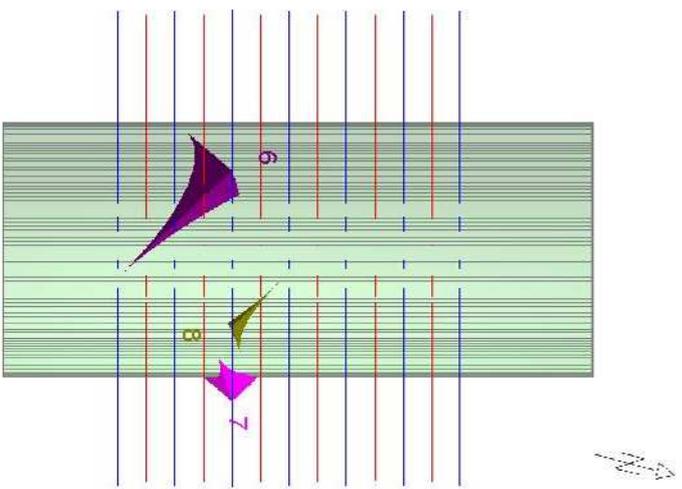
Factor of Safety: 2.258  
Wedge Weight: 17.544 tonnes  
Apex Height: 2.23 m

### Lower Right wedge [7]

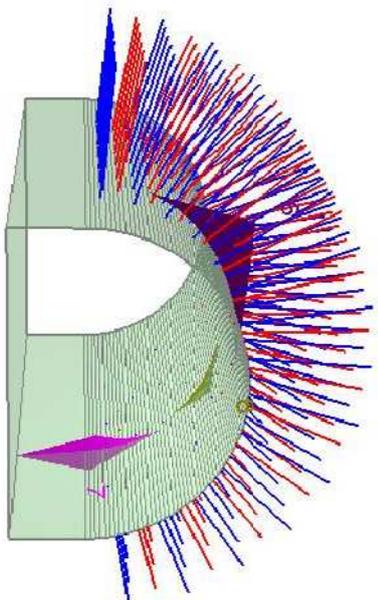
Factor of Safety: 3.178  
Wedge Weight: 7.172 tonnes  
Apex Height: 1.30 m

### Upper Right wedge [8]

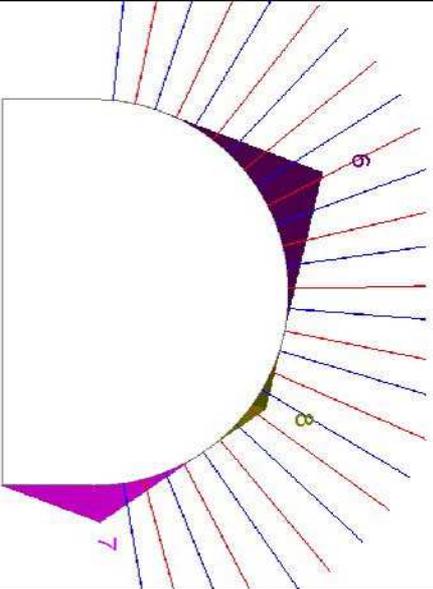
Factor of Safety: 13.398  
Wedge Weight: 0.624 tonnes  
Apex Height: 0.48 m



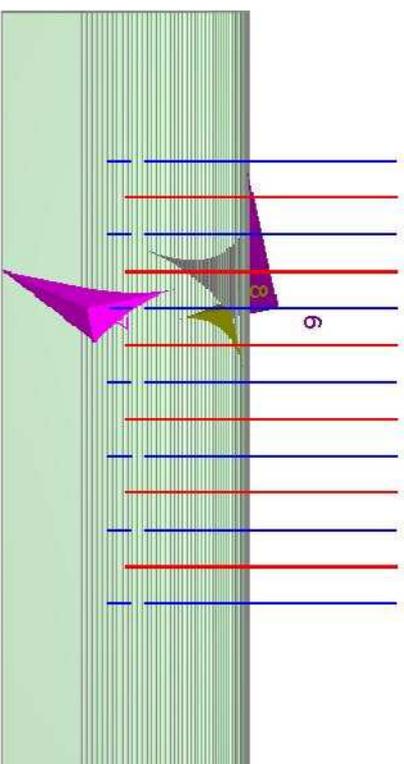
Top



Perspective



Front



Side