Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	VERGA	GATTI	CASSANI

REGIONE LIGURIA

#ItaliaSicura
Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMUNE DI GENOVA

PIANO STRALCIO PER LE AREE METROPOLITANE E LE AREE URBANE CON ALTO LIVELLO DI POPOLAZIONE ESPOSTA AL RISCHIO DI ALLUVIONI

Presidenza del Consiglio dei Ministri

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
COMMISSARIO STRAORDINARIO
delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii.
(ex art. 10 del D.L. n. 91 del 24.06.2014)

Commissario straordinario
Dott. Giovanni TOTI

PROGETTISTI

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

ROCKSOIL S.p.A.
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA

MANDANTI:

art ambiente risorse territorio

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Mario CANGIANO

Ing. Paolo GALLO

Ing. Francesco DE SANCTIS

Dott.ssa Francesca GIOMI

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE
Ing. Luca BERRUTI

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO
Ing. Stefano PINASCO

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico della mandataria.
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Progettista/Progettisti responsabili elaborato
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Intervento/Opera

SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA

PROGETTO ESECUTIVO

N° Progr. ----

Codice elaborato BIS2E - R - OST00 -RE03- 0

Oggetto della tavola

OPERE IN SOTTERRANEO

GENERALI

Camerone - Relazione tecnica e di calcolo

Scala -

Data NOVEMBRE 2017

Codice FILE BIS2E-R-OST00-RE03-0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA STRUTTURA COMMISSARIALE E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

Sommario

1 Introduzione ... 3
2 Normativa di riferimento ... 4
3 Software utilizzati ... 5
4 Materiali ... 6
5 Descrizione generale dell'intervento e fasi esecutive generali ... 8
5.1 Fase 1 ... 9
6.1 Fase 2 ... 11
6.2 Fase 3 ... 13
6.3 Fase 4 ... 14
6.4 Fase 5 ... 16
6.5 Fase 6 ... 17
7 Descrizione delle sezioni di avanzamento ... 20
7.1 Sezione di allargo della finestra di accesso ... 20
7.1.1 Fasi Esecutive ... 20
7.1.2 Interventi previsti ... 20
7.2 Sezione di testata ... 21
7.2.1 Fasi Esecutive ... 21
7.2.2 Interventi previsti ... 22
7.3 Sezione corpo longitudinale ... 22
7.3.1 Fasi Esecutive ... 22
7.3.2 Interventi previsti ... 23
8 Verifica degli interventi di progetto ... 24
8.1 Analisi numerica – Scavo e rivestimenti provvisori ... 24
8.1.1 FLAC 3D ... 25
8.1.2 Leggi di comportamento del materiale ... 27
8.1.3 Parametri geomeccanici ... 28
8.1.4 Modellazione elementi strutturali ... 28
8.1.5 Criteri di verifica ... 33
8.1.6 Stato di sforzo iniziale ... 33
8.1.7 Fasi esecutive ... 34
8.1.8 Risultati numerici ... 38
8.2 Analisi numerica – Rivestimenti definitivi ... 56
8.2.1 Analisi dei carichi ... 56
8.2.2 Criteri di calcolo ... 57
8.2.3 Sezioni di calcolo ... 61
8.2.4 Risultati ... 62
8.2.5 Verifiche ... 65
9 Analisi dei tetraedri instabili ... 71
9.1 Procedura di verifica ... 72
9.2 Analisi geostrutturali ... 73
9.2.1 Parametri delle discontinuità ... 74
9.3 Supporti ... 74
9.3.1 Bulloni ... 77

9.3.2 Spritz Beton ... 77
9.4 Analisi 1 – Sezione in allargo Finestra ... 78
9.4.1 Analisi F-A ... 78
9.4.2 Analisi F-B ... 80
9.5 Analisi 2 - Camerone ... 80
9.5.1 Analisi C-A ... 80
9.5.2 Analisi C-B ... 82
10 Conclusioni ... 84
11 Allegati – Analisi dei tetraedri instabili ... 85
11.1 ALLEGATO 1 - Analisi 1 – Sezione in allargo Finestra ... 85
11.2 ALLEGATO 2 - Analisi 2 – Camerone ... 85

1 Introduzione

La presente Relazione Tecnica e di Calcolo fa parte dei documenti previsti nell'ambito del Progetto Esecutivo del 2° Lotto dei lavori per la realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno, nel comune di Genova.

L'intervento oggetto dell'affidamento di progettazione esecutiva comprende nello specifico il complesso delle opere di presa e sistemazione dell'alveo Bisagno, la finestra di accesso al camerone, la galleria scolmatrice con sviluppo complessivo di 6500 m circa da scavarsi parzialmente in tradizionale e parzialmente (parte prevalente) con sistema meccanizzato e gli interventi connessi allo sbocco a mare presso la spiaggia di San Giuliano, con il completamento del manufatto di convergenza della galleria Bisagno sulla galleria scolmatrice del torrente Fereggiano, i cui lavori sono in corso di completamento.

Si prevede che in primo luogo venga realizzata la finestra di accesso che si connetterà alla galleria principale mediante un camerone in cui verrà montata la fresa e da cui partiranno le attività di scavo meccanizzato verso valle per una lunghezza comoplessiva di 5786 m. Lo scavo della porzione a monte, dal camerone alla camera di presa, verrà realizzata invece con metodo tradizionale per una lunghezza complessiva di circa 646 m.

Nella presente relazione si riportano le analisi relative allo scavo del camerone che avverrà con metodo tradizionale secondo al fasistica riportata negli elaborati grafici di progetto.

Nell seguito, dopo una breve sintesi del quadro geologico-geomeccanico di riferimento ed una descrizione delle caratteristiche principali dell'opera, si riportano i risultati delle analisi numeriche condotte per il dimensionamento della galleria e le verifiche strutturali effettuate per la valutazione del comportamento dei rivestimenti provvisori e definitivi.

2 Normativa di riferimento

Per lo svolgimento delle analisi e la redazione degli elaborati di progetto esecutivo si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951 – Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
- UNI EN 197-1 giugno 2001 – "Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni"
- UNI EN 11104 marzo 2004 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità"

3 Software utilizzati

Ai fini dell'esecuzione dei calcoli geotecnici e strutturali si è fatto uso dei seguenti software/strumenti di calcolo:

- ITASCA FLAC 3D - Versione 6.0
- SAP2000 – Versione 15

4 Materiali

Per la realizzazione del camerone scavato con metodo tradizionale è previsto l'utilizzo di calcestruzzo R_{ck} ≥40 N/mm²:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$ N/mm²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 0.85 \cdot fck/1.5 = 18.81$ N/mm²
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10$ N/mm²
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17$ N/mm²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 1.45$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 19.92$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Quasi Permanente)	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 14.94$ N/mm²
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000\ [(f_{ck}+8)/10]^{0.3} = 33643$ N/mm²

Per le armature metalliche si adottano barre in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

Limite di snervamento	$f_y \geq 450$ N/mm²
Limite di rottura	$f_t \geq 540$ N/mm²
Allungamento totale al carico massimo	$A_{gt} \geq 7.5\%$
Rapporto f_t/f_y	$1{,}15 \leq R_m/R_e \leq 1{,}35$
Rapporto f_y misurato/ $f_{y\,nom}$	≤ 1,25
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)	$\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} = 360.00$ N/mm²
Fattore di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\sigma_s = 391.30$ N/mm²

Per la carpenteria metallica è previsto l'uso di acciaio tipo S275:

Resistenza caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 275$ N/mm²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm²
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.05$

Per le opere provvisionali si prevede l'utilizzo di spritz beton in classe R_{ck} ≥35 N/mm2:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 29.05$ N/mm²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 0.85 \cdot fck/1.5 = 16.46$ N/mm²
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.94$ N/mm²
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.36$ N/mm²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 0.91$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 9.87$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Quasi Permanente)	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 7.41$ N/mm²
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000\ [(f_{ck}+8)/10]^{0.3} = 32588$ N/mm²

Per le chiodature metalliche è previsto l'uso di barre tipo Dywidag R32S:

Resistenza caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 550$ N/mm²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm²
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$

Per le chiodature in vetroresina è previsto l'uso di barre ϕ32:

Resistenza caratteristica di snervamento	f_{yk} = 600 N/mm^2
Modulo elastico	E_s = 40000 N/mm^2
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_f = 1.5

5 Descrizione generale dell'intervento e fasi esecutive generali

Il progetto della galleria scolmatrice del Bisagno si sviluppa lungo una tratta di circa 6500 m scavati in parte con metodo meccanizzato ed in parte con metodo tradizionale. In corrispondenza della tratta compresa tra le pk 5+969.49 e 6+019.49, per uno sviluppo di 50 m, è prevista la realizzazione del camerone per il montaggio della fresa oggetto della presente relazione.

Le fasi realizzative dell'opera prevedono in prima battuta la realizzazione della finestra di accesso il cui asse intercetta l'asse della galleria principale in corrispondenza della pk 6+012.79. Completato lo scavo in sezione corrente della finestra di accesso è previsto uno scavo in allargo per una lunghezza pari a 26 m fino al raggiungimento della geometria di progetto del camerone. Lo scavo del camerone risulta suddiviso in due corpi, il corpo di testata, ortogonale allo sviluppo della galleria principale, che risulta propedeutico alla realizzazione del corpo principale longitudinale del camerone il quale, a scavi conclusi, avrà uno sviluppo pari a 50 m. Nella seguente immagine viene invece riportata la planimetria di inquadramento generale.

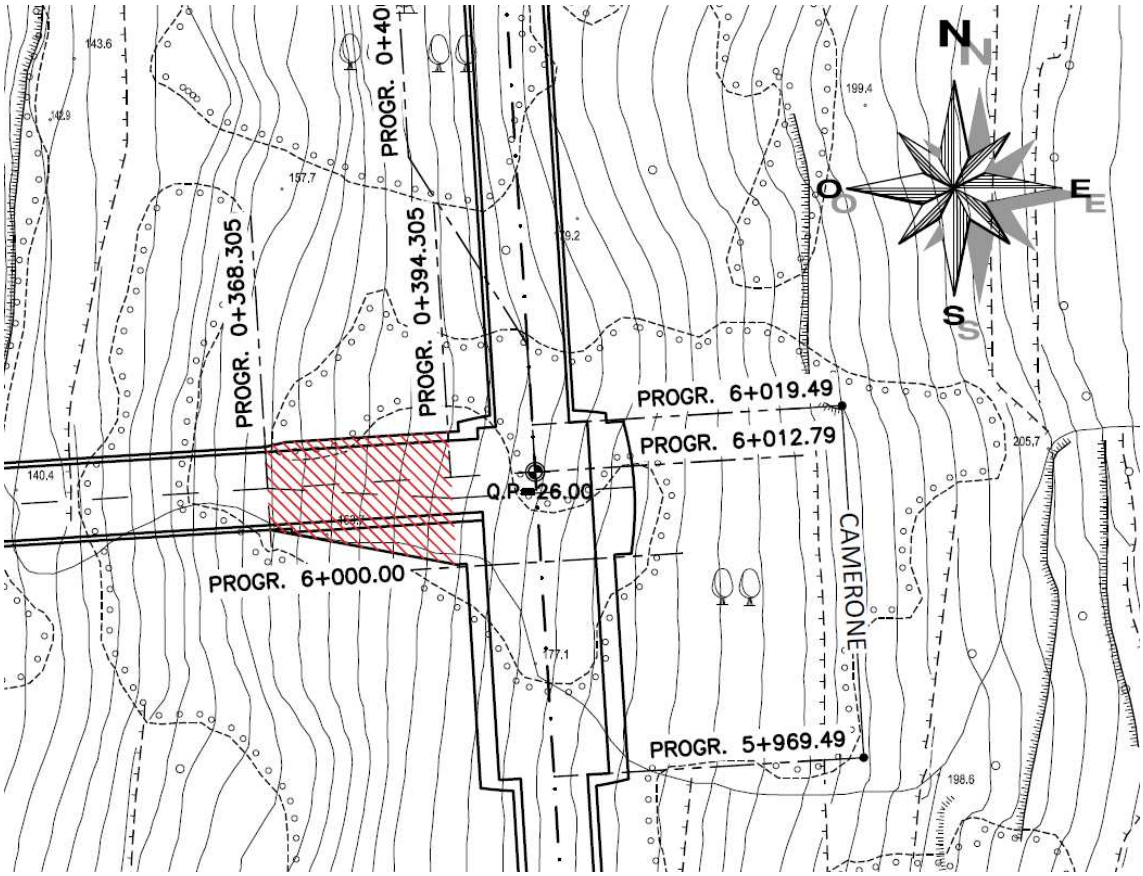


Figura 1 – Camerone – Planimetria

Per una completa comprensione delle fasi realizzative del camerone nel seguito vengono descritte le fasi esecutive generali di scavo secondo quanto riportato nei relativi elaborati grafici.

5.1 Fase 1

- Scavo della finestra di accesso fino alla pk 0+368.305 secondo le modalità di progetto;
- Predisposizione della rampa per lo scavo della sezione di allargo in calotta, riportando materiale di scavo fino alla quota 31.53 (pendenza rampa pari a circa 14%);
- Scavo della sezione di allargo fino alla pk 0+394.305 secondo le modalità di progetto con pendenza del piano di scavo di circa 14%;
- Scavo della testata del camerone nel settore di calotta secondo le modalità di progetto, fino alla quota 35.17.

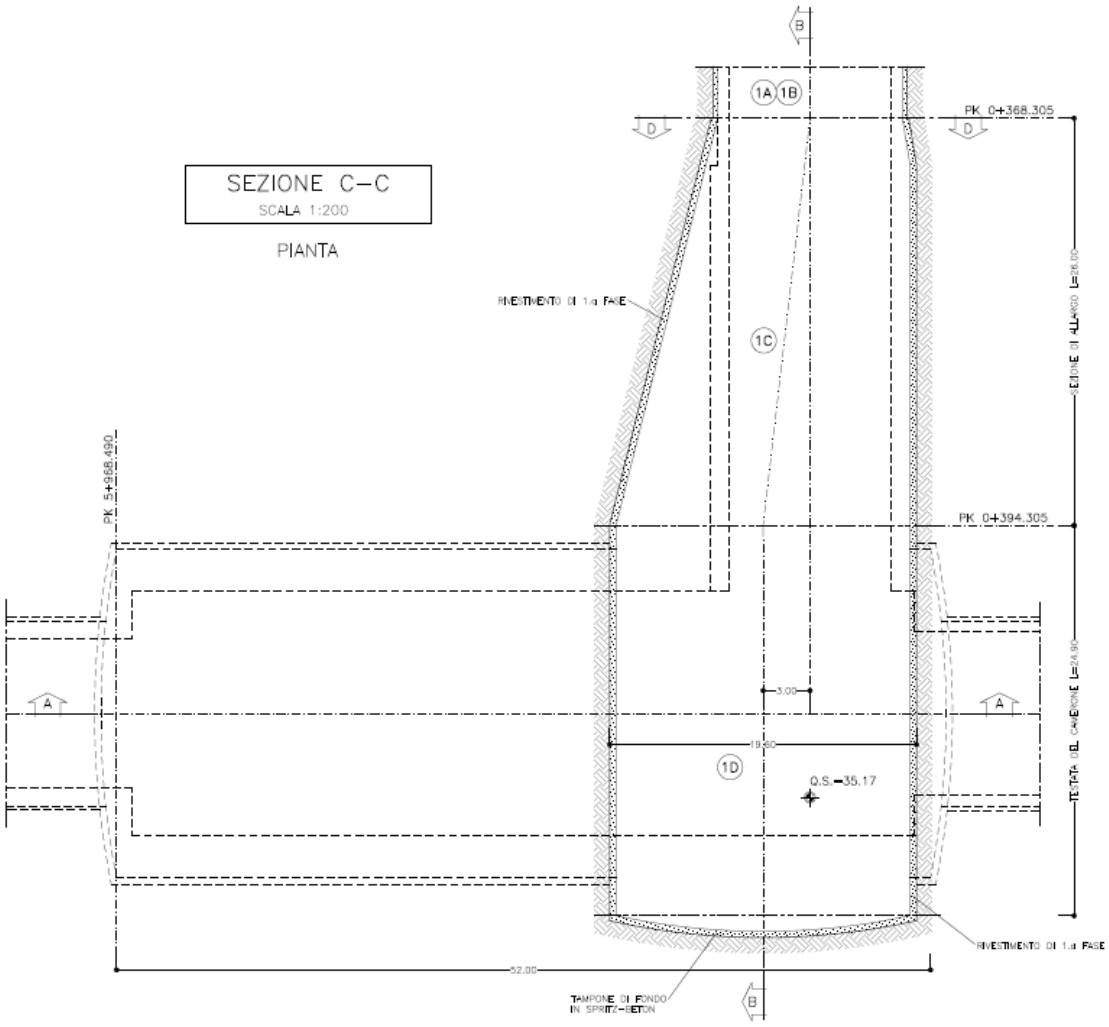


Figura 2 – Fase 1 - Planimetria

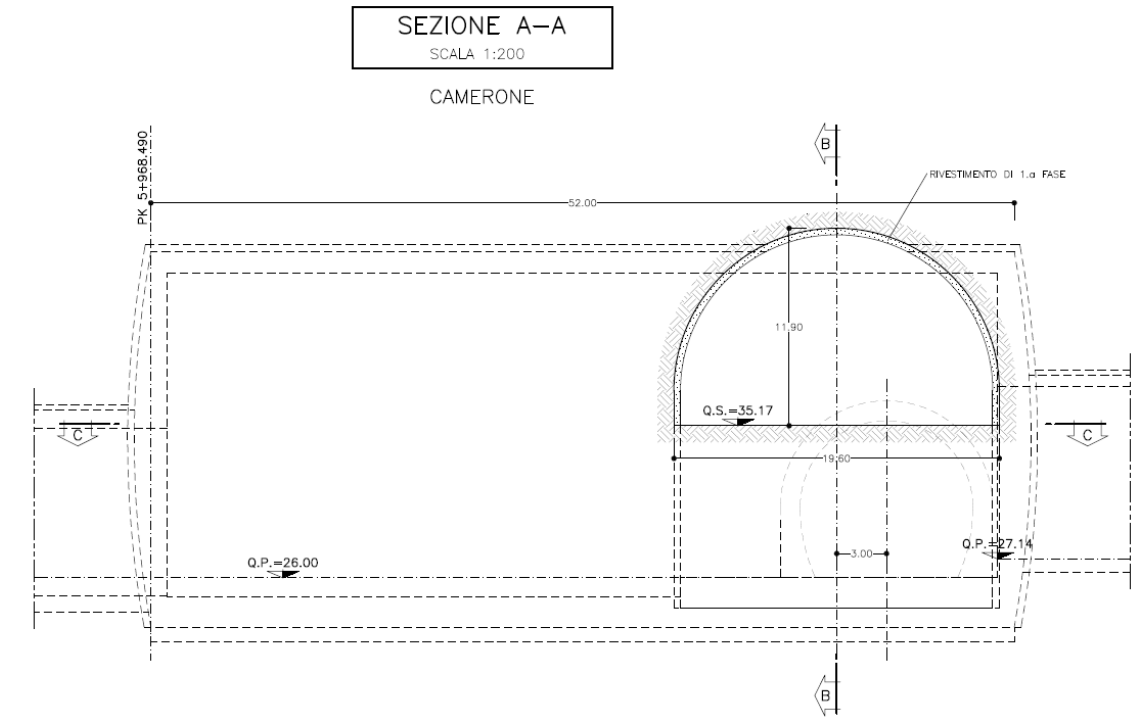


Figura 3 – Fase 1 – Sezione A-A

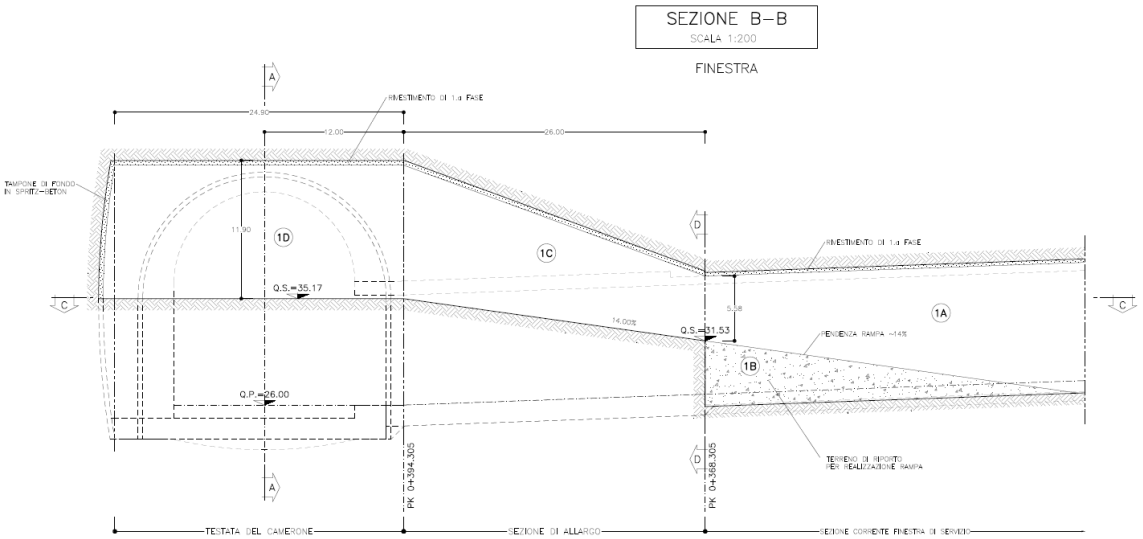


Figura 4 – Fase 1 – Sezione B-B

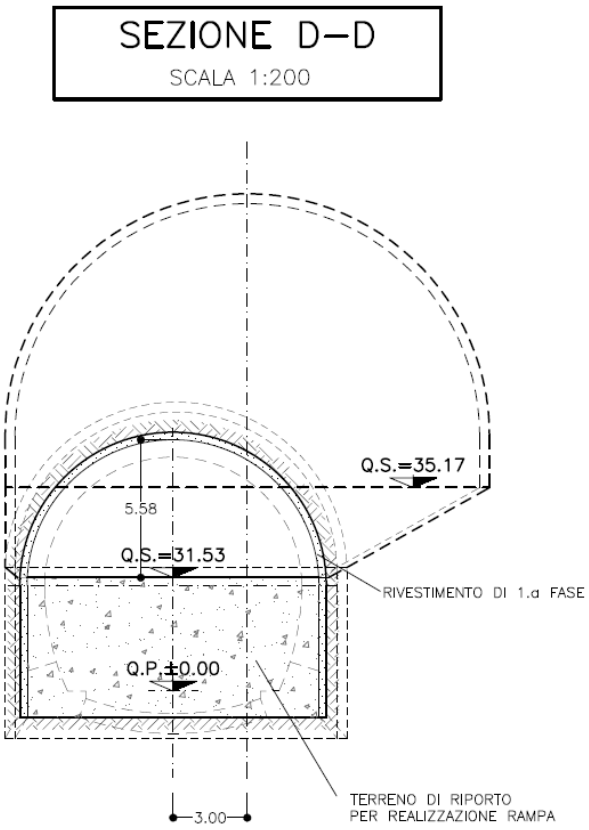


Figura 5 – Fase 1 – Sezione D-D

6.1 Fase 2

- Scavo del corpo longitudinale del camerone mediante realizzazione dei due cunicoli di piedritto, secondo le modalità di progetto, con piano di scavo a quota 35.17 m.

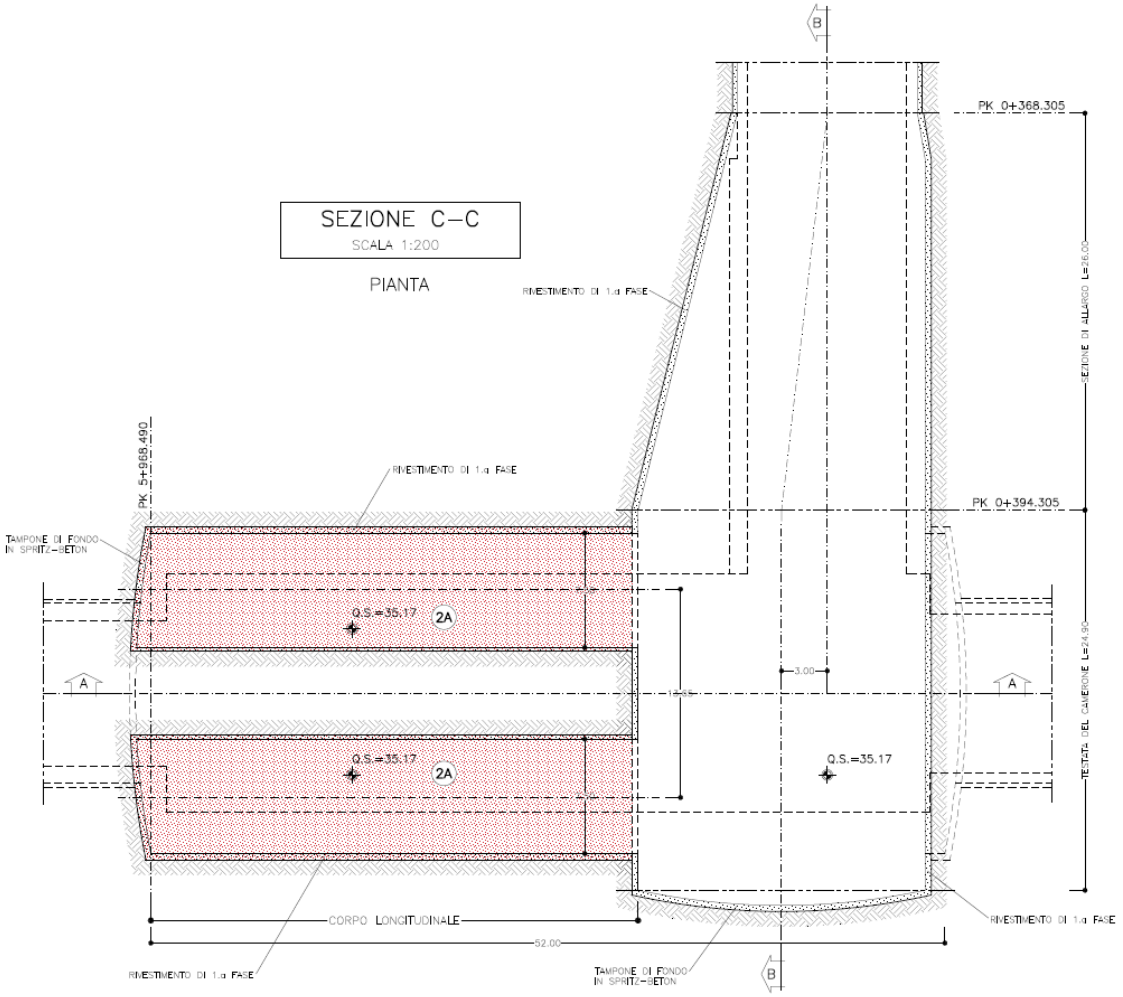


Figura 6 – Fase 2 – Planimetria

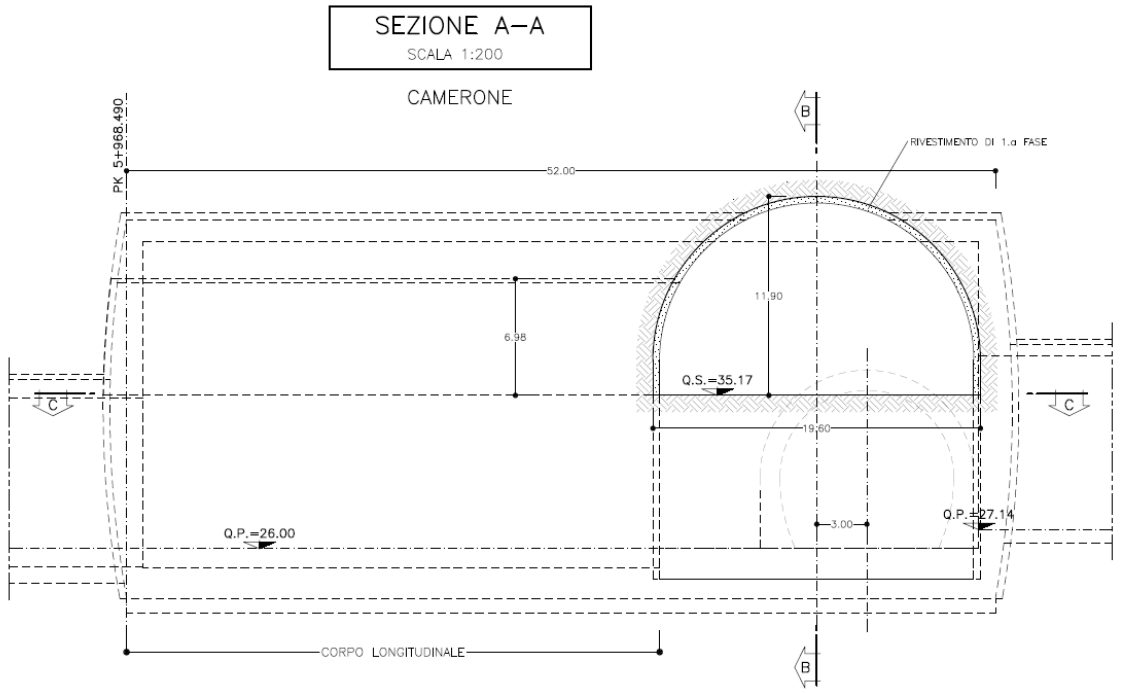


Figura 7 – Fase 2 – Sezione A-A

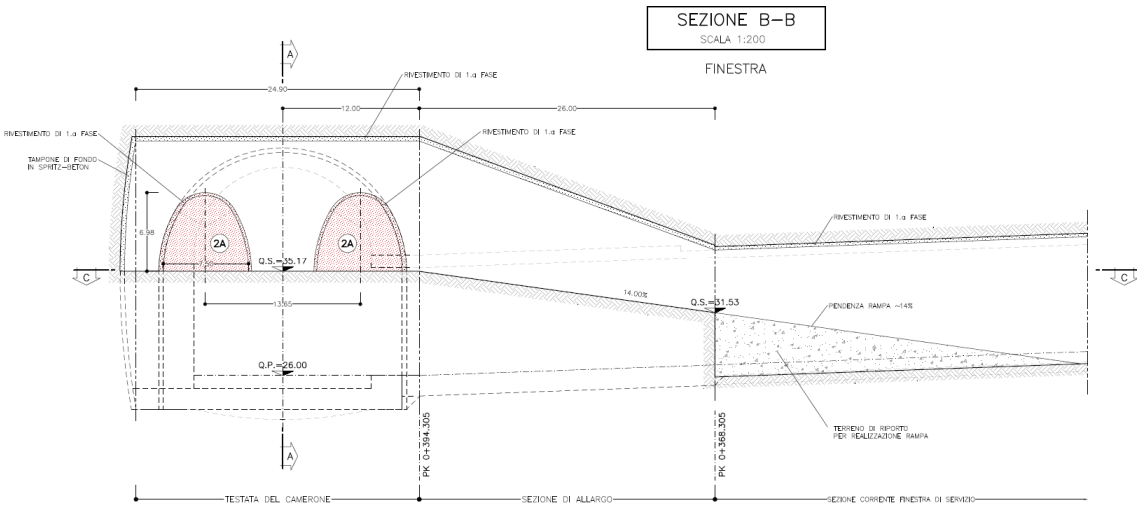


Figura 8 – Fase 2 – Sezione B-B

6.2 Fase 3

- Scavo del corpo longitudinale del camerone mediante scavo di allargo dei cunicoli di piedritto, completando lo scavo della calotta lato mare secondo le modalità di progetto con piano di scavo a quota 35.17 m;
- Apertura del fronte in calotta verso il Bisagno.

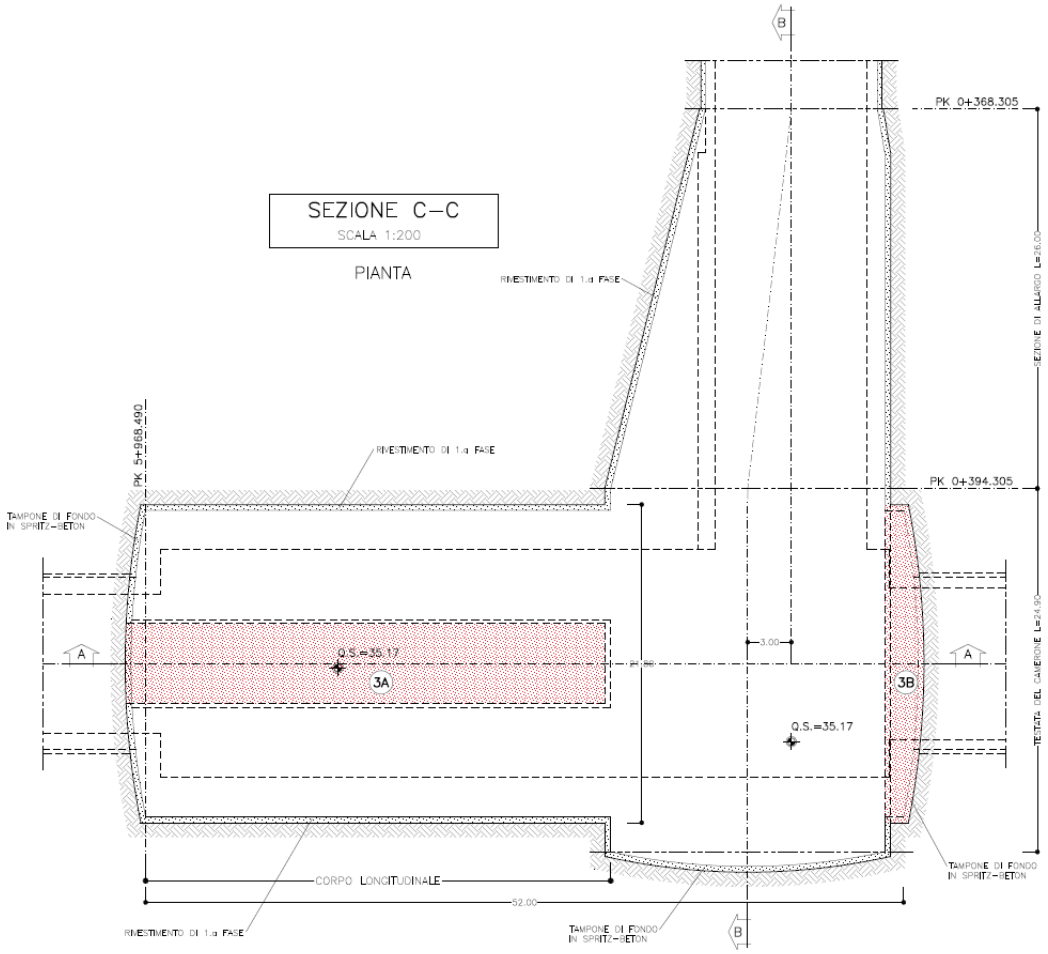


Figura 9 – Fase 3 – Planimetria

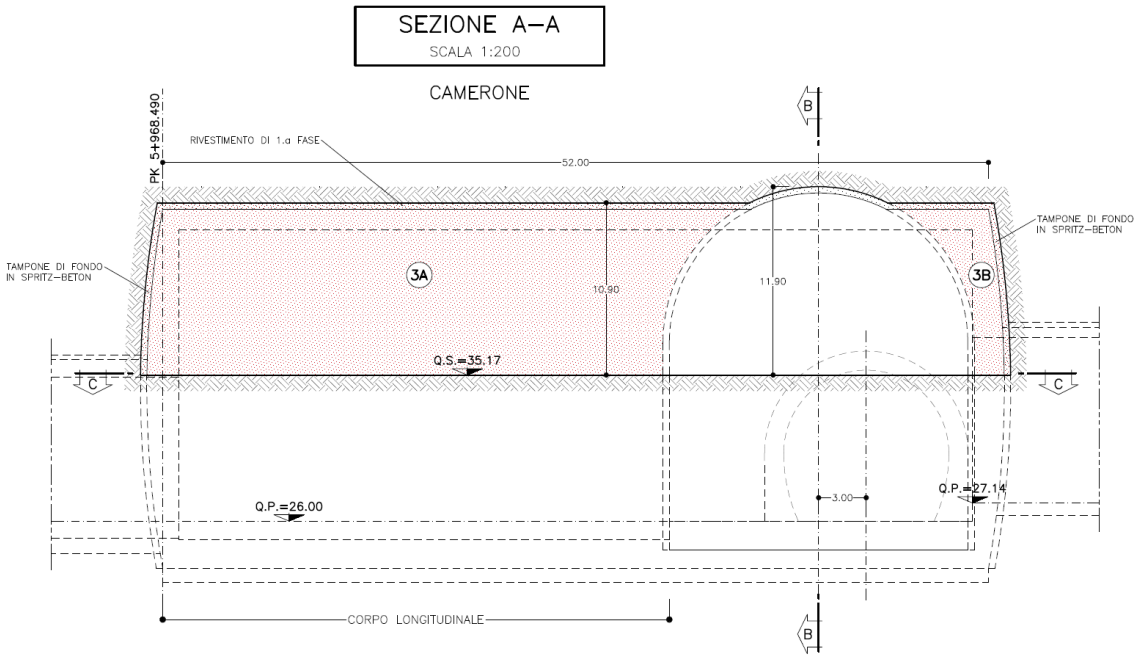


Figura 10 – Fase 3 – Sezione A-A

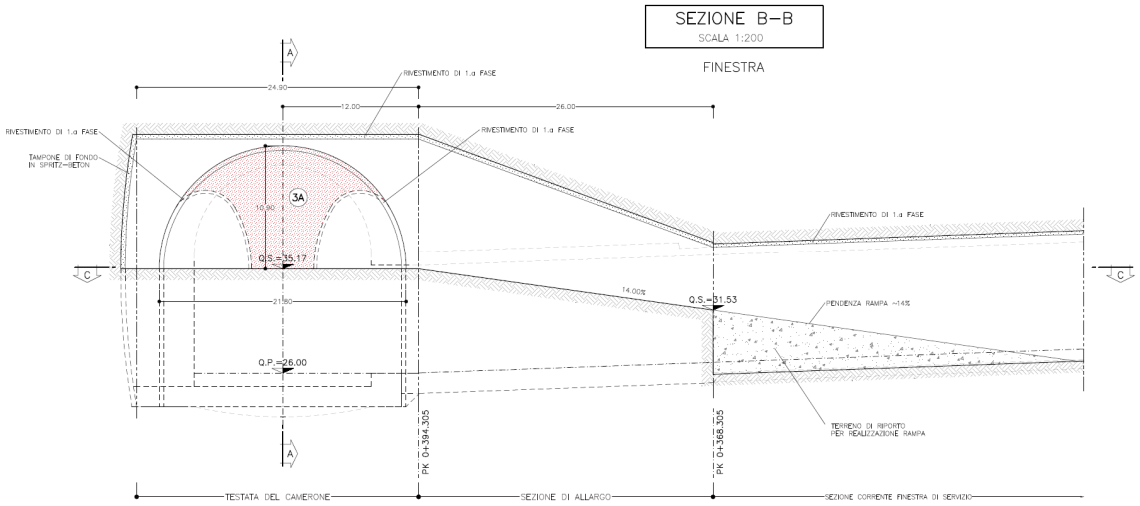


Figura 11 – Fase 3 – Sezione B-B

6.3 Fase 4

- Scavo del corpo longitudinale del camerone mediante scavo di allargo dei cunicoli di piedritto, completando lo scavo della calotta lato mare secondo le modalità di progetto con piano di scavo a quota 35.17 m;
- Apertura del fronte in calotta verso il Bisagno.

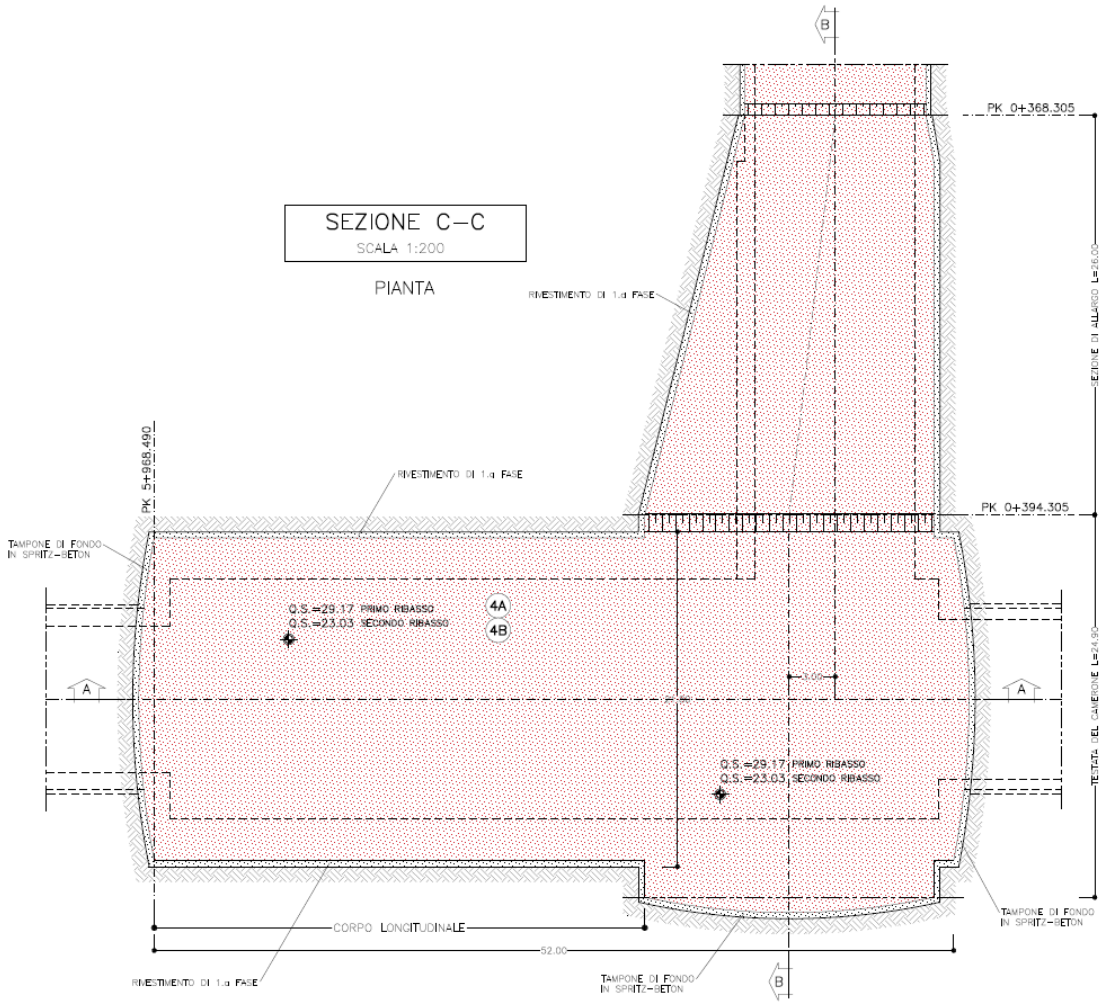


Figura 12 – Fase 4 – Planimetria

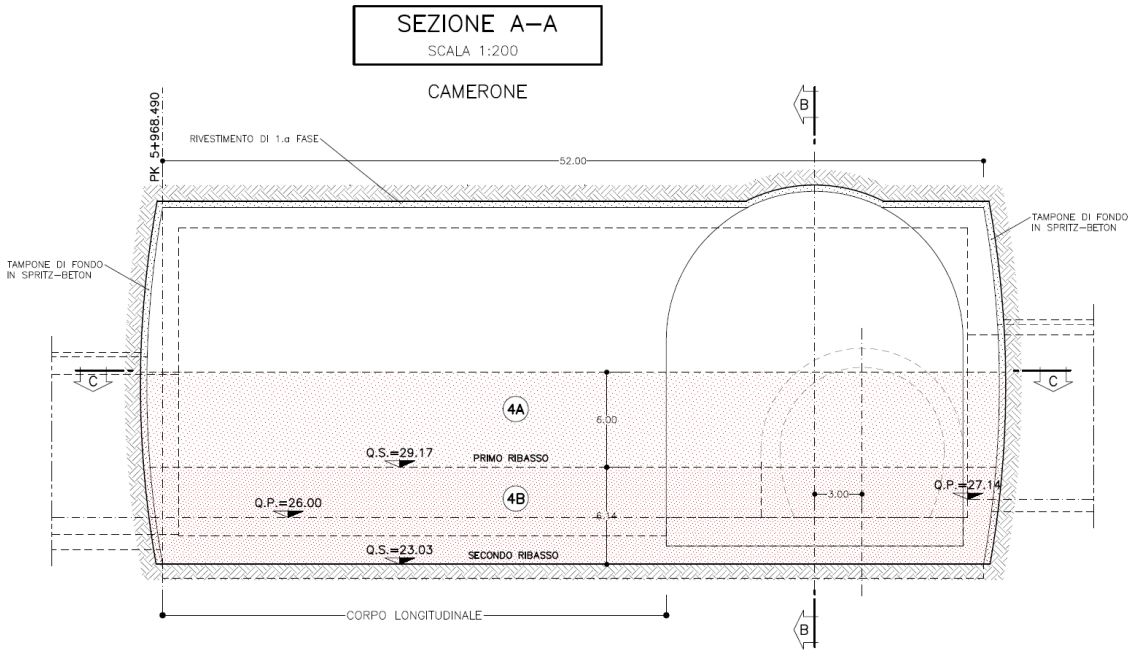


Figura 13 – Fase 4 – Sezione A-A

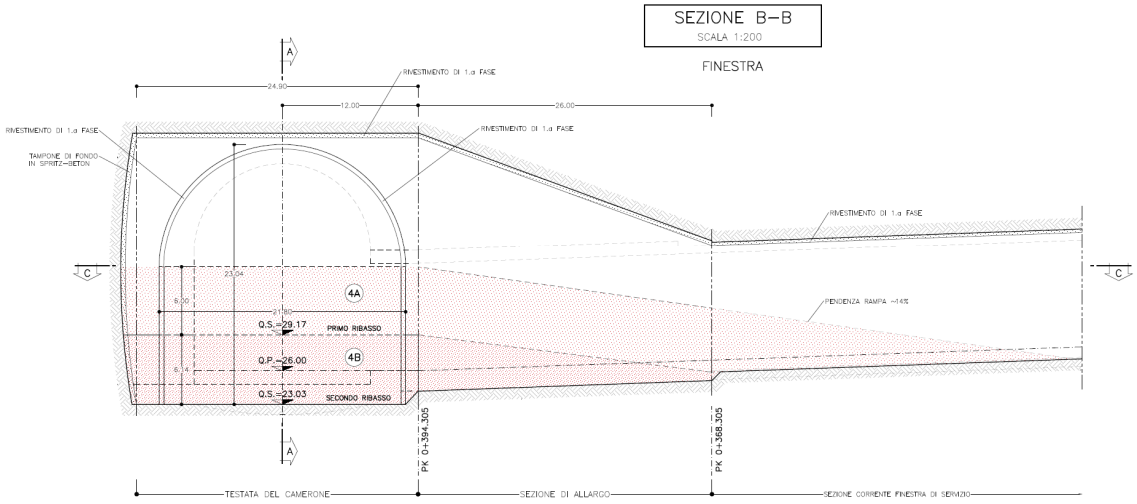


Figura 14 – Fase 4 – Sezione B-B

6.4 Fase 5

- Esecuzione della soletta di base all'interno del camerone secondo le geometrie di progetto;
- A seguito della fase 5 si potrà procedere all'allestimento del cantiere all'interno del camerone per il monitoraggio della TBM e l'avvio degli scavi con sistema meccanizzato.

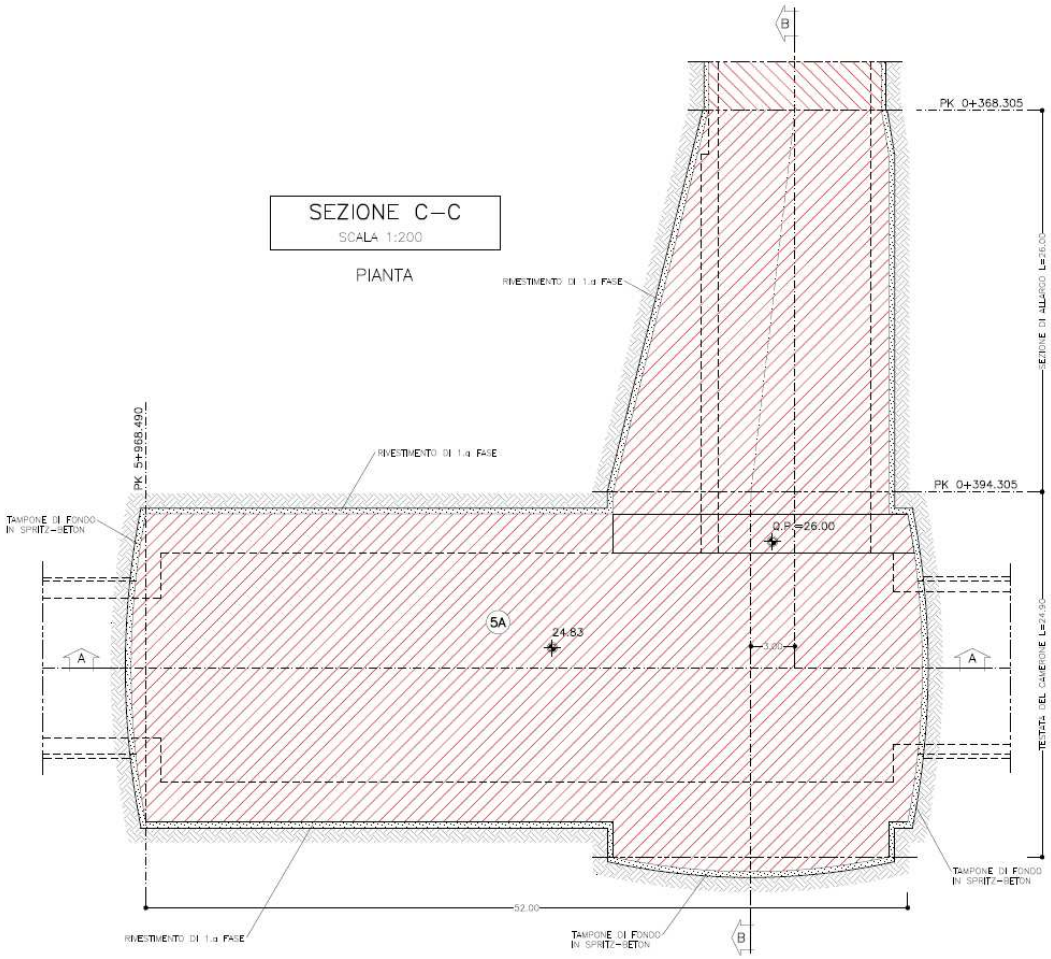


Figura 15 – Fase 5 – Planimetria

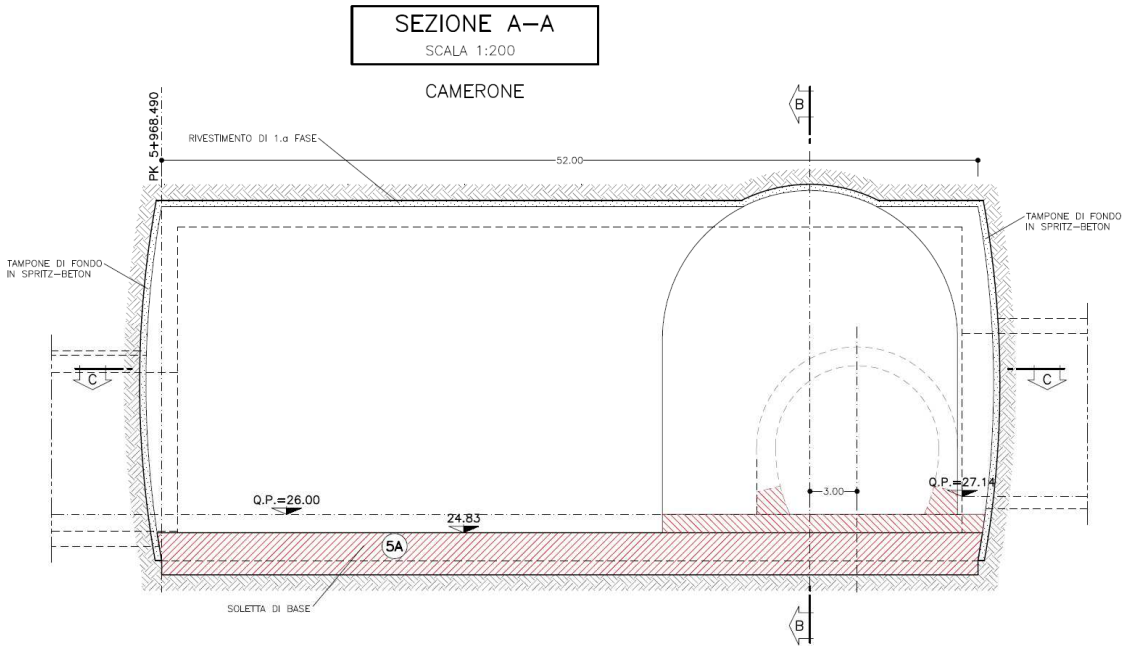


Figura 16 – Fase 5 – Sezione A-A

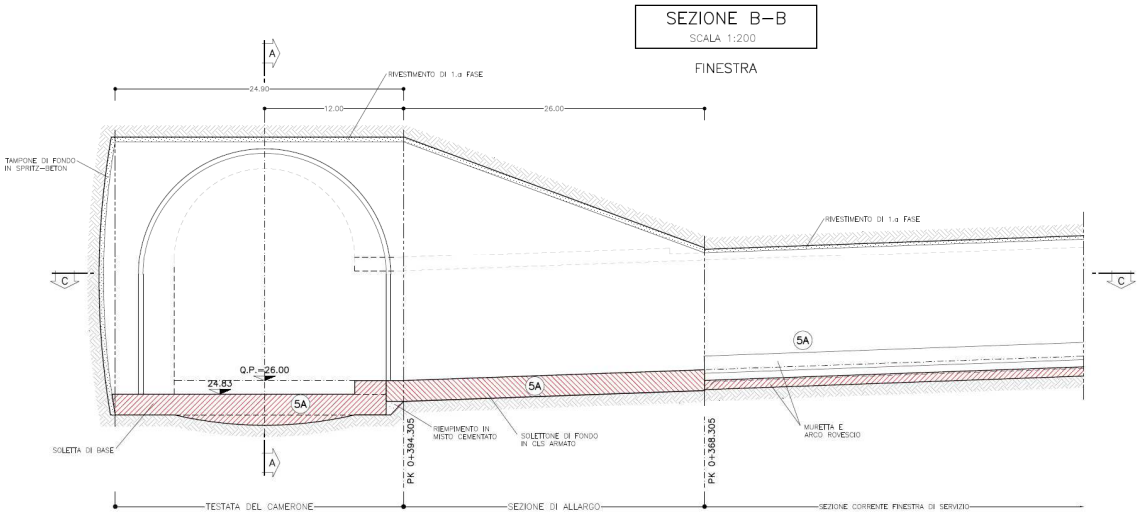


Figura 17 – Fase 5 – Sezione B-B

6.5 Fase 6

- Realizzazione del piano di lavoro a quota 26.00 m, secondo le modalità di progetto;
- Posa dell'impermeabilizzazione (pvc/tnt);
- Realizzazione dei rivestimenti definitivi secondo le geometrie di progetto;
- I getti dovranno essere eseguiti per step successivi di 3-4 m di altezza ciascuno. Per i volumi non armati saranno impiegati calcestruzzi alleggeriti.

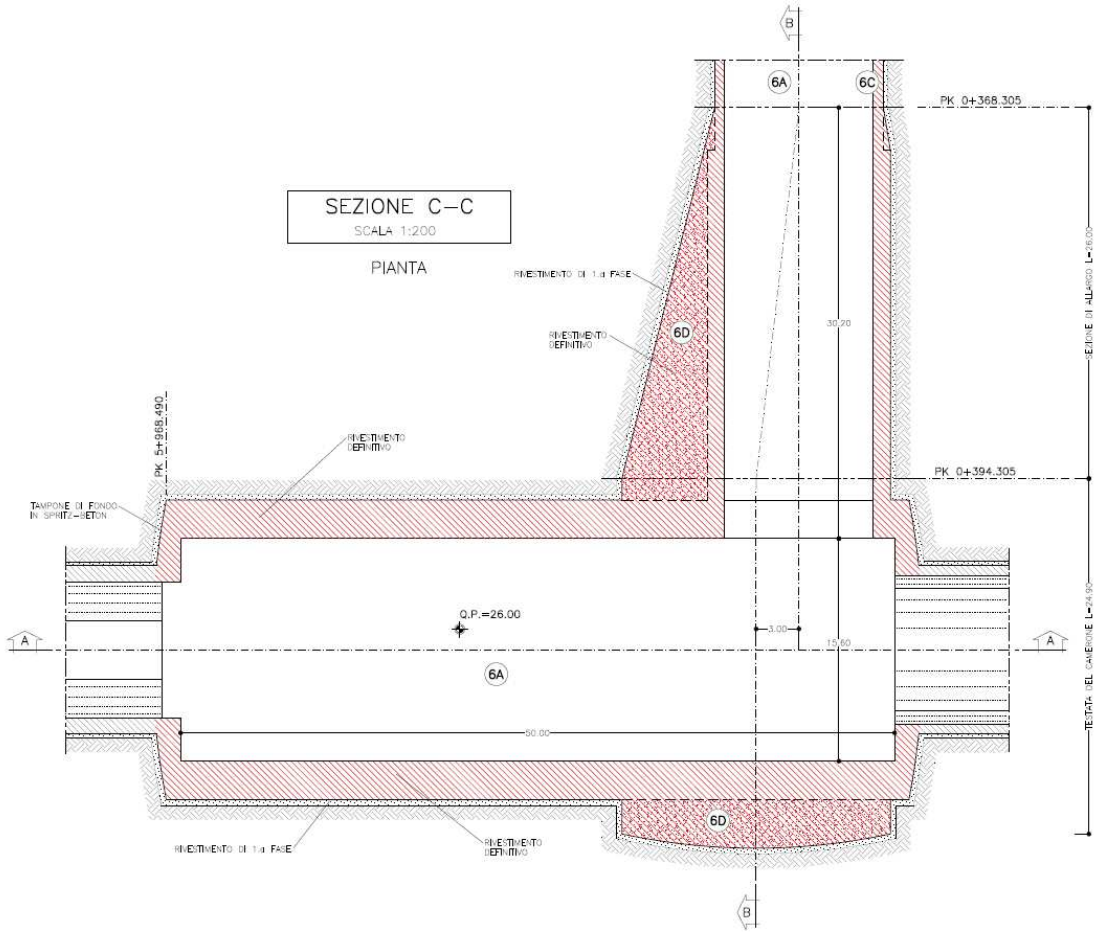


Figura 18 – Fase 6 – Planimetria

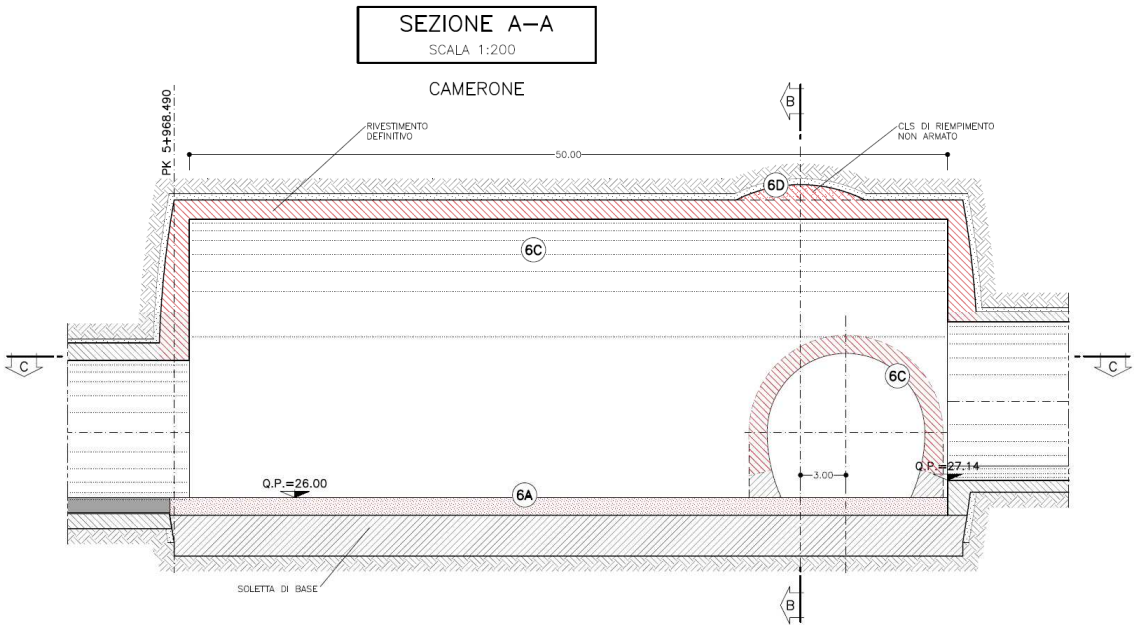


Figura 19 – Fase 6 – Sezione A-A

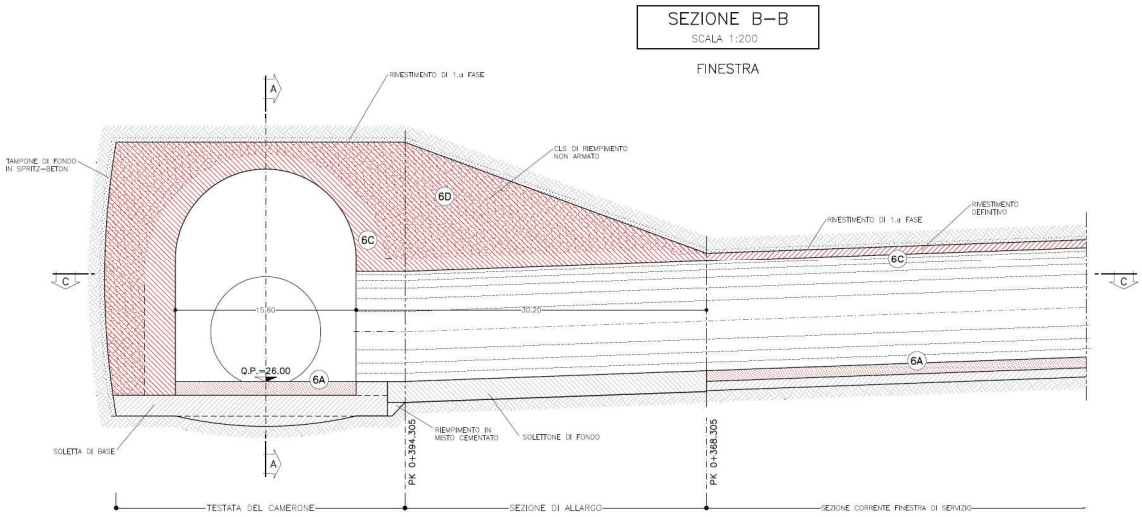


Figura 20 – Fase 6 – Sezione B-B

7 Descrizione delle sezioni di avanzamento

Nel seguito si riportano nel dettaglio gli interventi previsti e la sequenza delle fasi esecutive per ciascuna sezione tipo prevista per la galleria. In corso d'opera potrà essere ulteriormente verificata l'adeguatezza di tali sezioni sulla base dei rilievi geostrutturali e del comportamento deformativo del fronte (estrusioni) e del cavo (convergenze, cedimenti), in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite nel progetto.

7.1 Sezione di allargo della finestra di accesso

7.1.1 Fasi Esecutive

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=10,0 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 10,0 cm. Ad una distanza di 0.75 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da barre ø32 autoperforanti tipo Dywidag R32S. I chiodi saranno disposti a quinconce con maglia di 1.50x1.50 m ed aventi le seguenti lunghezze:

- Tratta A – Lunghezza chiodi = 6 m;
- Tratta B – Lunghezza chiodi = 8 m;
- Tratta C – Lunghezza chiodi = 10 m;

Le lavorazioni proseguiranno per le restanti sezioni di scavo del camerone, secondo quanto riportato nelle fasi generai 2 e 3 descritte precedentemente, fino al completamento del primo piano di scavo la cui quota in corrispondenza del camerone è posta a 35.17 m.

Terminato lo scavo dei settori di calotta della sezione di allargo e del camerone si procederà alla posa del secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=25,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 35,0 cm.

Successivamente si procederà, secondo le medesime fasi esecutive descritte in precedenza, alla realizzazione del primo ribasso e successivamente alla realizzazione del secondo ribasso fino al raggiungimento delle geometrie di progetto, secondo quanto riportato nella fase generale 4.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito al termine dell'ultimo scavo di ribasso al fine di consentire il montaggio della fresa, vedi fase generale 5. Terminati gli scavi della galleria principale scavata con fresa sarà quindi possibile provvedere alla posa in opera di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

7.1.2 Interventi previsti

La sezione di scavo dell'allargo della finestra di accesso è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi , 9 m ciechi e 15 m microfessurati (eventuali in presenza d'acqua);

- Bulloni radiali ø32 tipo Dywidag, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.):

  TRATTA A – Lunghezza 6.00 m;

  TRATTA B – Lunghezza 8.00 m;

  TRATTA C – Lunghezza 10.00 m.

- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 35,0 cm (10,0 cm + 25,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 10,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 1,80 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 1,20 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

7.2 Sezione di testata

7.2.1 Fasi Esecutive

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=10,0 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 10,0 cm. Ad una distanza di 0.75 m – 1.00 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da barre ø32 autoperforanti tipo Dywidag R32S e da barre in VTR ϕ32. I chiodi saranno disposti a quinconce con maglia di 1.50x1.50 m ed avranno una lunghezza pari a 10 m. In corrispondenza del tampone di fondo la maglia sarà invece disposta a passo 1.50 x 2.00 m.

Le lavorazioni proseguiranno per le restanti sezioni di scavo del camerone, secondo quanto riportato nelle fasi generai 2 e 3 descritte precedentemente, fino al completamento del primo piano di scavo la cui quota in corrispondenza del camerone è posta a 35.17 m.

Terminato lo scavo dei settori di calotta della sezione di allargo e del camerone si procederà alla posa del secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=25,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 35,0 cm.

Successivamente si procederà, secondo le medesime fasi esecutive descritte in precedenza, alla realizzazione del primo ribasso e successivamente alla realizzazione del secondo ribasso fino al raggiungimento delle geometrie di progetto, secondo quanto riportato nella fase generale 4.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito al termine dell'ultimo scavo di ribasso al fine di consentire il montaggio della fresa, vedi fase generale 5. Terminati gli scavi della galleria principale scavata con fresa sarà quindi possibile provvedere alla posa in opera di un ultimo strato di spritz beton di

regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

7.2.2 Interventi previsti

La sezione di scavo di testata è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi, 9 m ciechi e 15 m microfessurati (eventuali in presenza d'acqua);
- Bulloni radiali ø32 tipo Dywidag di lunghezza pari a L=10.00 m, maglia 1,50 m x 1,50 m in calotta galleria e maglia 1.50 x 2.00 m in corrispondenza del tampone di fondo;
- Bulloni radiali ø32 in VTR, maglia 1,50 m x 1,50 m in calotta galleria di lunghezza pari a L=10.00 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 35,0 cm (10,0 cm + 25,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 10,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 2,70 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 1,30 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

7.3 Sezione corpo longitudinale

7.3.1 Fasi Esecutive

Successivamente alla posa in opera di drenaggi sub-orizzontali in avanzamento (3+3 tubi di lunghezza L=24,0 m, da prevedere solo in presenza d'acqua) si provvederà all'esecuzione dello scavo a piena sezione mediante esplosivo, con sfondi di profondità massima pari a 3,00 m, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo verrà messo in opera uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con spessore sp.=10,0 cm in corrispondenza della tratta appena scavata e disgaggiata, contestualmente verrà eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore pari a 10,0 cm. Ad una distanza di 0.75 m – 1.00 m dal fronte verrà quindi eseguita la perforazione e posa in opera dell'intervento di bullonatura al contorno, costituito da barre in VTR ϕ32 per i cunicoli di piedritto e da barre ø32 autoperforanti tipo Dywidag R32S per l'allargo. I chiodi saranno disposti a quinconce con maglia di 1.50x2.00 m ed avranno una lunghezza pari a 3m in corrispondenza dei cunicoli, mentre in corrispondenza dell'allargo saranno disposti a maglia 2.00 x 1.50 e di lunghezza pari a 10.00 m. Infine in corrispondenza del tampone di fondo la maglia sarà invece disposta a passo 2.00 x 2.00 m.

Le lavorazioni proseguiranno per le restanti sezioni di scavo del camerone, secondo quanto riportato nelle fasi generai 2 e 3 descritte precedentemente, fino al completamento del primo piano di scavo la cui quota in corrispondenza del camerone è posta a 35.17 m.

Terminato lo scavo dei settori di calotta della sezione di allargo e del camerone si procederà alla posa del secondo strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno con spessore sp.=25,0 cm, fino al raggiungimento di uno spessore totale di 35,0 cm.

Successivamente si procederà, secondo le medesime fasi esecutive descritte in precedenza, alla realizzazione del primo ribasso e successivamente alla realizzazione del secondo ribasso fino al raggiungimento delle geometrie di progetto, secondo quanto riportato nella fase generale 4.

Il getto delle murette e dell'arco rovescio verrà eseguito al termine dell'ultimo scavo di ribasso al fine di consentire il montaggio della fresa, vedi fase generale 5. Terminati gli scavi della galleria principale scavata con fresa sarà quindi possibile provvedere alla posa in opera di un ultimo strato di spritz beton di regolarizzazione (senza utilizzo di fibre, spessore sp.=5,0 cm) a cui seguiranno la messa in opera dell'impermeabilizzazione e il getto immediatamente successivo del rivestimento definitivo di calotta.

7.3.2 *Interventi previsti*

La sezione di scavo longitudinale è costituita dai seguenti interventi:

- n° 3+3 drenaggi di lunghezza L = 24,00 m ogni 3 sfondi, 9 m ciechi e 15 m microfessurati (eventuali in presenza d'acqua);
- Bulloni radiali ø32 in VTR, maglia 1,50 m x 1,50 m di lunghezza pari a L=10.00 m in corrispondenza dello scavo dei cunicoli di piedritto;
- Bulloni radiali ø32 tipo Dywidag di lunghezza pari a L=10.00 m, maglia 2,00 m x 1,50 m in corrispondenza dello scavo in allargo e maglia 2.00 x 2.00 m in corrispondenza del tampone di fondo;
- Spritz-beton fibrorinforzato al contorno sp. 35,0 cm (10,0 cm + 25,0 cm);
- Spritz-beton di regolarizzazione al contorno sp. 5,0 cm;
- Spritz-beton fibrorinforzato al fronte di scavo sp. 10,0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 3,0 m);
- Murette e arco rovescio in CLS di spessore 2,70 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 1,30 m, gettato ad una distanza dal fronte variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

8 Verifica degli interventi di progetto

Nel seguito verranno condotte le verifiche statiche degli interventi di progetto. Al fine di comprendere nel dettaglio il comportamento tenso-deformativo del cavo e dei rivestimenti di prima fase, chiodature e spritz-beton, in considerazione delle complesse geometrie e fasistica realizzativa dell'opera, l'analisi delle degli scavi è stata effettuata tramite analisi numeriche alle differenze finite condotte con il codice di calcolo FLAC 3D. La simulazione dello scavo nelle sue fasi, nell'intento di rappresentare in maniera più fedele possibile la successione delle lavorazioni condotte, permette la definizione del comportamento dell'ammasso e dei carichi in funzione dei tempi e dei modi di installazione dei rivestimenti. Si è stati così in grado di studiare nel dettaglio il comportamento dell'ammasso roccioso nelle varie fasi realizzative ed in particolar modo in corrispondenza dei nodi di innesto che risultano di difficile valutazione con semplici analisi bidimensionali.

Per quanto riguarda la verifica dei rivestimenti definitivi dell'opera considerando come descritto nei capitoli precedenti che verranno realizzati a scavi terminati, la verifica è stata condotta tramite il codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000 applicando quale carico agente sui rivestimenti, oltre al peso proprio, il solo carico dovuto alla falda.

8.1 Analisi numerica – Scavo e rivestimenti provvisori

Allo scopo di esaminare il comportamento deformativo durante gli scavi del camerone, anche in termini di risposta statica dei rivestimenti di prima fase, sono state eseguite specifiche analisi numeriche tridimensionali con il codice di calcolo FLAC 3D.

Con l'ausilio del codice di calcolo alle differenze finite, le analisi numeriche condotte hanno consentito di simulare le diverse fasi esecutive, fino alla completa realizzazione degli scavi.

Le analisi numeriche sono state condotte adottando una mesh costituita da elementi triangolari, aventi dimensioni e grado di infittimento al contorno del cavo tali da garantire una soluzione numerica accurata e rappresentativa della condizione in sito. Le dimensioni della griglia e le distanze dalla galleria ai limiti esterni della griglia stessa, sono tali da evitare eventuali effetti di bordo sull'area di interesse del reticolo.

La mesh è stata generata tenendo in conto la parietaità del versante con un ricoprimento in corrispondenza della chiave calotta del camerone pari a circa 130 m. La successione stratigrafica prevede inoltre la presenza in superficie di uno strato di coltre mentre lo scavo avverrà interamente in corrispondenza del Flysch del Monte Antola. Il rivestimento provvisorio è stato modellato tramite elementi di mesh di spessore pari a 35 cm non avendo considerato i 5 cm di regolarizzazione finali. Le chiodature, VTR e Dywidag, sono state invece modellate tramite elementi "cable" reagenti assialmente e le cui caratteristiche sono riportate nel seguito.

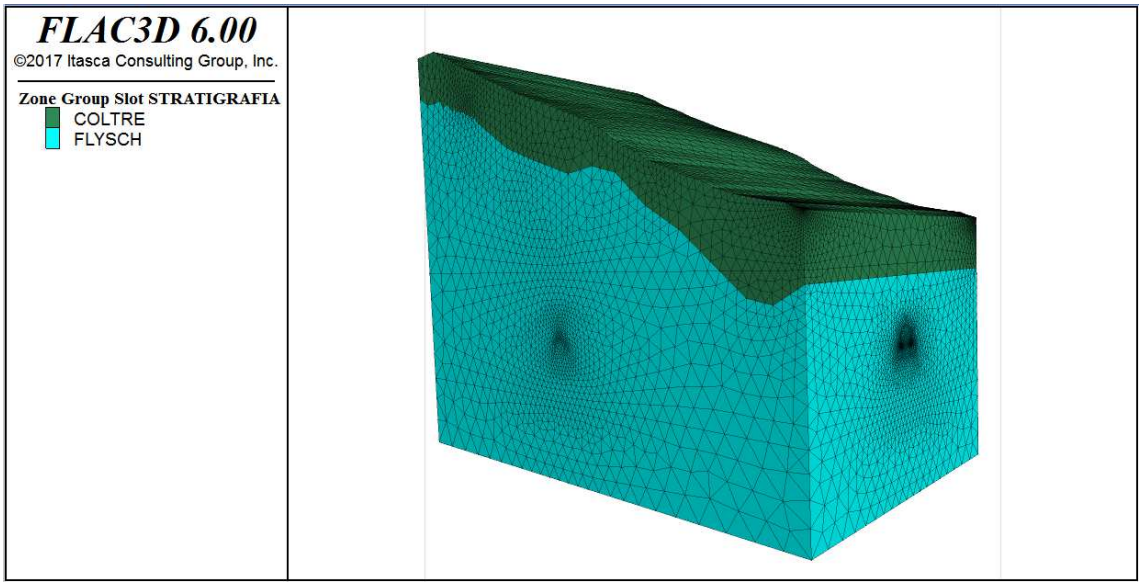


Figura 21 – Mesh di calcolo

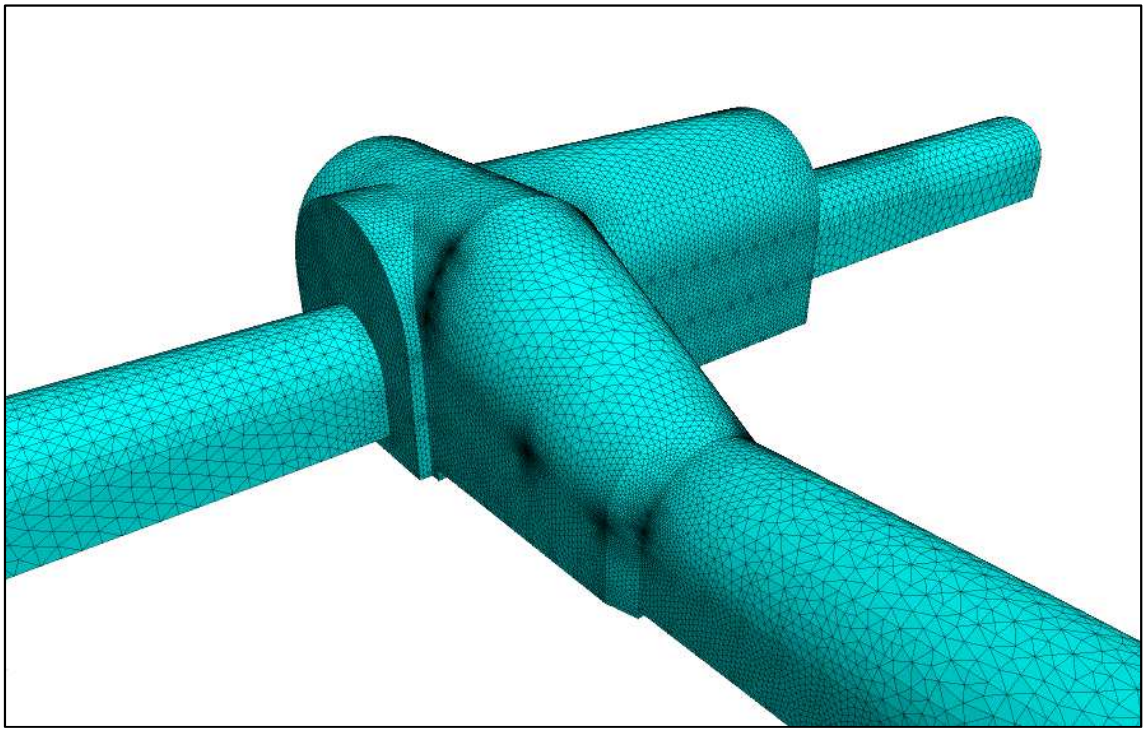


Figura 22 – Dettaglio mesh zona camerone

8.1.1 FLAC 3D

Per quanto riguarda il codice di calcolo si è adottato il programma FLAC3D sviluppato appositamente per la modellazione di problemi riguardanti rocce e terreni. Esso è formulato alle differenze finite e utilizza uno schema di calcolo esplicito. Questo approccio risolutivo è in grado di simulare in maniera estremamente

accurata complessi fenomeni non lineari, quali ad esempio i grandi spostamenti, senza incorrere in problemi di instabilità numerica.

Il codice di calcolo, sviluppato da ITASCA Consulting, consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio tridimensionale, le cui caratteristiche sono definite da leggi di comportamento, di tipo elastico o plastico, e da imposte condizioni al contorno, implementando il metodo delle differenze finite.

Tale metodo si basa sulla discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame, attraverso la sostituzione delle derivate con quozienti di differenze finite. In questo modo, le equazioni differenziali vengono trasformate in equazioni algebriche, da risolversi in successivi passi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano denominato "esplicito per integrazione diretta nel tempo" (explicit time marking), il quale è in grado di lavorare agevolmente e molto velocemente per sistemi con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità (la possibilità di giungere al collasso non è infatti limitata da problemi di stabilità numerica, quale l'invertibilità di matrici).

Il codice di calcolo FLAC usa uno schema di soluzione "esplicito condizionatamente stabile", la cui sequenza di calcolo iterativo, illustrata schematicamente nella figura seguente, comprende i seguenti passi:

- per ogni nodo della griglia si valuta la massa m, la risultante delle forze esterne Fe (gravità, carichi esterni ...), la risultante delle forze interne Fi, calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate al nodo stesso, così che è possibile determinare la forza squilibrata agente sul nodo Fu (unbalaced force Fu=Fe-Fi);
- per ogni gridpoint si scrive l'equazione di Newton $Fu=m \cdot a$, tramite la quale è possibile determinare l'accelerazione del nodo in esame; integrando due volte l'accelerazione si ottiene la velocità e lo spostamento incrementale di ogni nodo;
- dal campo di spostamenti incrementali, è possibile risalire al campo di deformazioni incrementali e quindi, attraverso il legame costitutivo dei materiali, al campo di variazioni degli sforzi nel reticolo;
- la variazione degli sforzi comporta la modifica, per ogni nodo della griglia, della risultante delle forze interne e conseguentemente la necessità di rideterminare la Fu, dando inizio ad un nuovo passo di calcolo. Il processo iterativo ha termine qualora si ottenga una forza squilibrata che abbia un valore minore di una tolleranza prestabilita.



Figura 23 - Fasi di computazione del codice di calcolo FLAC 3D

8.1.2 *Leggi di comportamento del materiale*

Il codice di calcolo consente di adottare un modello di comportamento del terreno elastico-perfettamente plastico basato sul criterio di rottura di Mohr-Coulomb, con legge di flusso associata.

La funzione di plasticizzazione F definita dal criterio di rottura consente di individuare quelle zone di terreno in cui lo stato tensionale ha superato il limite al di sotto del quale il materiale mantiene un comportamento elastico e che sono quindi soggette a sollecitazioni tali da comportare deformazioni irreversibili nell'ammasso.

Per un generico stato di sforzo, individuato dalle tensioni principali σ_1, σ_2, σ_3, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è rappresentato dalle seguenti equazioni lineari:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_2 + \sigma_3)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_3 - \sigma_1 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_3 + \sigma_1)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

Tale criterio è rappresentato, nello spazio delle tensioni principali, da una piramide a base esagonale non regolare avente, come asse, la trisettrice del primo ottante:

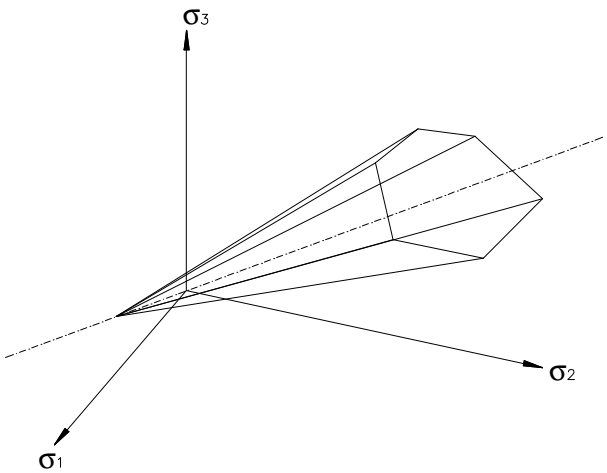


Figura 24 - Criterio di rottura di Mohr-Coulomb nello spazio delle tensioni

Nel criterio di rottura di Mohr-Coulomb la resistenza al taglio non è influenzata dallo sforzo principale avente intensità intermedia; la resistenza del materiale è variabile in funzione dello stato di sforzo esistente.

8.1.3 Parametri geomeccanici

Dal punto di vista geologico – stratigrafico e litologico l'area in esame è caratterizzata dalla presenza delle seguenti formazioni:

- **Flysch di Monte Antola, (Campaniano superiore, Maastrichtiano – Paleocene basale)**, in facies torbiditica costituito da alternanze ritmiche di calcari, calcari marnosi ed argilliti con grado di fratturazione medio ed accentuato nelle zone di disturbo tettonico,
- **Coltri detritiche eluvio-colluviali** superficiali costituite da un abbondate scheletro grossolano di clasti calcarei immersi in una matrice sabbiosa o limo-argillosa.

Il camerone si sviluppa all'interno della formazione del Flysch di Monte Antola. Nel complesso l'ammasso calcareo e calcareo – marnoso è costituito da bancate prevalentemente calcaree o calcareo marnose, lo stato di fratturazione della roccia non è elevato ed il valore medio di RQD è discreto. La stratificazione, generalmente poco evidente in affioramento, è stata ben osservata/rilevata dalle carote dei sondaggi.

Dal punto di vista idrogeologico i piezometri installati indicano un livello idrico posto ad una profondità modesta rispetto al piano campagna. Il battente idraulico reale, in considerazione della marcata anisotropia dell'ammasso roccioso e del grado di fratturazione, potrà al massimo essere di circa 60 – 80 m. Ad ogni è prevista la presenza di dreni e pertanto durante le fasi di scavo non verrà considerata la presenza della falda.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geomeccanici adottati nelle simulazioni numeriche.

Litologia	γ [kN/m^3]	C [kPa]	φ_p [°]	E_p [MPa]	ν [–]
Flysch	26	600	45	3700	0.2
Coltre	20	10	30	100	0.2

Tabella 1 – Parametri geomeccanici di calcolo

8.1.4 Modellazione elementi strutturali

8.1.4.1 Rivestimento provvisorio in spritz-beton

Nelle analisi la messa in opera del rivestimento provvisorio in spritz-beton è stata simulata tramite elementi di mesh di spessore pari a 35 cm, non considerando pertanto lo strato di regolarizzazione finale

di spessore pari a 5 cm, e viene modellato tramite un legame costitutivo di tipo perfettamente elastico assegnando le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe spritz-beton R_{ck} ≥35 N/mm2

E = 32588 MPa a 28gg;

ν = 0.20.

8.1.4.2 Chiodature

Gli interventi di presidio predisposti per la stabilità del cavo nelle fasi di scavo vengono modellati nel calcolo con elementi tipo "cable".

L'elemento cable è un elemento strutturale previsto in FLAC caratterizzato da un comportamento di tipo elastico-perfettamente plastico che può raggiungere lo snervamento sia a compressione che a trazione ma non ha resistenza a flessione.

Il comportamento assiale dell'elemento "cable" è descritto in funzione della sua sezione trasversale, A, dal modulo di elasticità normale, E e regolato dall'equazione:

$$K = \frac{AE}{L}$$

All'elemento "cable" può essere assegnata una resistenza a snervamento di trazione e compressione, F_t e F_c, così che forze maggiori di questi limiti non possano svilupparsi.

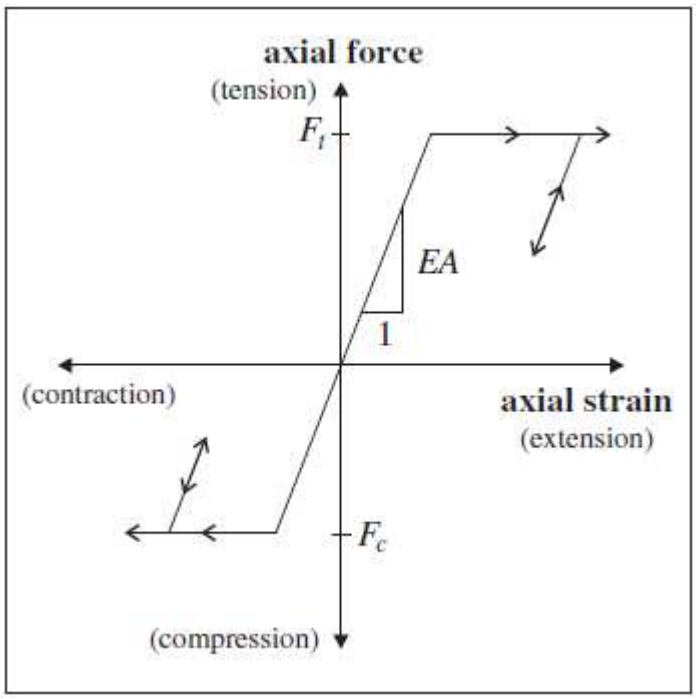


Figura 25 – Comportamento dell'elemento "cable"

Il comportamento a taglio dell'interfaccia cable-roccia è di natura coesiva e attritiva. Il sistema viene rappresentato numericamente tramite un sistema di molle traslazionali localizzate nei punti nodali presenti lungo l'asse dell'elemento.

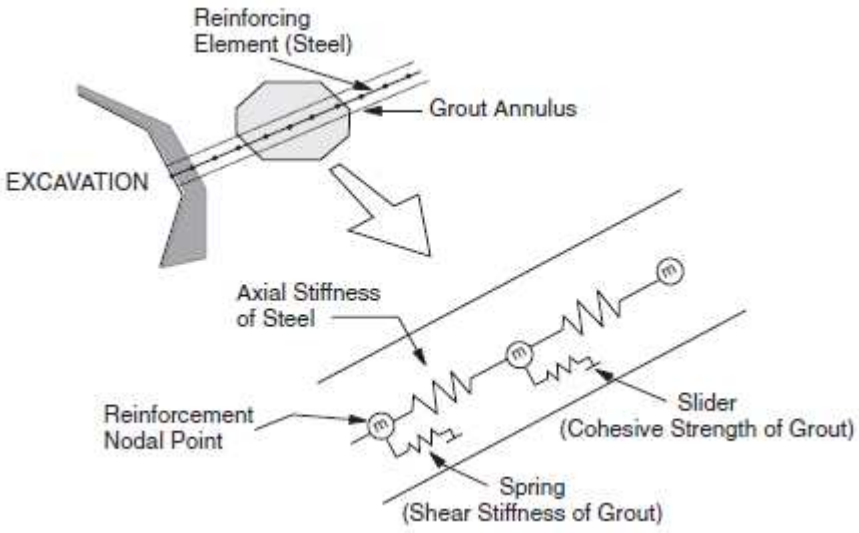


Figura 26 – Rappresentazione meccanica di un rinforzo completamente vincolato

Il comportamento a taglio dell'anello cementato durante lo spostamento a taglio relativo tra il cable e l'interfaccia con l'anello cementato e tra la cementazione e la roccia è descritta numericamente dalla rigidezza a taglio k_g, dalla resistenza coesiva c_g, dall'angolo di attrito ϕ_g e dal perimetro esterno p_g dell'anello cementato e dallo sforzo efficace di confinamento σ_m.

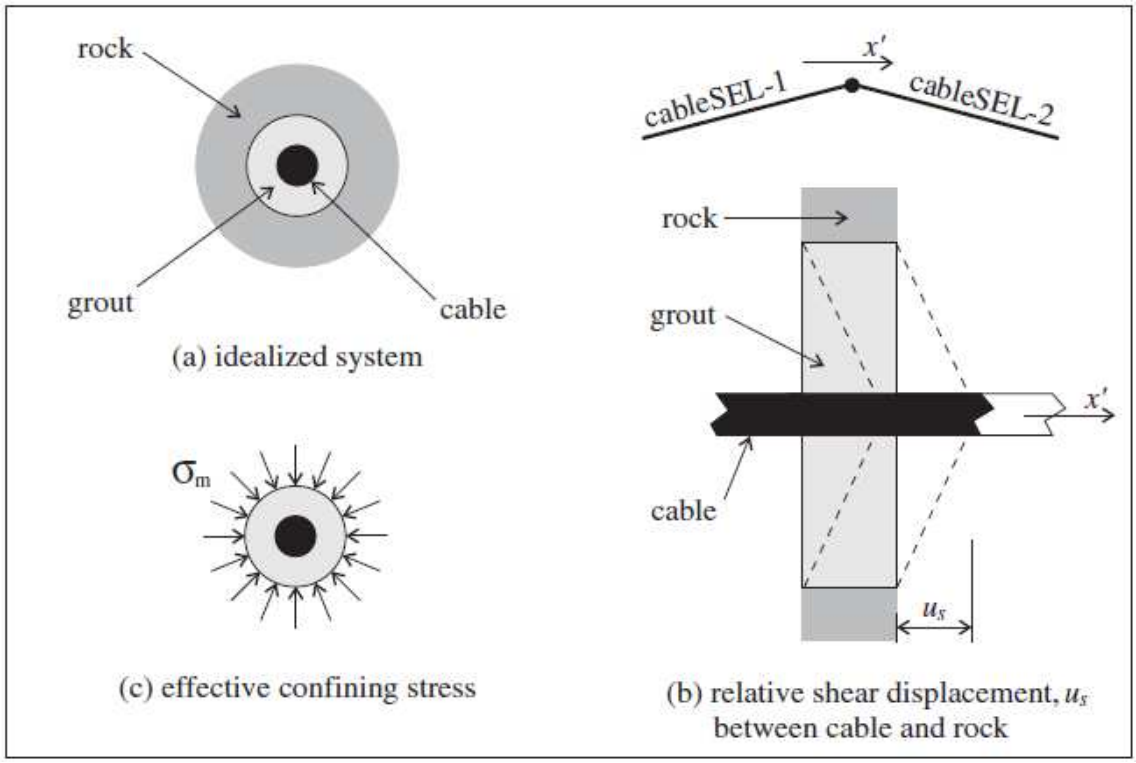


Figura 27 – Schematizzazione sistema cable/anello cementato

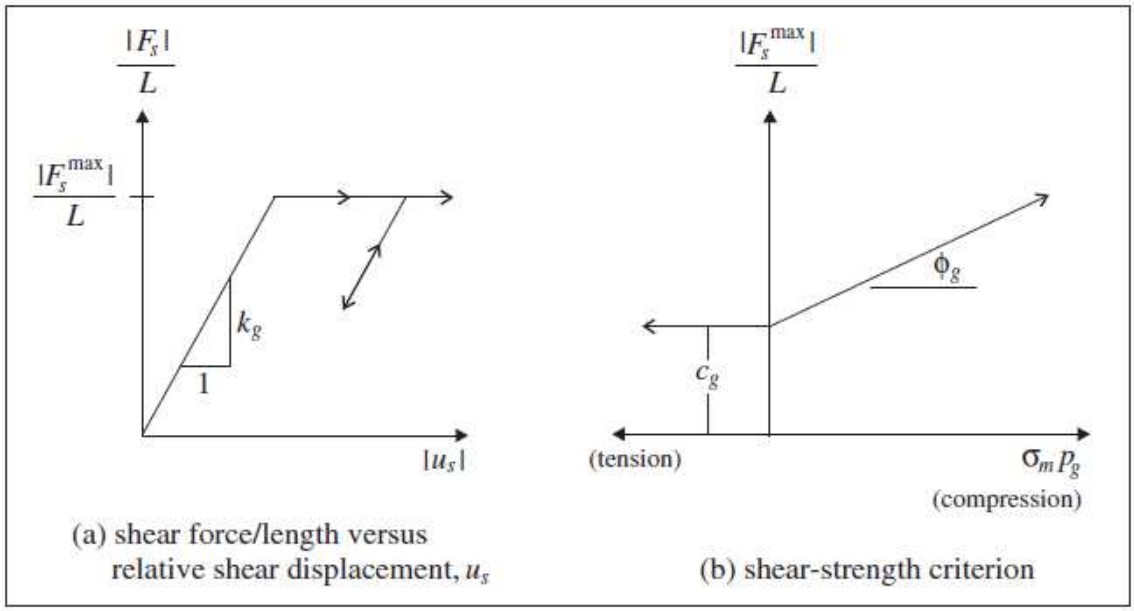


Figura 28 – Comportamento anello cementato per un elemento cable

Mentre lo sforzo efficace medio σ_m viene calcolato dal programma di calcolo in ogni nodo dell'elemento cable i restanti parametri risultano essere dati di input.

Per quanto riguarda i valori di rigidezza a taglio k_g e di resistenza coesiva c_g essi vengono calcolati secondo le seguenti formule:

$$k_g \simeq \frac{2\pi\ G}{10\ \ln\ (1 + 2t/D)}$$

dove:

G è il modulo di rigidezza dell'anello cementato;

D è il diametro del chiodo;

t è lo spessore dell'anello cementato;

$$c_g = \pi(D + 2t)\ \tau_{peak}$$

dove:

t è lo spessore dell'anello cementato;

D è il diametro del chiodo;

τ_{peak} è la tensione di aderenza roccia/anello cementato;

Nella seguente tabella vengono riportati i parametri adottati per la simulazione degli elementi cable, valori ottenuti considerando una τ_{peak} pari a 200 kPa:

BARRE DYWIDAG R32S			
ELEMENTO CABLE			
E	2.1E+10	Pa/m	modulo di elasticità a metro lineare
A	5.10E-04	m^2	area tirante
F_y	2.80E+05	N/m	forza di rottura a trazione cable
FONDAZIONE (GROUT)			
kg	1.39E+10	Pa	rigidezza a metro lineare del bulbo di fondazione
cg	3.46E+05	N/m	aderenza della fondazione a metro lineare
p	0.173	m	perimetro bulbo (autoperforante ipotesi perforazione 55 mm)

BARRE VTR ϕ32			
ELEMENTO CABLE			
E	4.0E+10	Pa/m	modulo di elasticità a metro lineare
A	8.04E-04	m^2	area tirante
F_y	4.80E+05	N/m	forza di rottura a trazione cable
FONDAZIONE (GROUT)			
kg	1.39E+10	Pa	rigidezza a metro lineare del bulbo di fondazione
cg	3.46E+05	N/m	aderenza della fondazione a metro lineare
p	0.173	m	perimetro bulbo (perforazione 55 mm)

8.1.5 Criteri di verifica

8.1.5.1 Criteri di verifica dello spritz-beton

Come specificato in precedenza lo spritz-beton è stato modellato tramite elementi di mesh. Ciò si è reso necessario al fine di consentire una corretta modellazione del sistema spritz-beton – chiodature. I chiodi sono stati infatti creati nel modello con il nodo iniziale interno al rivestimento provvisorio così da creare un corretto link tra i due elementi strutturali. La geometria estesa del modello non ha però consentito di generare un infittimento adeguato degli elementi di mesh lungo lo spessore del prerivestimento pari a 35 cm, generando mediamente circa 3 elementi lungo lo spessore. Questo non consente di valutare in modo corretto le azioni interne al prerivestimento e pertanto le verifiche verranno condotte per confronto dello stato tensionale registrato direttamente dal codice di calcolo senza procedere all'integrazione delle tensioni per la valutazione di M ed N. Ad ogni modo s osserva che il getto del prerivestimento avverrà solo a seguito del completamento di ogni piano di scavo e pertanto il carico agente su di esso risulta limitato.

Le verifiche verranno quindi condotte confrontando i valori di sc derivanti dall'analisi numerica con il valore di sc,lim valutata per un calcestruzzo non armato il cui limite è riportato nel seguito:

$\sigma_{c,lim}$= 0.25 f_{ck} = 7.26 MPa

8.1.5.2 Criteri di verifica delle chiodature

Le verifiche statiche delle chiodature, vengono effettuate nei riguardi della combinazione allo stato limite ultimo che risulta essere la più gravosa, con riferimento a quanto indicato nel DM 2008.

Nel dettaglio viene verificato che l'azione agente risulti inferiore al valore di resistenza a compressione o trazione, secondo quanto riportato nel seguito.

DYWIDAG R32S

Resistenza caratteristica di snervamento: F_{yk} = 280 kN

Resistenza a trazione/compressione ultima: $$N_U = \frac{F_{yk}}{\gamma_{m,s}} = 243.5\ kN$$

VTR ϕ32

Resistenza caratteristica di snervamento: F_{yk} = 480 kN

Resistenza a trazione/compressione ultima: $$N_U = \frac{F_{yk}}{\gamma_{m,f}} = 320\ kN$$

8.1.6 Stato di sforzo iniziale

Nella prima fase dell'analisi numerica è ricostruita in termini di sforzi e di deformazioni la situazione iniziale preesistente allo scavo della galleria. Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello. Il carico applicato in direzione orizzontale è stato determinato in

funzione del carico verticale, attraverso il coefficiente di spinta a riposo (K_0) posto pari 1 e nella prima fase di inizializzazione il codice di calcolo calcola lo sforzo orizzontale a partire da questo dato di input tenendo altresì in conto la parteralità del versante.

8.1.7 Fasi esecutive

Il calcolo è stato condotto per fasi successive, secondo lo schema di seguito descritto:

TIME 0 – Geostatico. In questa prima fase di calcolo vengono applicati il peso proprio del terreno e le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle formazioni in sito, in modo tale da ricostruire la situazione tensionale preesistente alla realizzazione degli scavi.

TIME 1 – Scavo finestra di accesso in sezione corrente. Viene simulato lo scavo della finestra di accesso i cui avanzamenti sono condotti per sfondi di 3 m. A seguito di ogni sfondo avviene la posa in opera delle chiodature, barre ϕ24, e del prerivestimento di spessore pari a 25 cm.

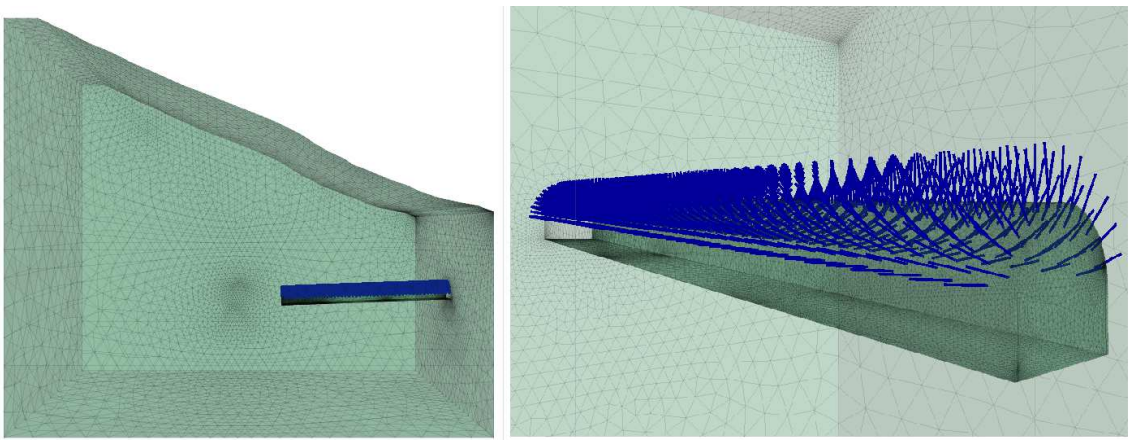


Figura 29 – Scavo finestra

TIME 2 – Scavo sezione in allargo. Viene simulata la realizzazione della rampa propedeutica allo scavo delle porzioni di calotta del camerone e successivamente si procede allo scavo della porzione di calotta della sezione di allargo tramite avanzamenti di 3 m fino al raggiungimento dell'innesto con il corpo di testata del camerone. Le chiodature sono simulate a seguito di ogni sfondo secondo le geometrie di progetto con lunghezze variabili da 6 a 10 m in funzione della tratta scavata.

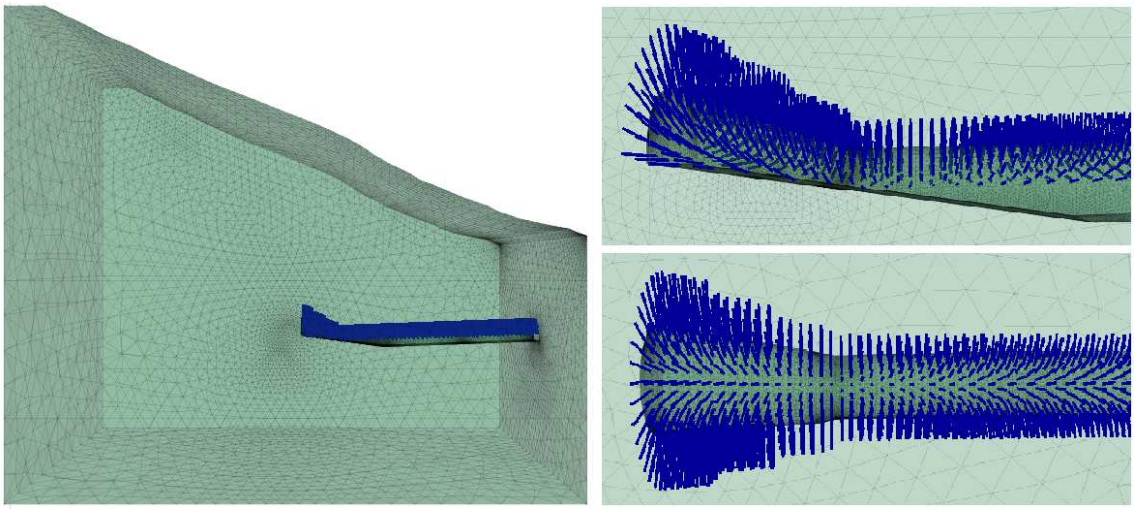


Figura 30 – Scavo sezione di allargo

TIME 3 – Scavo in sezione di testata del camerone. Viene simulato lo scavo della sezione sezione di testata del camerone. Nuovamente lo scavo avviene per sfondi di 3 metri installando a seguito di ogni avanzamento le chiodature previste a progetto. In corrispondenza delle zone in cui avverrà il successivo scavo del corpo longitudinale del camerone le chiodature sono state simulate considerando le caratteristiche degli elementi in VTR previsti a progetto.

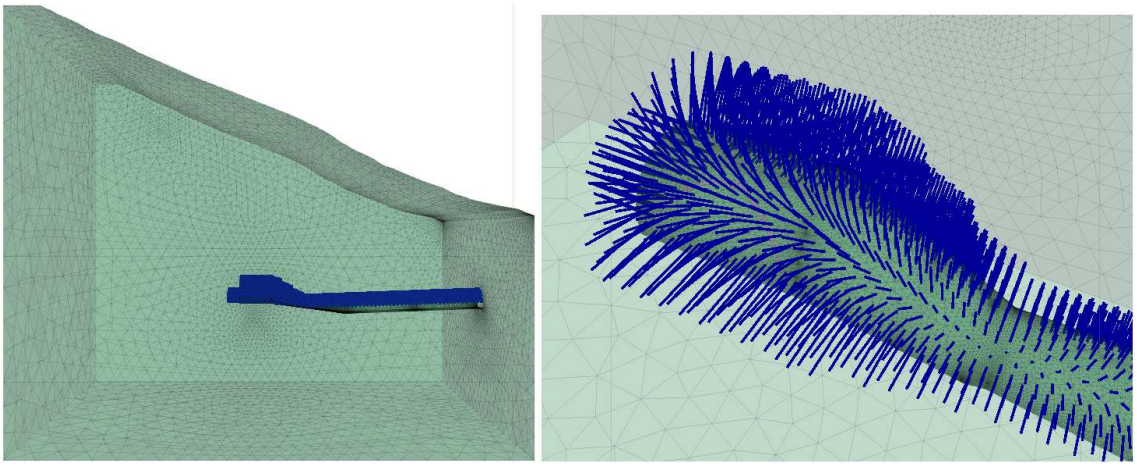


Figura 31 – Scavo sezione di testata del camerone

TIME 4 – Scavo cunicoli. Viene simulato lo scavo dei cunicoli di piedritto propedeutici allo scavo della sezione longitudinale del camerone. Non sono state simulate le chiodature in quanto data la lunghezza la loro funzione è legata al contenimento di possibili distacchi di cunei rocciosi instabili mobilitati durante gli scavi.

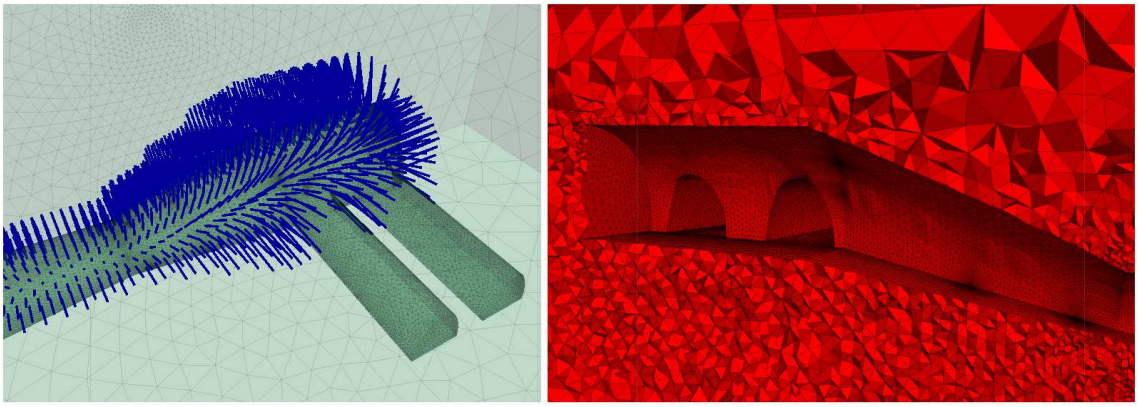


Figura 32 – Scavo sezione cunicoli di piedritto

TIME 5 – Completamento scavo sezione di calotta del camerone. Viene completato lo scavo della sezione di calotta del camerone. Lo scavo avviene per sfondi pari a 3 m a seguito dei quali avviene la posa delle chiodature.

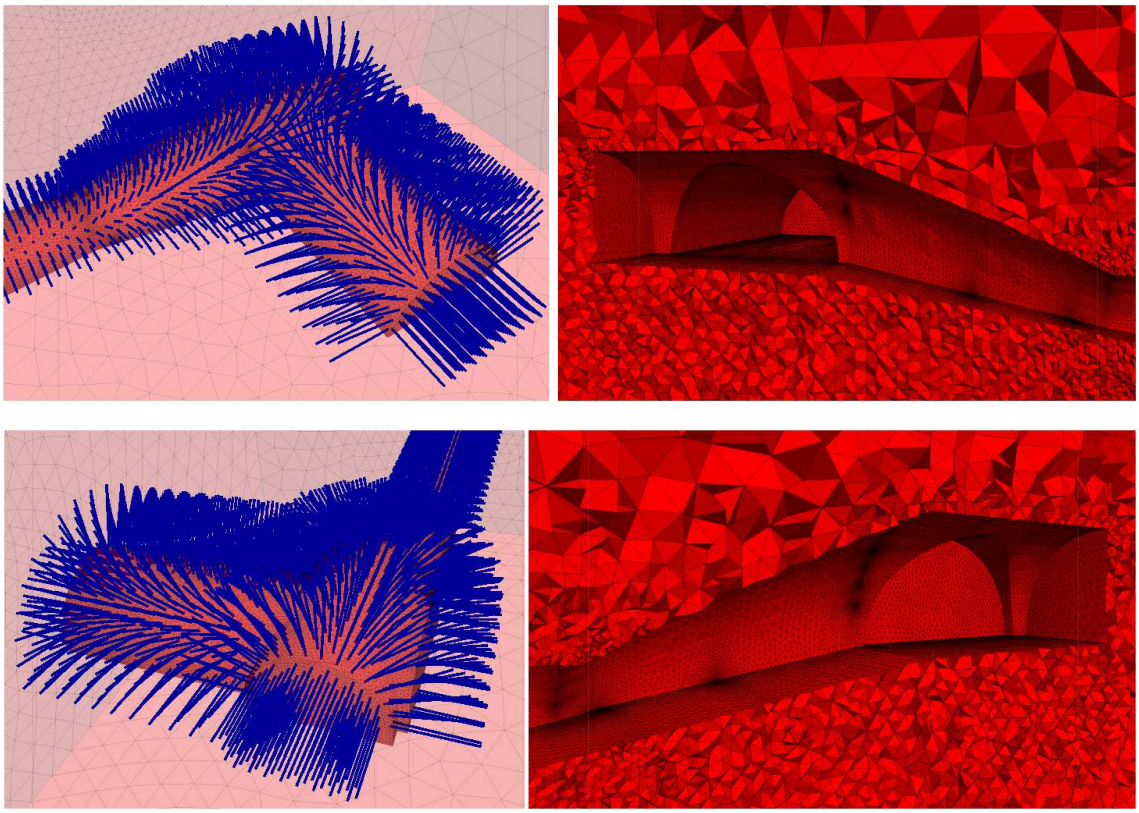


Figura 33 – Completamento scavo in sezione longitudinale

TIME 6 – Posa in opera spritz-beton di calotta. Viene simulata la posa in opera del rivestimento provvisorio in spritz-beton.

TIME 7 – Primo scavo di ribasso. Viene simulato il primo scavo di ribasso con avanzamenti di 3 metri a cui segue la posa in opera delle chiodature procedendo con lo scavo della sezione di allargo seguita dallo scavo della sezione di testata e della sezione longitudinale del camerone.

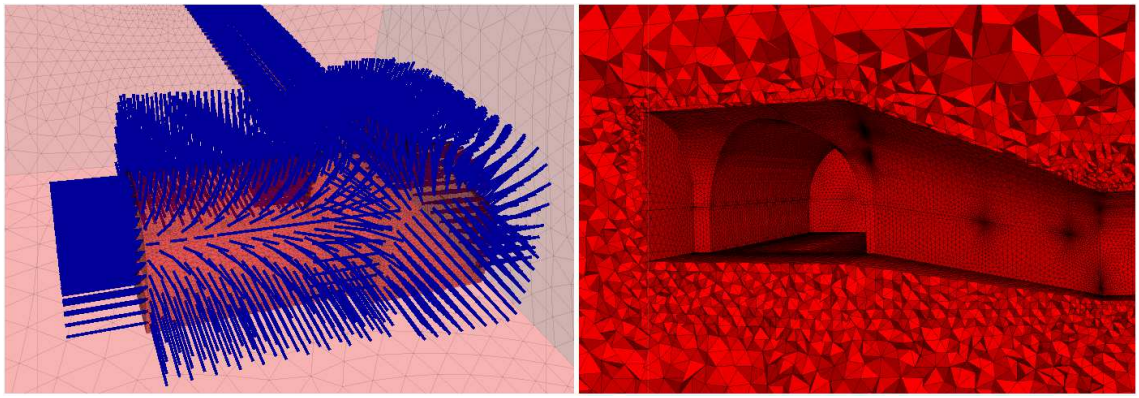


Figura 34 – Primo scavo di ribasso

TIME 8 – Posa in opera spritz-beton di calotta. Viene simulata la posa in opera del rivestimento provvisorio in spritz-beton.

TIME 9 – Secondo scavo di ribasso. Viene simulato il secondo scavo di ribasso con avanzamenti di 3 metri a cui segue la posa in opera delle chiodature procedendo con lo scavo della sezione di allargo seguita dallo scavo della sezione di testata e della sezione longitudinale del camerone.

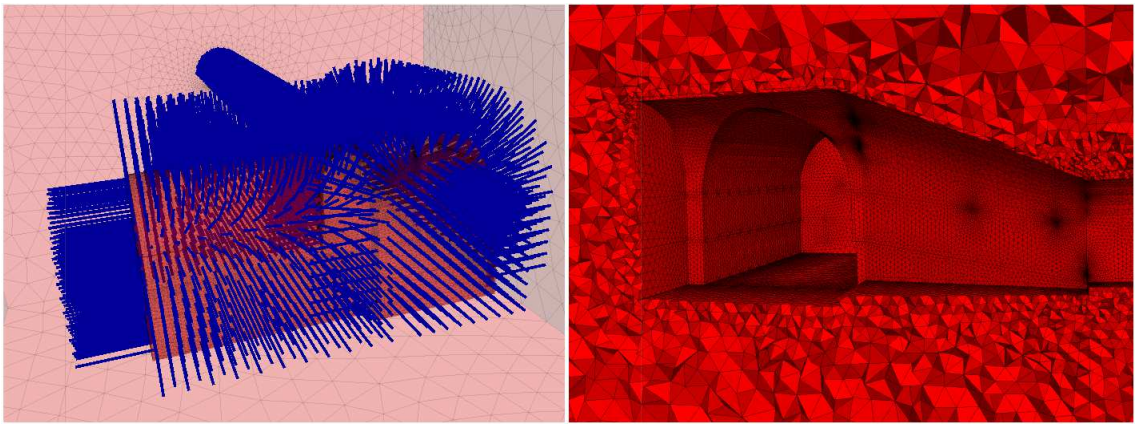


Figura 35 – Secondo scavo di ribasso

TIME 10 – Posa in opera spritz-beton di calotta. Viene simulata la posa in opera del rivestimento provvisorio in spritz-beton.

TIME 11 – Scavo camera di lancio. Viene simulato lo scavo della camera di lancio con sfondi pari a 3 m a seguito dei quali avviene la posa in opera del prerivestimento in spritz-beton di spessore pari a 25 cm.

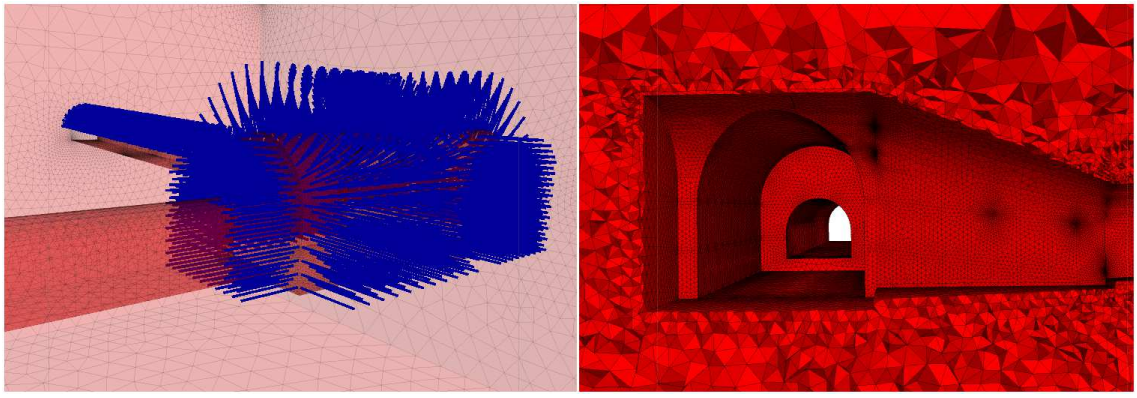


Figura 36 – Scavo camera di lancio

TIME 12 – Scavo sezione in tradizionale. Viene simulato lo scavo della galleria principale scavata con metodo tradizione tramite sfondi pari a 3 m a seguito dei quali avviene la posa in opera del prerivestimento in spritz-beton di spessore pari a 25 cm.

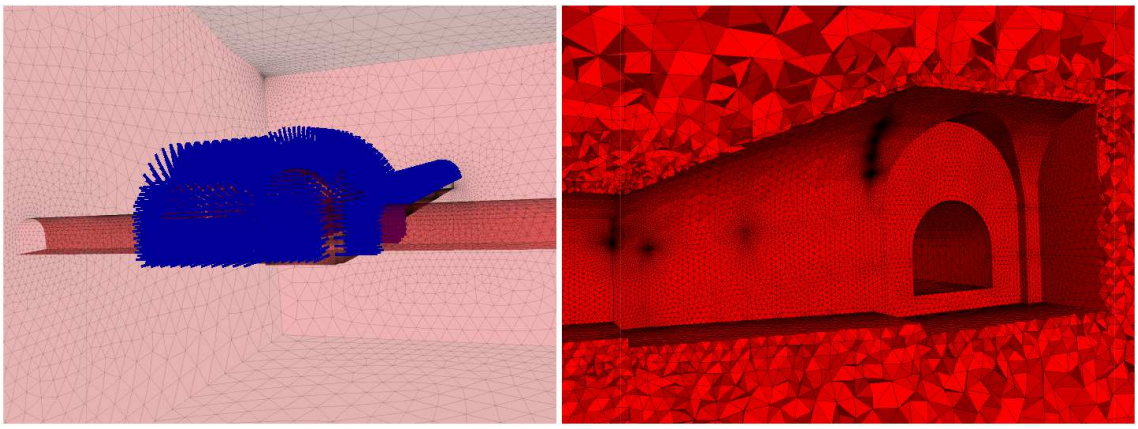


Figura 37 – Scavo tradizionale

8.1.8 Risultati numerici

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati numerici ottenuti in termini di spostamenti e sollecitazioni negli interventi di sostegno provvisori, spritz-beton e chiodature.

A seguito dello scavo della finestra di accesso in sezione corrente è previsto lo scavo del settore di calotta dell'allargo necessario al raggiungimento delle geometrie di scavo del camerone.

In corrispondenza di questa fase gli scavi vengono eseguiti per sfondi di 3 m a seguito dei quali vengono posti in opera i chiodi costituiti da barre Dywidag R32S di lunghezza variabile secondo quanto riportato negli elaborati grafici di riferimento:

TRATTA A – LUNGHEZZA = 6 m

TRATTA B – LUNGHEZZA = 8 m

TRATTA C – LUNGHEZZA = 10 m

Al termine dello scavo della sezione di allargo gli spostamenti dell'ammasso di attestano sull'ordine del centimetro in corrispondenza della chiave calotta mentre sulle pareti laterali si registrano spostamenti orizzontali non significativi e prossimi allo zero.

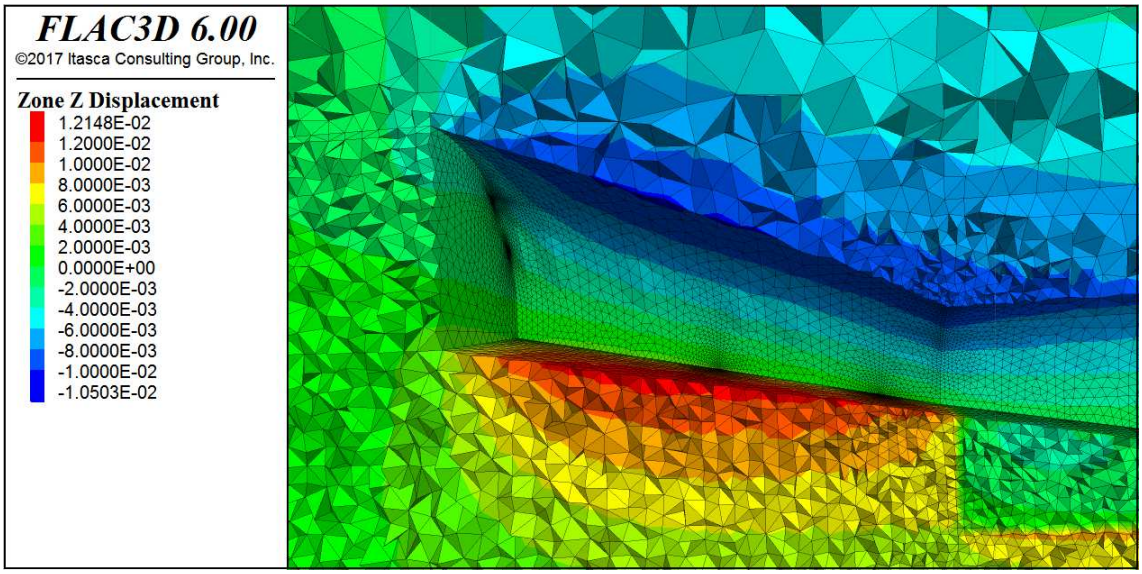


Figura 38 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti verticali

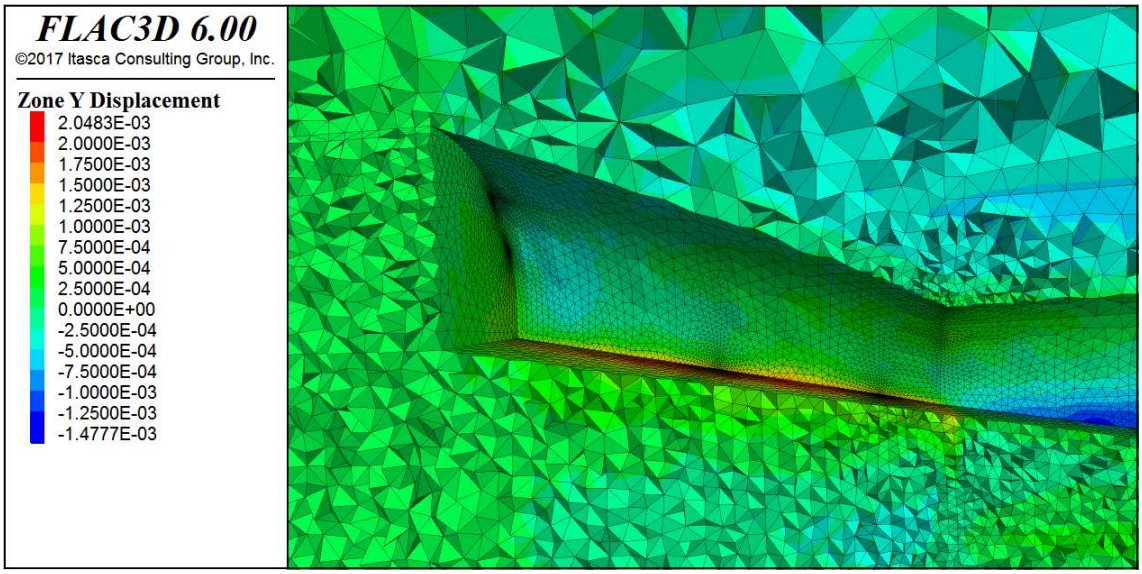


Figura 39 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti orizzontali

Per quanto riguarda le chiodature gli spostamenti risultano mediamente dell'ordine dei 2-3 mm con picchi di circa 4-4,5 mm in corrispondenza della zona di passaggio tra la sezione corrente e quella di allargo della finestra di accesso. Ad ogni modo gli spostamenti risultano essere bassi e accettabili per la tipologia di intervento adottata.

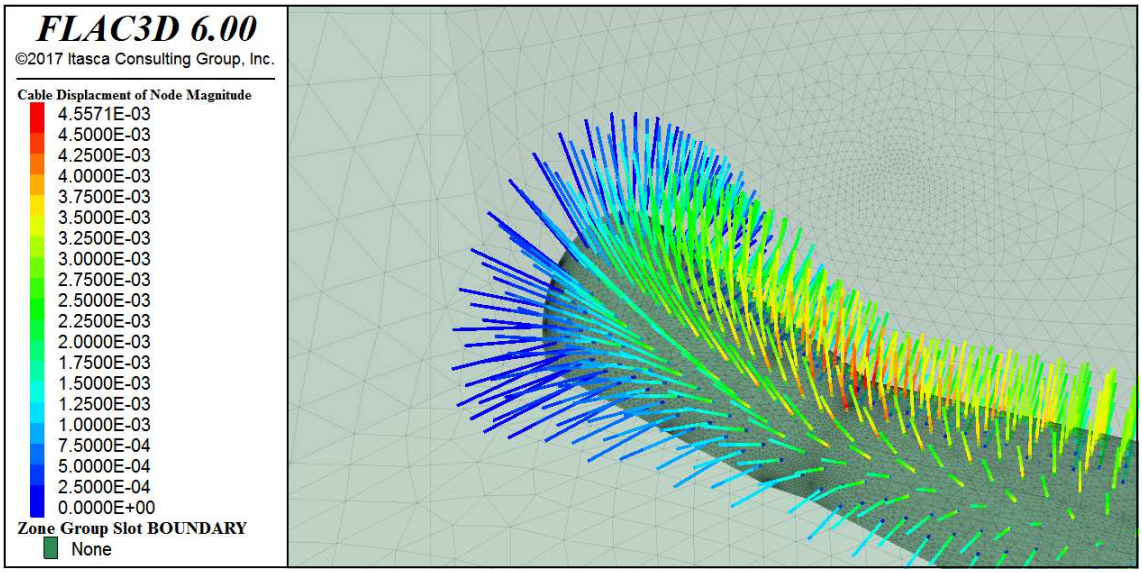


Figura 40 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti chiodi

Per quanto riguarda lo stato tensionale che si genera nelle chiodature, in termini di azione assiale, come si può osservare nella seguente immagine i valori risultano mediamente bassi e dell'ordine dei 10-20 kN con valori puntuali che raggiungono i 30 kN.

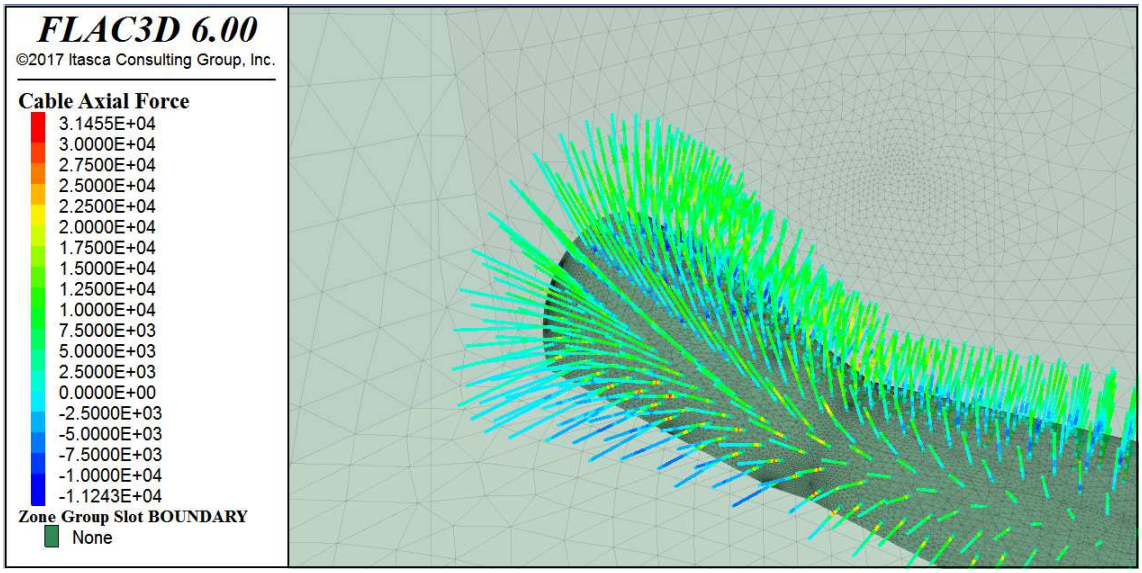


Figura 41 - Scavo in allargo sezione di calotta – Azione assiale chiodi

La successiva fase di scavo prevede lo scavo della sezione di testata del camerone. Al termine di questa fase gli spostamenti dell'ammasso evolvono e si attestano a circa 1.4 cm in corrispondenza della chiave calotta mentre sulle pareti laterali si registrano nuovamente spostamenti orizzontali non significativi e dell'ordine di 1-2 mm. Per quanto riguarda il sollevamento del piano di scavo, esso è da imputare alla modellazione adottata che prevede un modulo elastico di scarico dello stesso valore di quello di carico. Ad ogni modo i valori registrati risultano bassi e dell'ordine massimo di 1,5 cm in corrispondenza della mezzeria del piano di scavo.

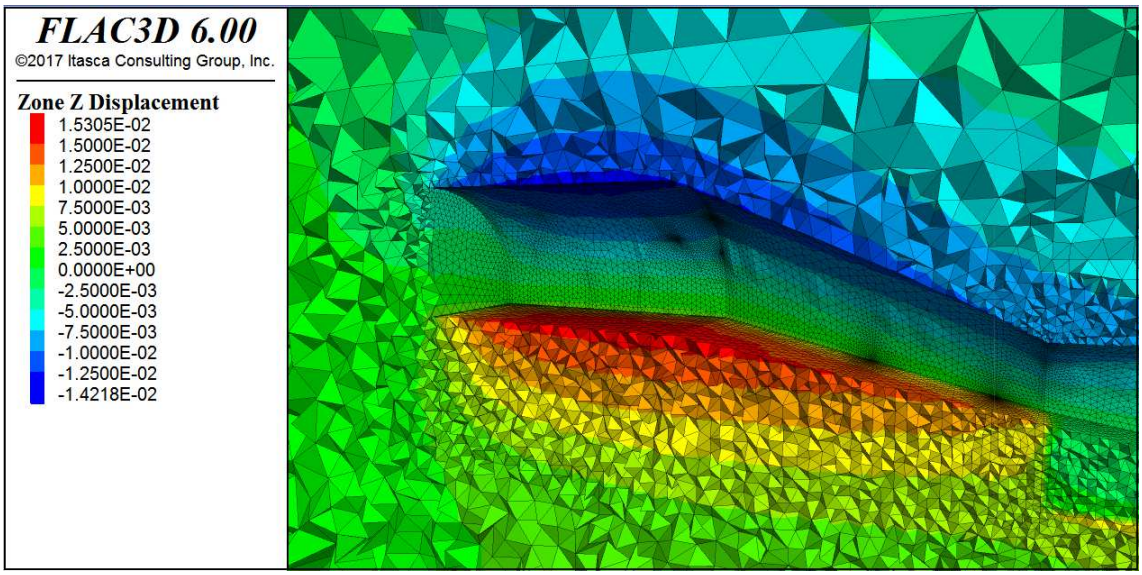


Figura 42 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti verticali

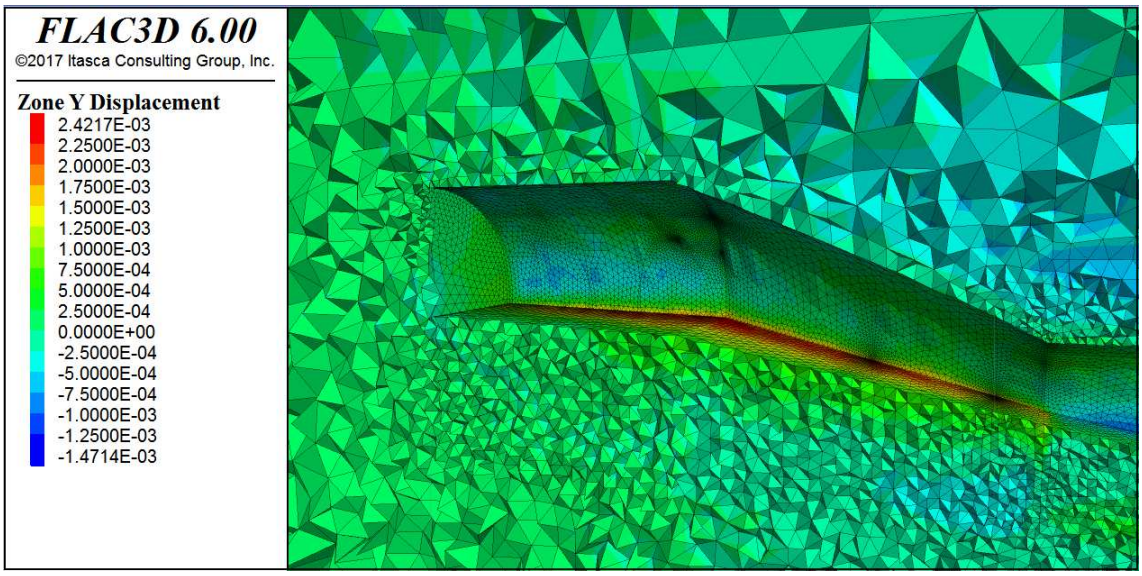


Figura 43 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti orizzontali

Per quanto riguarda le chiodature gli spostamenti risultano mediamente dell'ordine dei 5 mm in corrispondenza della calotta della galleria con valori che si riducono in corrispondenza delle pareti laterali, come da attese considerati gli spostamenti dell'ammasso, dove si registrano spostamenti dell'ordine dei 2-3 mm. Risulta interessante notare l'effetto del fronte di scavo che porta ad ottenere valori di spostamenti inferiori in corrispondenza del tampone di fondo.

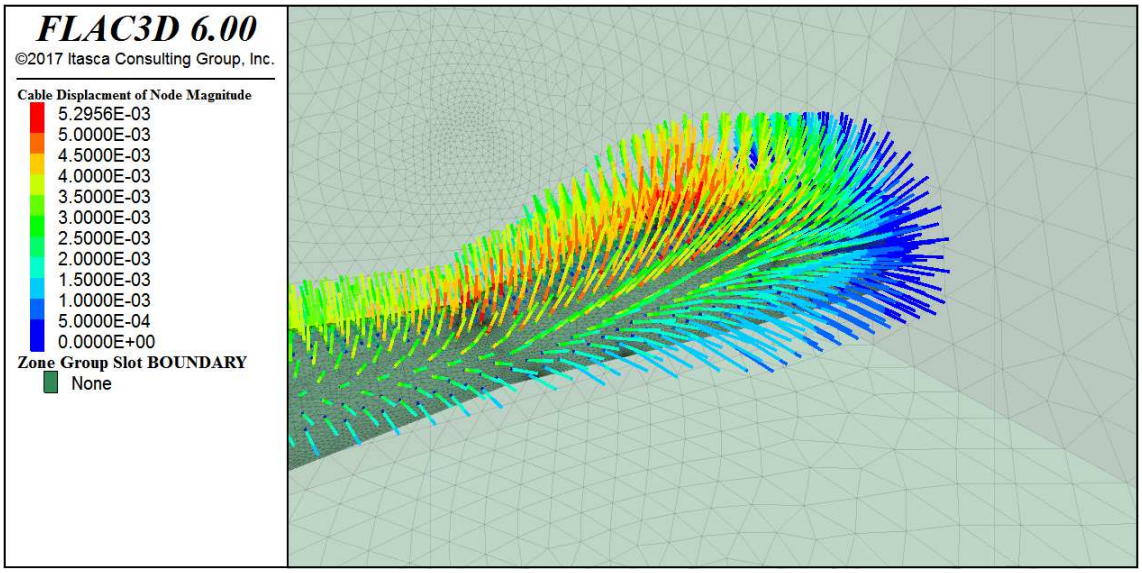


Figura 44 - Scavo in allargo sezione di calotta – Spostamenti chiodi

Per quanto riguarda lo stato tensionale che si genera nelle chiodature, in termini di azione assiale, come si può osservare nella seguente immagine i valori risultano mediamente bassi e dell'ordine dei 20 kN con valori puntuali che raggiungono i 40 kN.

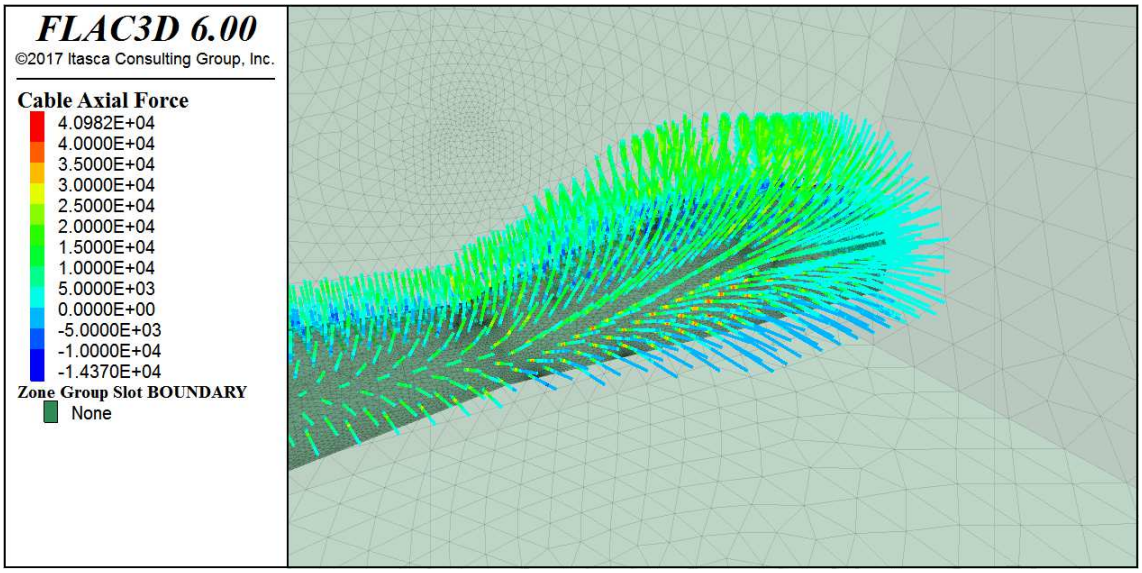


Figura 45 - Scavo in allargo sezione di calotta – Azione assiale chiodi

Terminato lo scavo della sezione di testata vengono realizzati i cunicoli di piedritto. Per tali opere considerata la lunghezza delle chiodature previste a progetto, pari a 3 m, non è stata modellata la loro presenza in quanto il loro fine è il sostegno di possibili cunei rocciosi. A seguito di ogni sfondo le chiodature precedentemente realizzate, in VTR, vengono eliminate nelle tratte interferenti così da simulare realisticamente ciò che avverrà in sito.

Nella seguente immagine vengono riportati gli spostamenti a seguito dello scavo dei cunicoli. Si osserva che gli spostamenti rimangono pressochè inalterati a seguito degli scavi non mostrando quindi incrementi significativi di spostamento. In corrispondenza dei cunicoli si registrano invece spostamenti massimi dell'ordine dei 2-3 mm registrati in corrispondenza della chiave calotta.

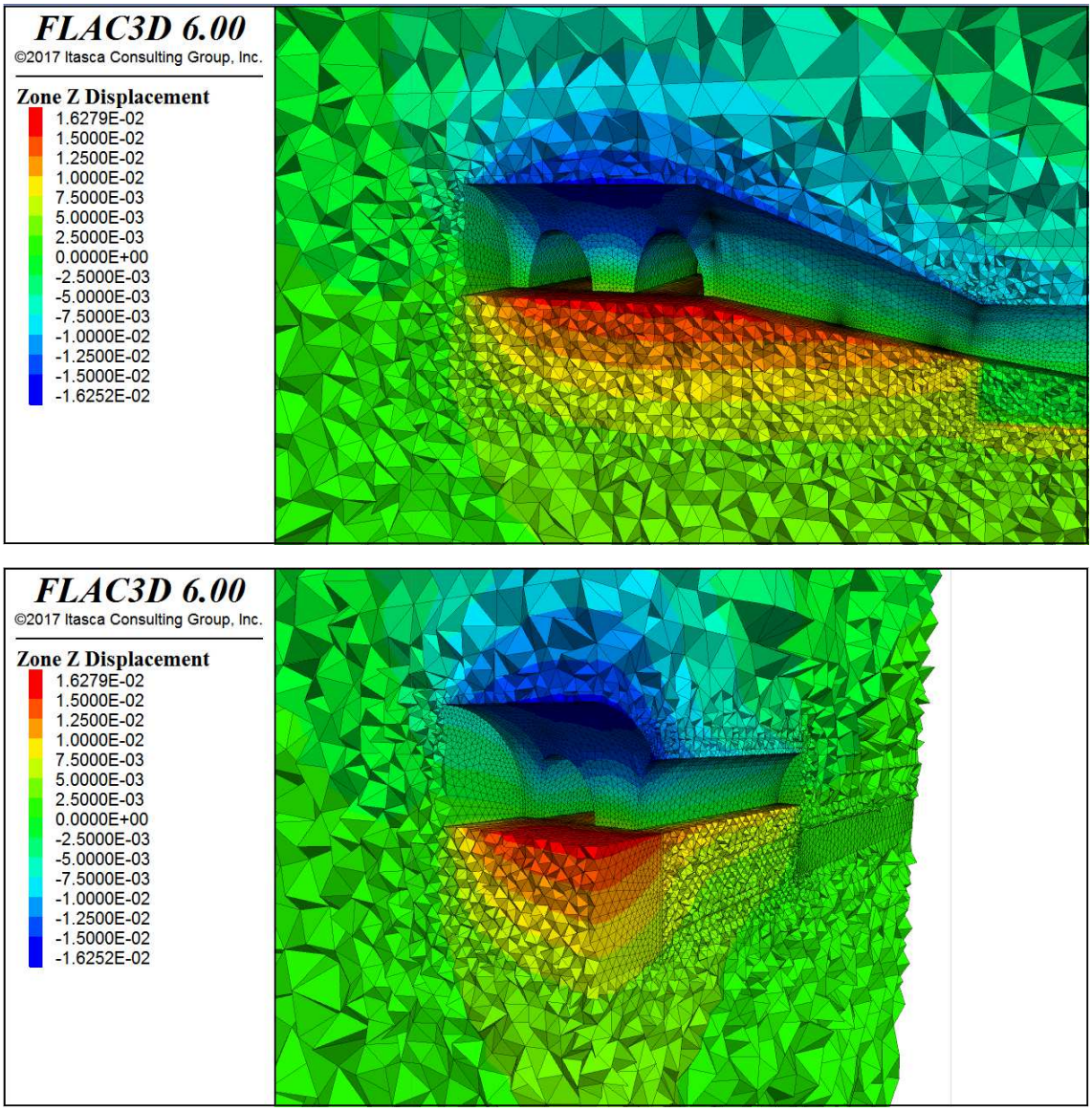


Figura 46 – Scavo cunicoli di piedritto – Spostamenti verticali

Per quanto riguarda invece gli spostamenti orizzontali si può invece osservare un incremento in prossimità degli imbocchi dove si registrano spostamenti dell'ordine dei 3 mm, valore comunque basso e ampiamente accettabile per la prosecuzione in sicurezza degli scavi.

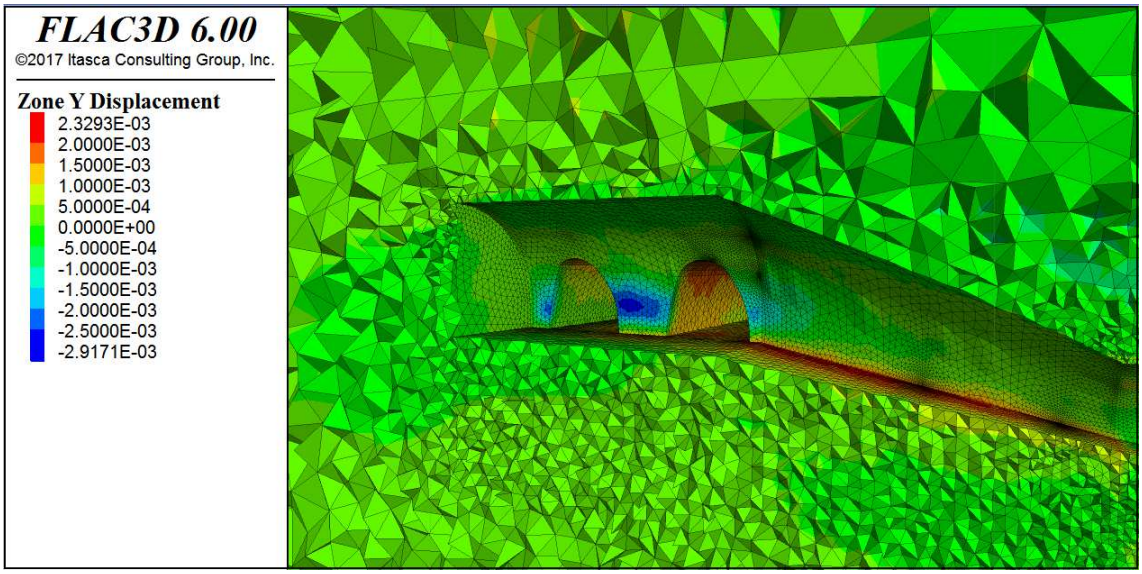


Figura 47 – Scavo cunicoli di piedritto – Spostamenti orizzontali

Osservando il comportamento dei chiodi è possibile rilevare che le barre prossime agli innesti dei cunicoli risultano essere soggette a spostamenti maggiori in particolar modo in corrispondenza della testa del bullone con sposamenti che si attestano a circa 1 cm. Questo comporta anche un incremento delle sollecitazioni agenti nei chiodi che raggiungono nell'area degli innesti valori dell'ordine dei 45-50 kN che risultano comunque valori ampiamente inferiori al limite di resistenza delle barre sia VTR che Dywidag.

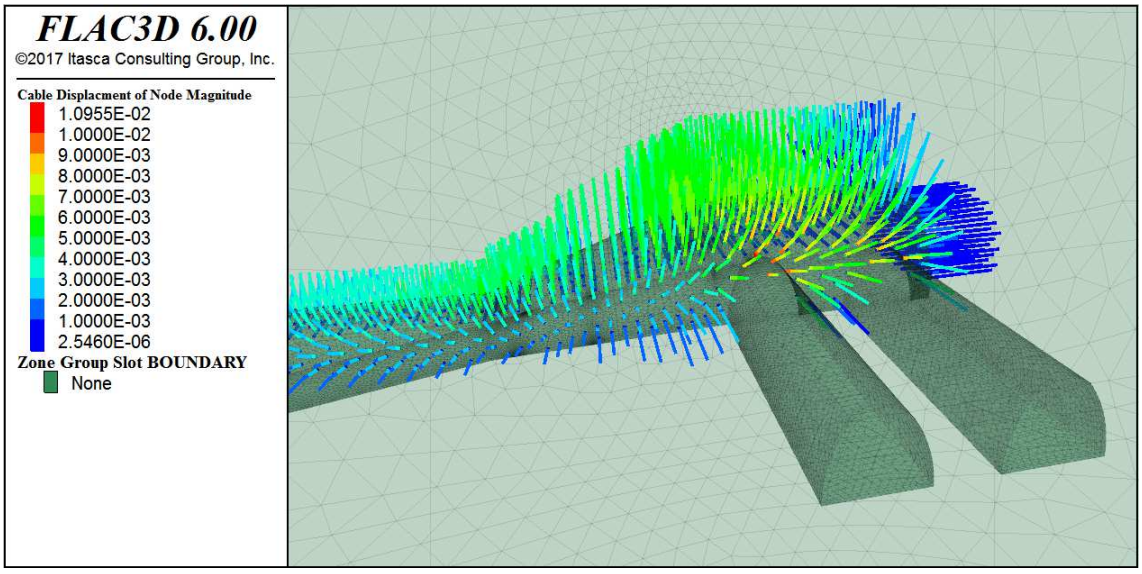


Figura 48 – Scavo cunicoli di piedritto - Chiodature – Spostamenti

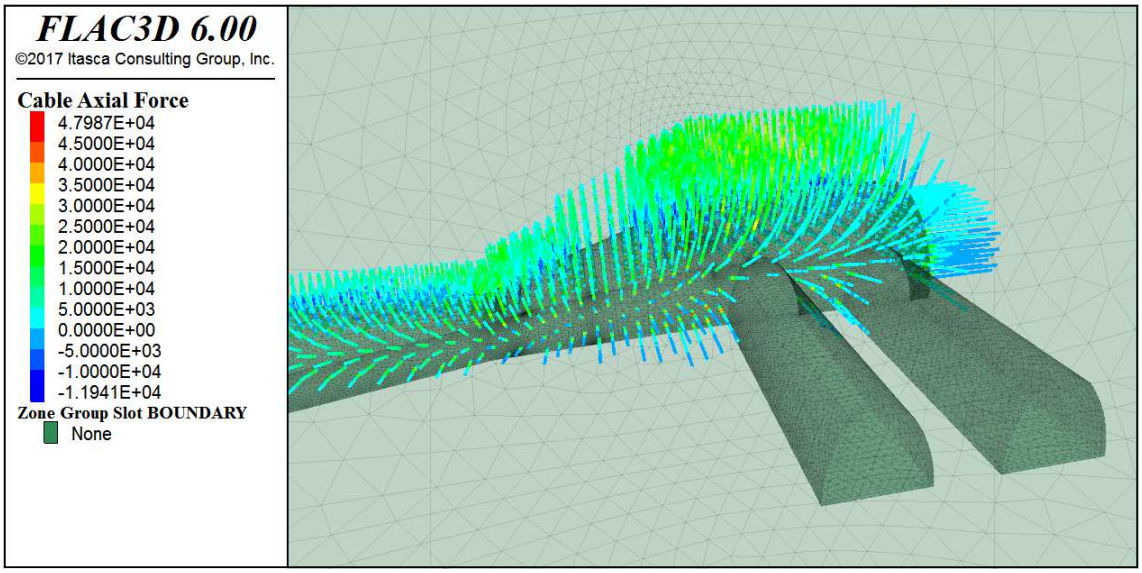
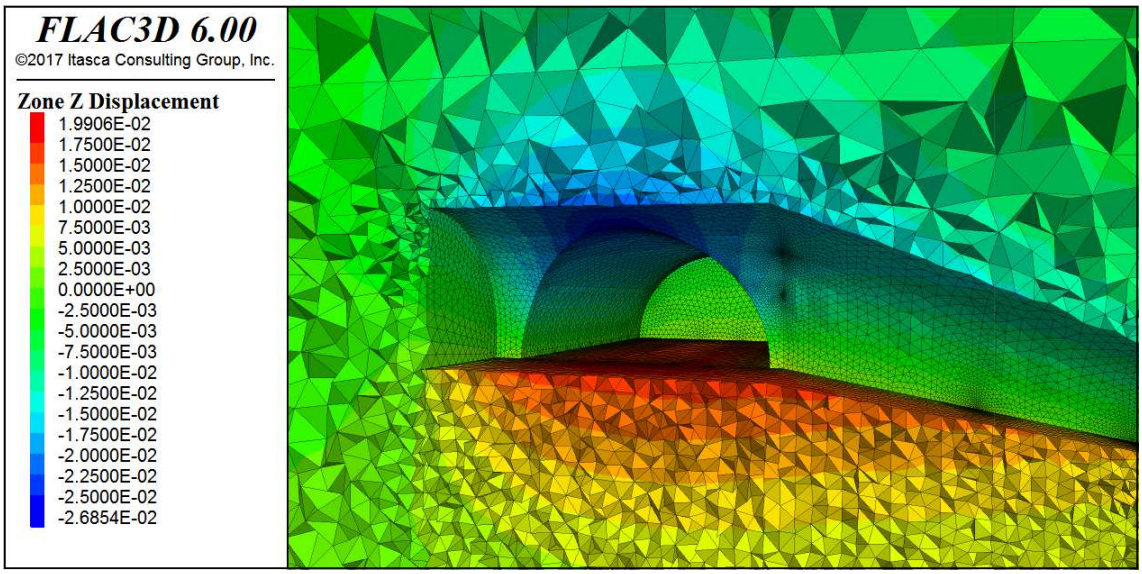


Figura 49 – Scavo cunicoli di piedritto - Chiodature – Azione assiale

Terminati gli scavi dei cunicoli di piedritto è previsto l'avanzamento in allargo a completamento del corpo longitudinale del camerone relativamente al settore di calotta. A seguito di questa fase l'analisi mostra un incremento degli spostamenti in corrispondenza della chiave callotta dell'area di innesto con spostamenti massimi che raggiungono i 2.5-3 cm. In corrispondenza del corpo longitudinale gli spostamenti risultano inferiori e si attestano su valori dell'ordine di 1.5-1.7 cm.



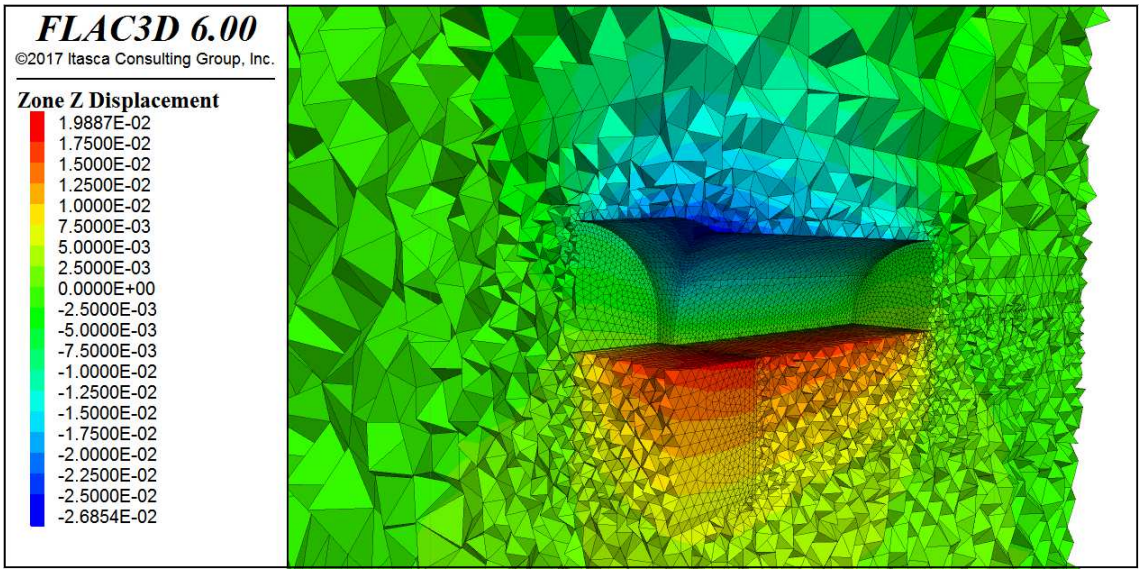
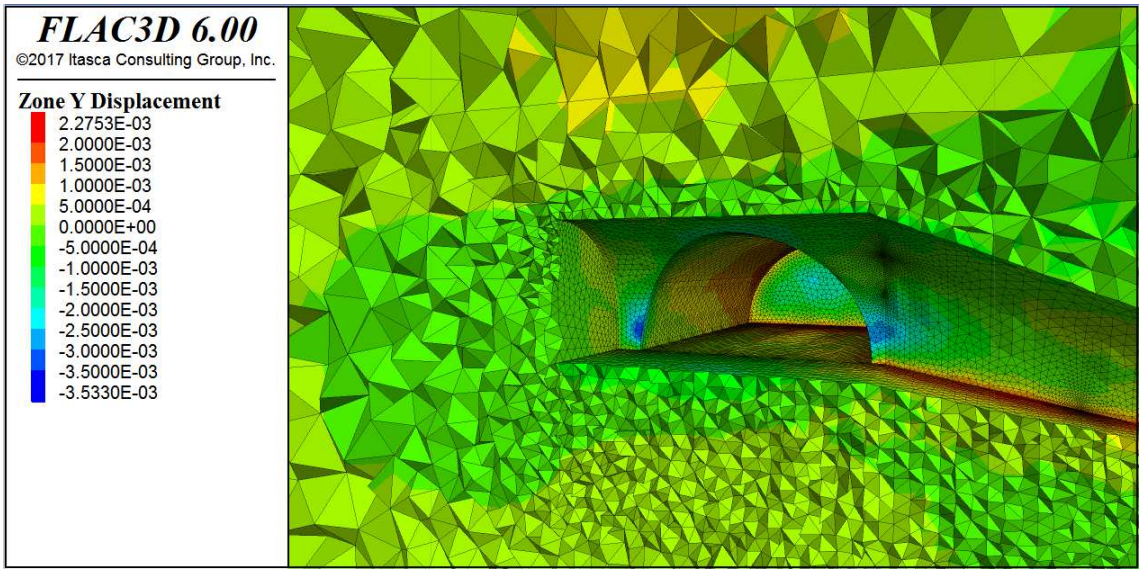


Figura 50 – Scavo corpo longitudinale – Spostamenti verticali

Per quanto riguarda invece gli spostamenti orizzontali si può invece osservare un lieve incremento in prossimità degli imbocchi dove si registrano spostamenti dell'ordine dei 3.5 mm.

Gli spostamenti orizzontali interni al corpo longitudinale del camerone risultano invece trascurabili e dell'ordine del millimetro.



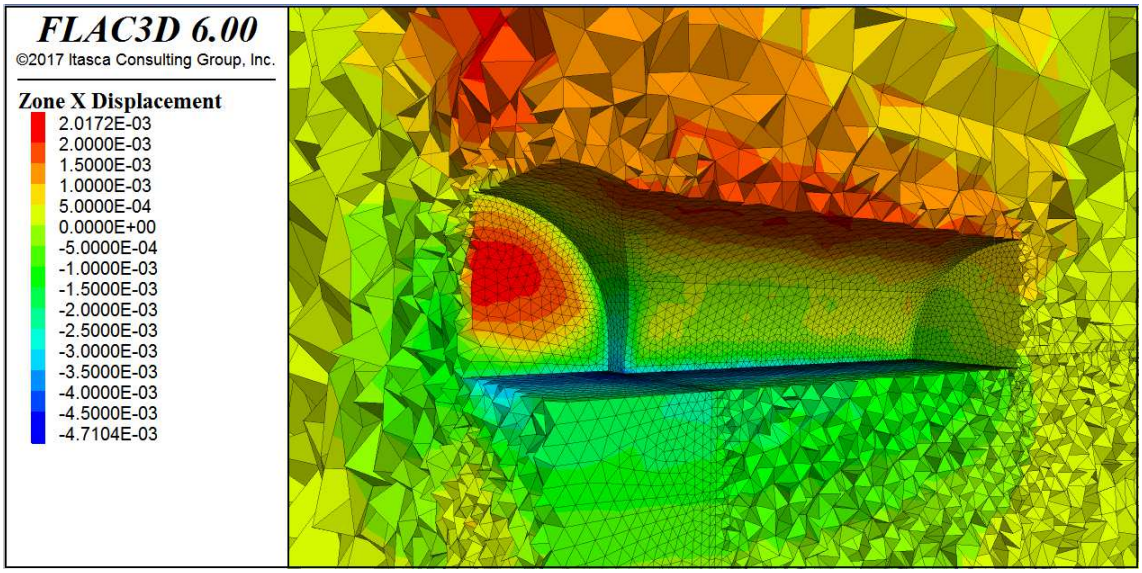


Figura 51 – Scavo corpo longitudinale – Spostamenti orizzontali

Il comportamento dei chiodi risulta descritto nelle seguenti immagini. Al termine degli scavi del corpo longitudinale del camerone si osserva che alcune chiodature presentano spostamenti superiori a 1.5 cm. Questi valori si registrano nelle chiodature tagliate durante gli scavi e di cui solo una porzione rimane attiva a seguito degli scavi. Le chiodature che non vengono intercettate dagli scavi presentano spostamenti massimi che raggiungono 1,5 cm in corrispondenza della testa del chiodo lato galleria. In termini di azione assiale nelle chiodature si registrano valori massimi pari a circa 77 kN in corrispondenza delle chiodature prossime all'innesto. I valori registrati sono comunque verificati in quanto ampiamente inferiori ai limiti dei materiali.

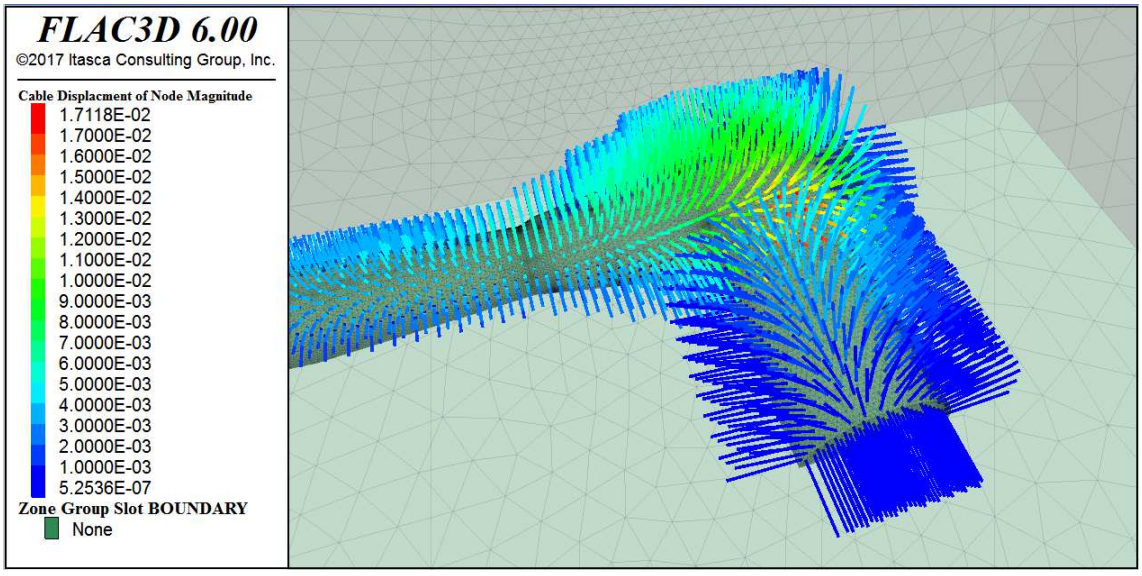


Figura 52 – Scavo corpo longitudinale - Chiodature – Spostamenti

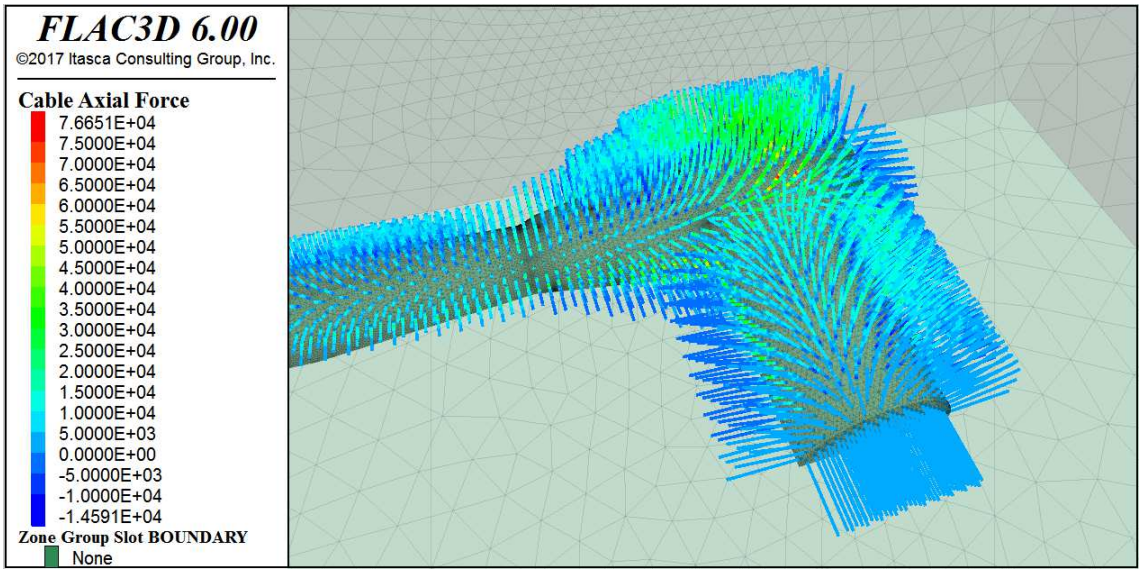


Figura 53 – Scavo corpo longitudinale - Chiodature – Azione assiale

Terminato lo scavo del settore di calotta avviene la posa in opera del prerivestimento a seguito del quale si procede con il primo scavo di ribasso secondo quanto riportato nelle fasi esecutive descritte in precedenza.

Gli spostamenti verticali dell'ammasso non subiscono variazioni ed in particolare si osserva che lo spritz-beton registra spostamenti dell'ordine del millimetro e pertanto accettabili.

In termini di spostamenti orizzontali in corrispondenza delle zone di innesto si registrano i valori massimi che risultano comunque contenuti e dell'ordine dei 5 mm. Lo spritz beton in corrispondenza delle pareti laterali mostra anch'esso valori ridotti e dell'ordine di pochi millimetri.

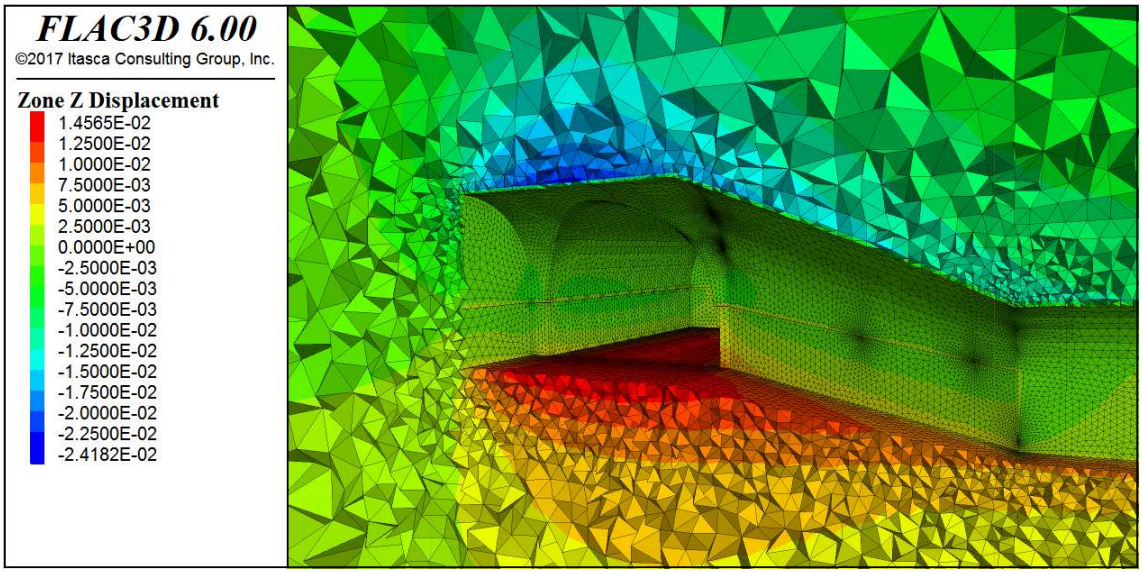


Figura 54 – Primo ribasso – Spostamenti verticali

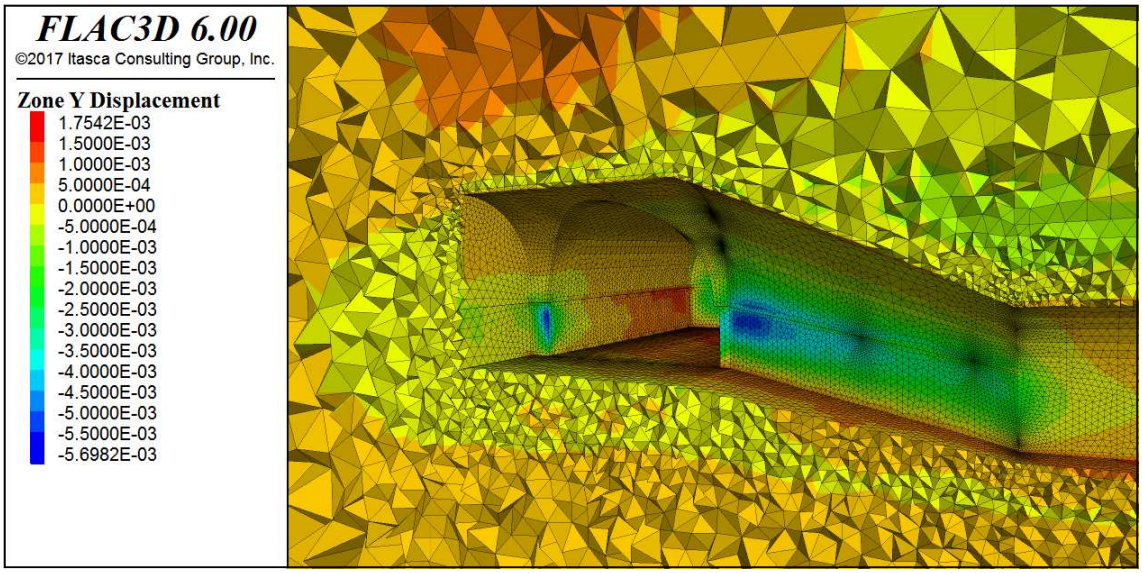


Figura 55 – Primo ribasso – Spostamenti orizzontali allargo e corpo di testata

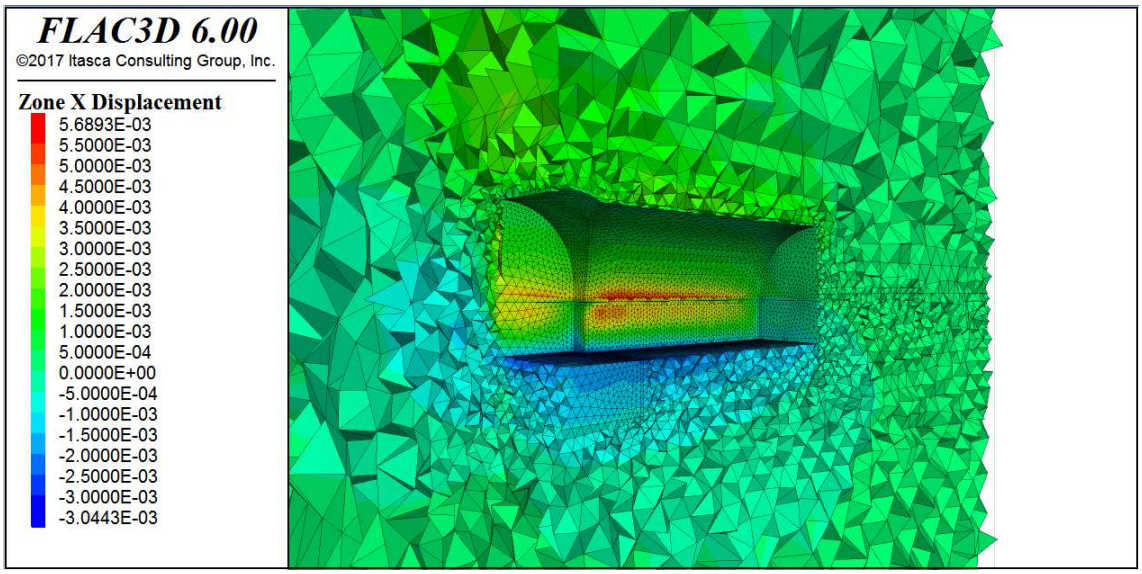


Figura 56 – Secondo ribasso – Spostamenti orizzontali corpo longitudinale

In termini di sollecitazioni negli interventi di sostegno provvisori si osserva invece che le sollecitazioni massime risultano essere di compressione e si registrano in corrispondenza dell'innesto tra il corpo di testata e il corpo longitudinale. Il valore massimo risulta essere dell'ordine di 1.5-2 MPa mentre nelle restanti zone lo stato tensionale risulta compreso tra 0.5-1.0 MPa. In entrambi i casi le sollecitazioni sono inferiori al limite di normativa.

Per quanto riguarda le chiodature i valori massimi di azione assiale si registrano in corrispondenza dei piedritti del primo ribasso con valori dell'ordine dei 90 kN e pertanto inferiori ai valori limite dei materiali.

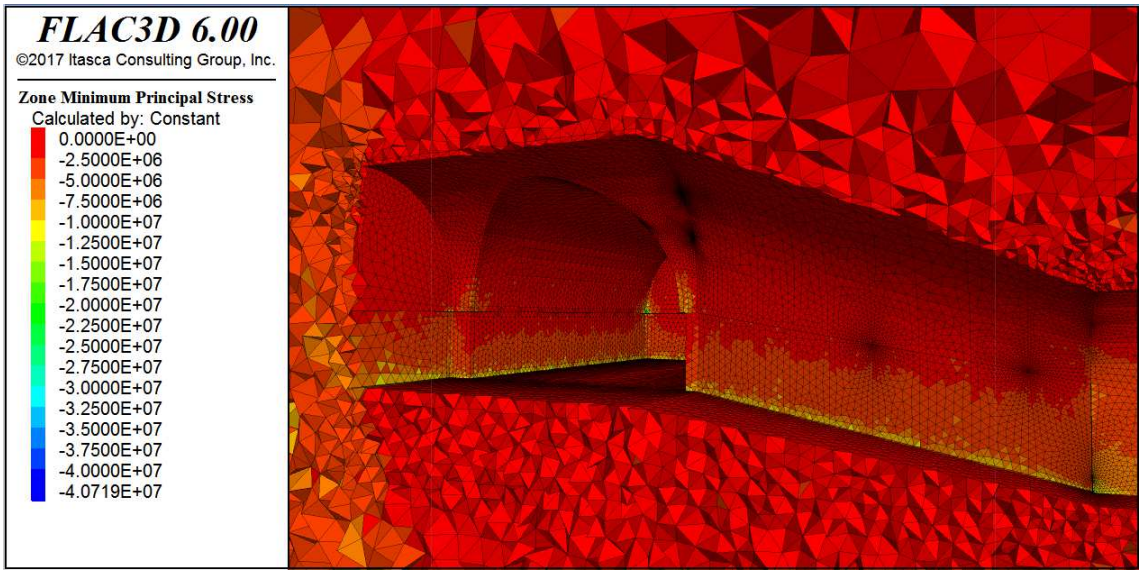


Figura 57 – Primo ribasso - Sollecitazioni spritz-beton

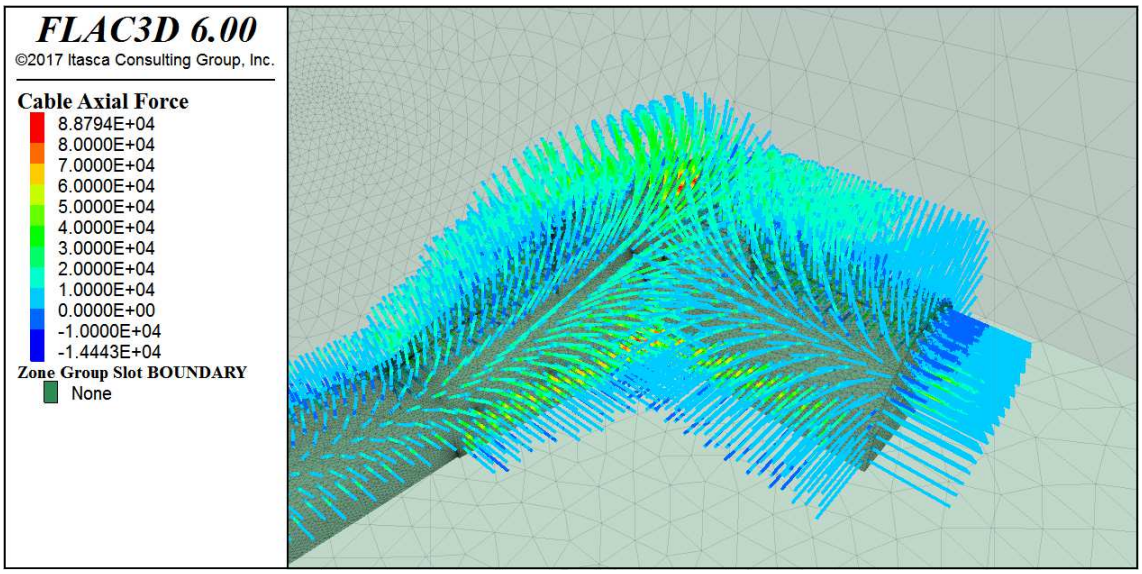


Figura 58 – Primo ribasso – Azione assiale chiodature

Al temine dello scavo di ribasso secondo la medesima fasistica descritta in precedenza viene posato in opera il prerivestimento in spritz-beton e successivamente viene realizzato il secondo scavo di ribasso a completamento del camerone.

Gli spostamenti verticali rimangono pressochè invariati rispetto alle fasi precedenti così come gli spostamenti orizzontali che registrano valori dell'ordine dei 5-6 mm in corrispondenza dell'innesto tra sezione di testata e sezione longitudinale. Il prerivestimento in spritz-beton mostra anch'esso valori contenuti con spostamenti massimi, inferiori al centrimetro, registrati in corrispondenza delle zone di passaggio tra i getti.

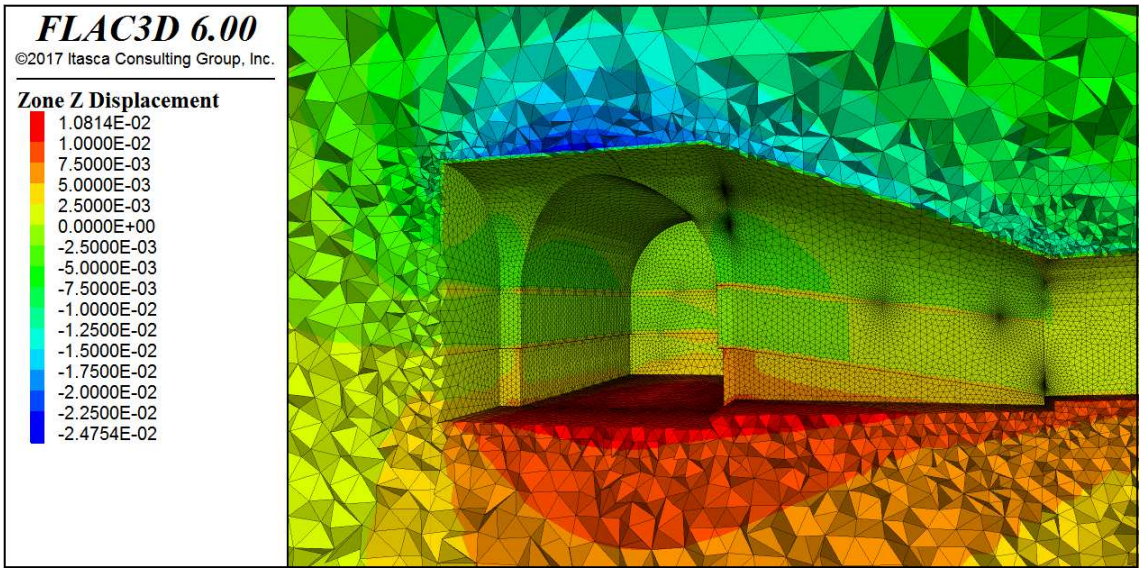


Figura 59 – Secondo ribasso - Spostamenti verticali

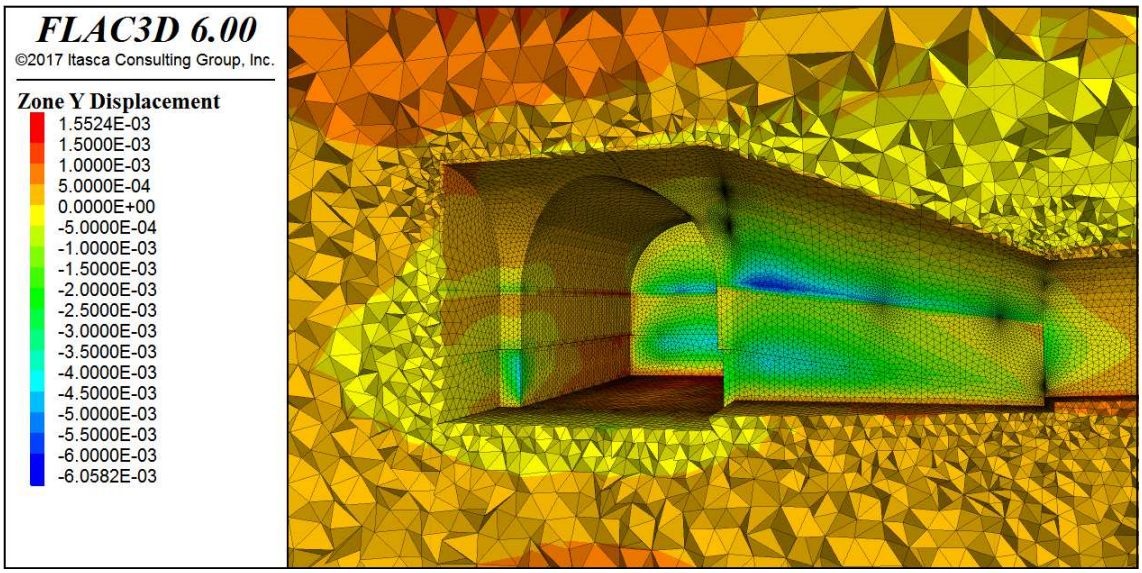


Figura 60 – Secondo ribasso – Spostamento orizzontale corpo di testata

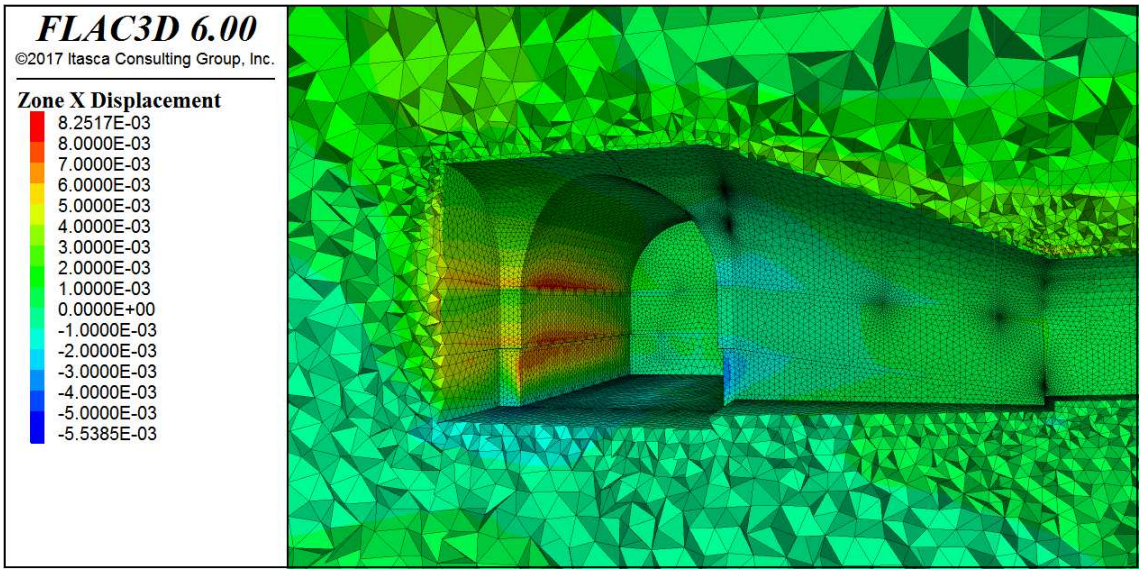


Figura 61 – Spostamento orizzontale corpo longitudinale

In termini di sollecitazioni negli interventi di sostegno provvisori si osserva che le sollecitazioni massime risultano essere di compressione e si registrano in corrispondenza dell'innesto tra il corpo di testata e il corpo longitudinale. Il valore massimo risulta essere dell'ordine di 5-6 MPa mentre nelle restanti zone lo stato tensionale risulta compreso tra 1 - 3 MPa. In entrambi i casi le sollecitazioni sono inferiori al limite di normativa.

Per quanto riguarda le chiodature i valori massimi di azione assiale si registrano in corrispondenza dei piedritti del primo ribasso con valori dell'ordine dei 115 kN e pertanto inferiori ai valori limite dei materiali.

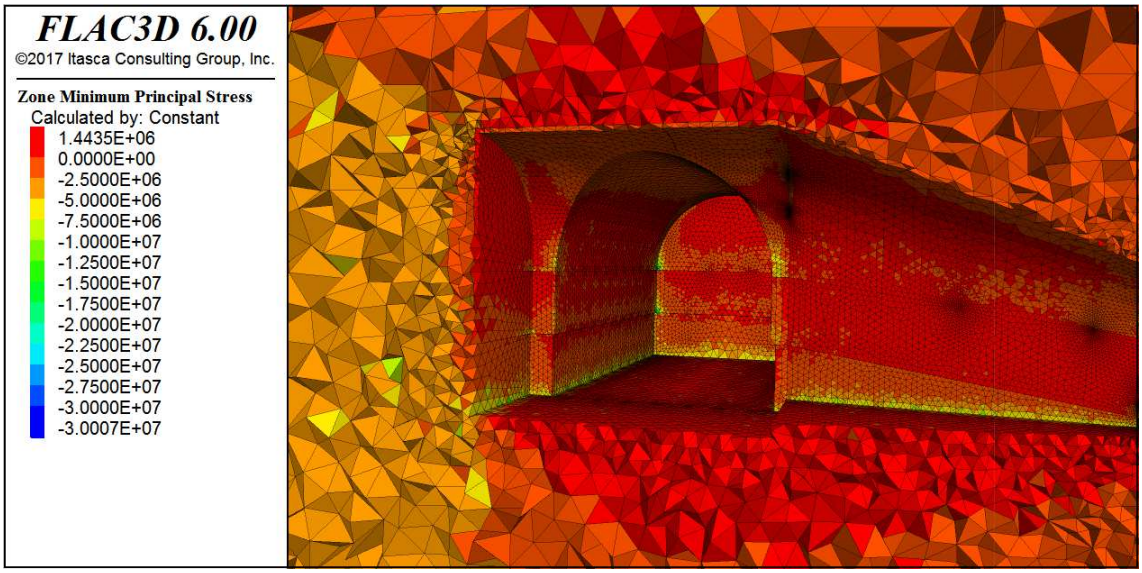


Figura 62 – Secondo ribasso – Sollecitazioni spritz-beton

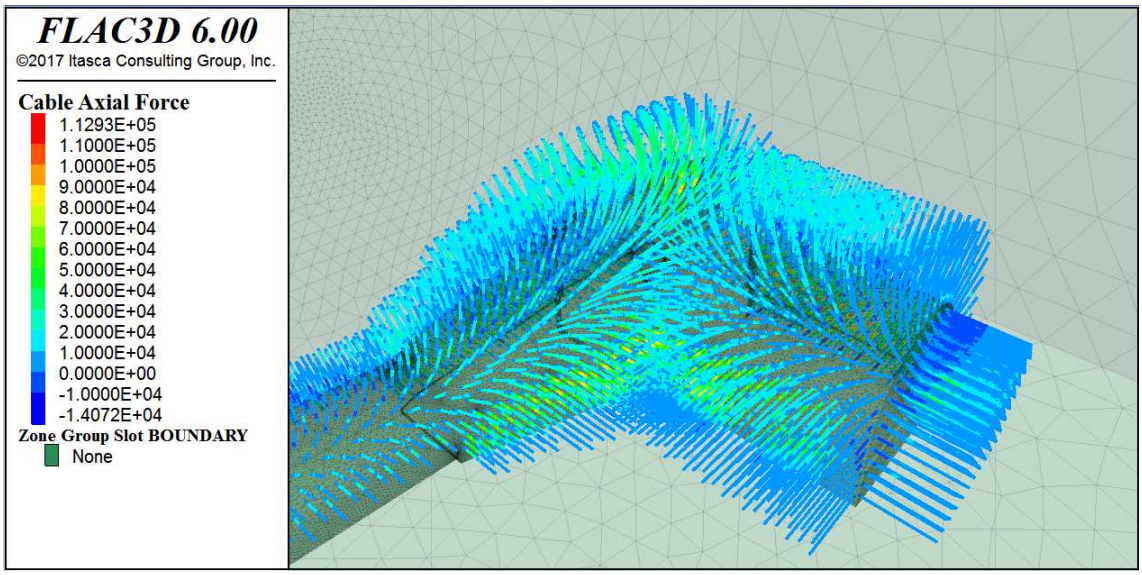


Figura 63 – Secondo ribasso – Azione assiale chiodi

Terminato il secondo ribasso avviene il completamento del getto dello spritz-beton e si procede allo scavo della camera di lancio e della galleria scavata in tradizionale verso monte.

Gli spostamenti del camerone rivestito, sia orizzontali che verticali, non subiscono evoluzioni significative come mostrato nella seguente immagine.

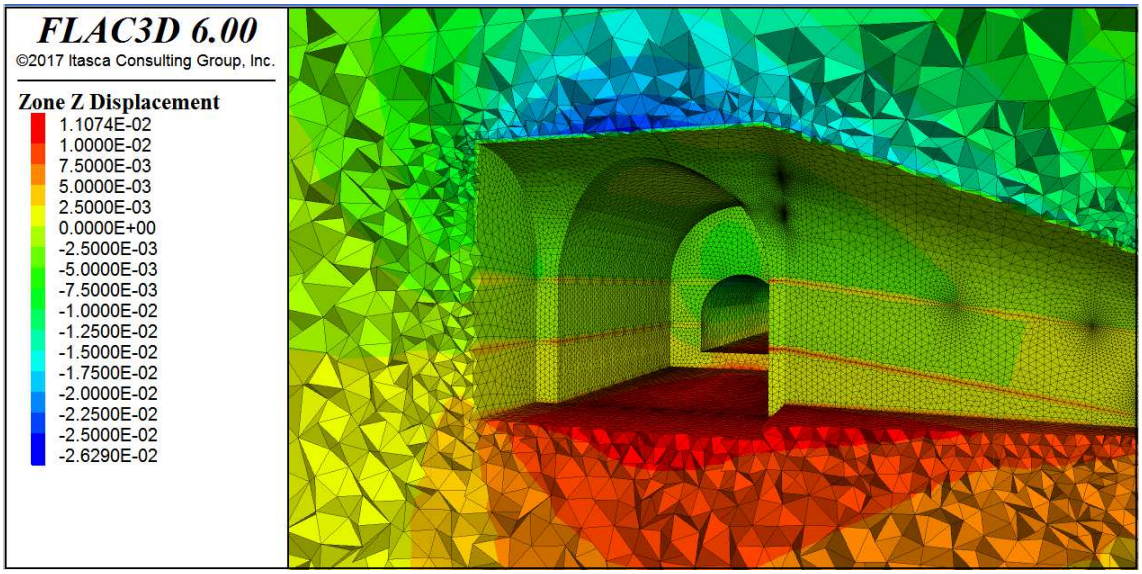


Figura 64 – Spostamenti verticali

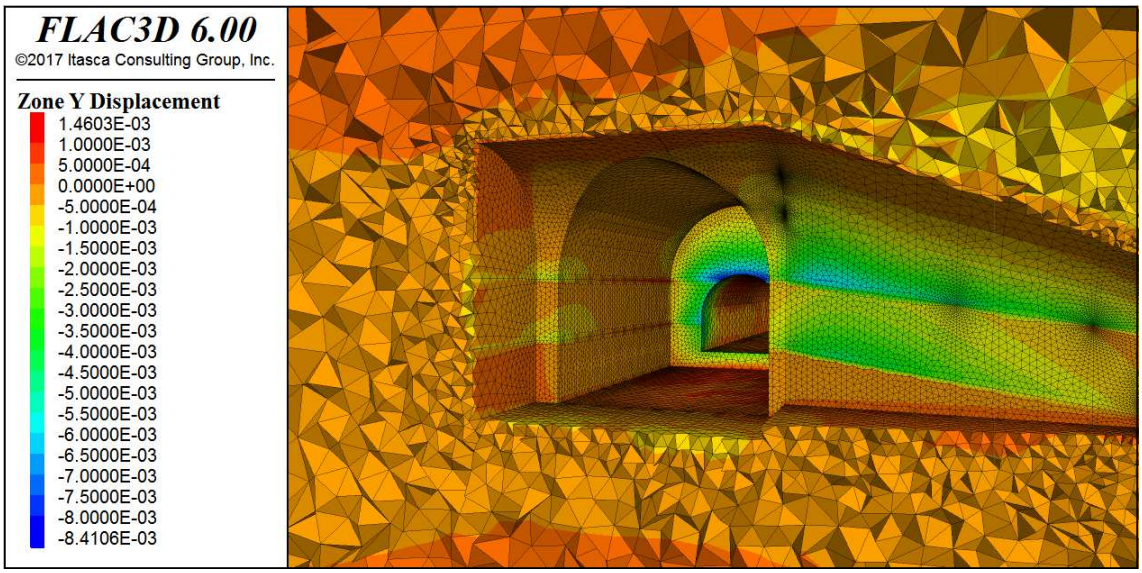


Figura 65 – Spostamenti orizzontali corpo di testata

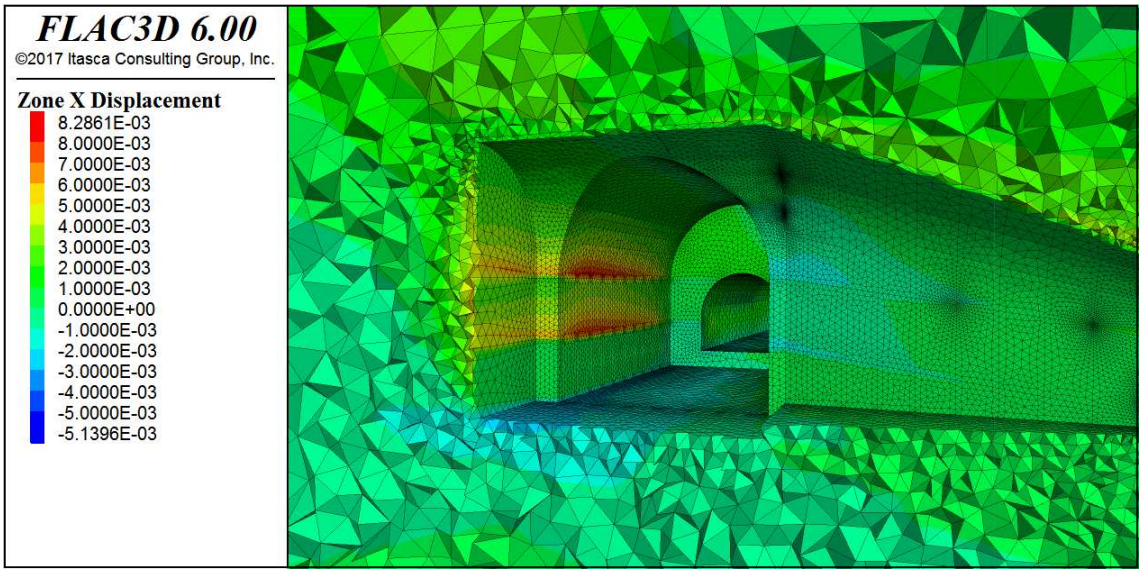


Figura 66 – Spostamenti orizzontali corpo longitudinale

Per quanto riguarda le sollecitazioni agenti nel prerivestimento in spritz-beton, i risultati mostrano sollecitazioni ampiamente al di sotto del limite tensionale dello spritz ad eccezione dei tamponi di fondo da cui parte lo scavo della camera di lancio e della galleria di monte in cui a seguito dello scavo si registra o sollecitazioni dell'ordine dei 6-7 MPa ovvero vicini al limite di resistenza dello spritz non armato. Non vengono invece considerati i valori in corrispondenza della zona tra piedritto e piano di scavo orizzontale dove i valori sono da imputare alla presenza di punti angoli che restituiscono sollecitazioni non realistiche.

Per quanto riguarda infine l'azione interna alle chiodature, si osserva che esse subiscono un lieve incremento rispetto alle fasi precedenti registrando un massimo dell'ordine dei 120 kN valore comunque inferiore al limite da normative dei materiali adottati.

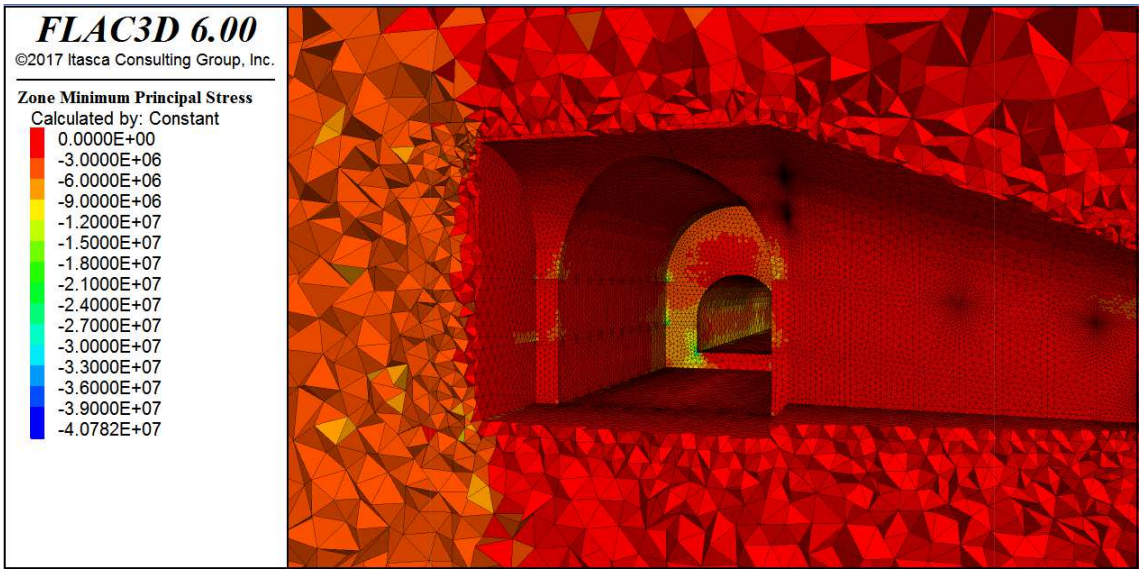


Figura 67 – Sollecitazioni spritz-beton

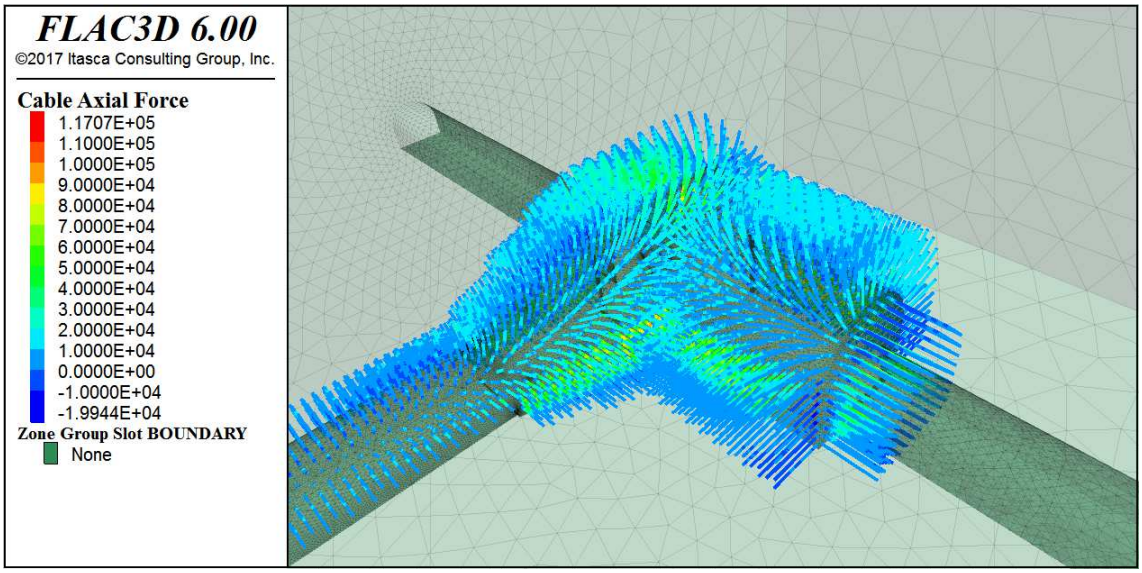


Figura 68 – Azione assiale chiodature

Si osserva pertanto che in corrispondenza di ogni fase di calcolo le verifiche sugli interventi di sostegno provvisori sono soddisfatte essendo le sollecitazioni inferiori ai limiti da normativa e ance in termini di spostamenti si ottengono valori limitati ed accettabili per l'opera oggetto dello studio.

Nel prossimo capitolo verrà invece verificato il rivestimento definitivo del camerone che, come già specificato nei precedenti capitoli, risulta soggetto al solo carico idraulico dovuto alla presenza della falda.

8.2 Analisi numerica – Rivestimenti definitivi

Si riportano le analisi condotte per il dimensionamento e la verifica dei rivestimenti definitivi del camerone. Le fasi realizzative prevedono l'installazione dei rivestimenti definitivi al termine della realizzazione della galleria scolmatrice. Si prevede pertanto che le pressioni al contorno del cavo si siano interamente scaricate e che quindi su tali elementi strutturali agisca in caso solo la spinta idrostatica. Coerentemente a quanto assunto per la galleria scolmatrice e a quanto descritto nella relazione idrogeologica si assume un abbattimento della falda pari al 70% che corrisponde a un battente di circa 23 m sul solettone di fondo.

8.2.1 Analisi dei carichi

Per la verifica strutturale dei rivestimeni definitivi del camerone si considerano i seguenti carichi per la determinazione delle azioni sollecitanti.

La condizioni elementari di carico di seguito descritte verranno combinate al fine di massimizzare le sollecitazioni interne alla struttura conformemente alla normativa (rif. Cap. 8.2.2).

8.2.1.1 Peso proprio

Si assume un peso specifico degli elementi strutturali pari al peso specifico del calcestruzzo armato (25 kN/m^3).

8.2.1.2 *Spinta idrostatica*

Nel calcolo si considera un battente idraulico agente sul manufatto pari ad un abbattimento della falda del 70%, coerentemente a quanto indicato nella relazione idrogeologica. Per il tratto in esamen questo corrisponde a considerare un battente di circa 23 m sul solettone di fondo.

Si assume un peso specifico dell'acqua pari a 10 kN/m^3.

8.2.1.3 *Spinta delle terre*

Nel lungo termine, al momento dell'installazione del rivestimento definitivo si considerano esaurite le pressioni al contorno del cavo e pertanto non si considereranno nella verifica strutturale carichi dovuti alla spinta delle terre.

8.2.2 *Criteri di calcolo*

La verifica dei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'inviluppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

8.2.2.1 *Verifiche a Stato Limite Ultimo*

Per le verifiche di resistenza strutturale si considerano le sollecitazioni valutate mediante un'amplificazione dei carichi sollecitanti coerentemente a quanto prescritto dalla normativa.

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale (SLU):
  $$\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot \psi_{02}\times Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot \psi_{03}\times Q_{k3} + \ldots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\times Q_{k1} + \psi_{22}\times Q_{k2} + \ldots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (nel caso in esame la risalita della quota di falda):
  $$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21}\times Q_{k1} + \psi_{22}\times Q_{k2} + \ldots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qj} sono assunti coerentemente alla tabella seguente

Tabella 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali[(1)]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
[(1)]Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.					

Tabella 2 – Coefficienti parziali per le azioni (riferimento DM2008)

In generale si verifica che:

$E_d \leq R_d$

dove E_d è il valore di progetto delle sollecitazioni e R_d è il valore di progetto della resistenza dell'elemento strutturale.

8.2.2.2 Verifiche a Stato Limite di Esercizio

Le verifiche allo stato limite di esercizio si eseguono conformemente a quanto indicato in normativa considerando le combinazioni di carico così definite:

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \ldots$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \ldots$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \ldots$

8.2.2.3 Stato limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0

b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t \leq \frac{f_{ctk}}{\gamma_m}$$

c) stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

w_1 = 0,2 mm
w_2 = 0,3 mm
w_3 = 0,4 mm

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

<u>Condizioni ambientali</u>

Le condizioni ambientali, ai fini della valutazione della durabilità delle strutture in calcestruzzo, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive.

La tabella 4.1.III delle NTC raccoglie le classi di esposizione per ogni condizione ambientale:

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 3 – Descrizione delle condizioni ambientali

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni XC4.

Tabella C4.1.IV *Copriferri minimi in mm*

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_o	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 4 - Copriferri minimi

Si mantiene pertanto un copriferro di 5 cm impiegando un calcestruzzo di classe C32/40.

Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi: armature sensibili e armature poco sensibili. Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso (con stato tensionale imposto). Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Le armature del manufatto oggetto di analisi appartengono al gruppo delle armature poco sensibili.

Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tabella 4.1.IV – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 5 - Stato limite di fessurazione

Le armature della galleria, oggetto della presente relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili e si trovano in condizioni ambientali aggressive.

Per la verifica dello stato limite di fessurazione si fa quindi riferimento al limite di apertura delle fessure w_1 pari a 0.2 mm sia per le azioni quasi permanenti

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1, w_2, w_3 secondo quanto riportato nella Tabella riportata in precedenza.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da: $w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$

dove ε_{sm} è la deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} e Δ_{smax} è la distanza massima tra le fessure.

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{smax} si utilizzano le formulazioni riportate nella circolare esplicativa alle NTC 2008. Cui si rimanda per i dettagli.

8.2.2.4 Stato limite tensionale

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni rare e quasi permanenti delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel conglomerato cementizio sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del conglomerato cementizio σ_c, deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$ per la combinazione caratteristica (rara)

$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$ per la combinazione quasi permanente

Per l'acciaio, la tensione massima, σ_s, per effetto delle azioni dovute alle combinazioni rare deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$

dove f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

La verifica tensionale lato acciaio non risulta invece dimensionante.

8.2.3 *Sezioni di calcolo*

Per il dimensionamento e la verifica delle strutture definitive si analizza 1 sezione di calcolo che corrisponde alla sezione corrente.

8.2.3.1 *Metodologia di analisi*

L'analisi strutturale viene condotta con il codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000. Viene eseguita un'analisi piana per metro lineare di struttura.

La struttura viene modellata con riferimento alla linea d'asse, a mezzo di elementi asta ai quali sono assegnate le caratteristiche geometriche ed inerziali reali.

Nel dettaglio si modella no i seguenti spessori:

- Solettone di fondo sp= 280 cm
- Piedritti sp = 270 cm
- Calotta sp = 130 cm
- Calotta (tratto variabile) sp = 200 cm

L'effetto del terreno che circonda la struttura viene schematizzato applicando agli elementi della platea e delle pareti laterali (solo fino a dove il paramento esterno è verticale) delle molle alla Winkler con costante di sottofondo valutata sulla base della rigidezza media del materiale:

k_{lat} = 100000 kN/m^3

Tali molle sono caratterizzate da un comportamento a sola compressione, pertanto qualora per effetto delle condizioni di carico siano sollecitate a trazione, vengono automaticamente ignorate dal codice di calcolo. Tale condizione richiede ovviamente un'analisi di tipo non lineare.

8.2.3.2 *Geometria di calcolo*

Nelle figure seguenti si riporta la geometria considerata per il calcolo. La modellazione ha tenuto in considerazione la variazione dello spessore degli elementi strutturali laddove presente.

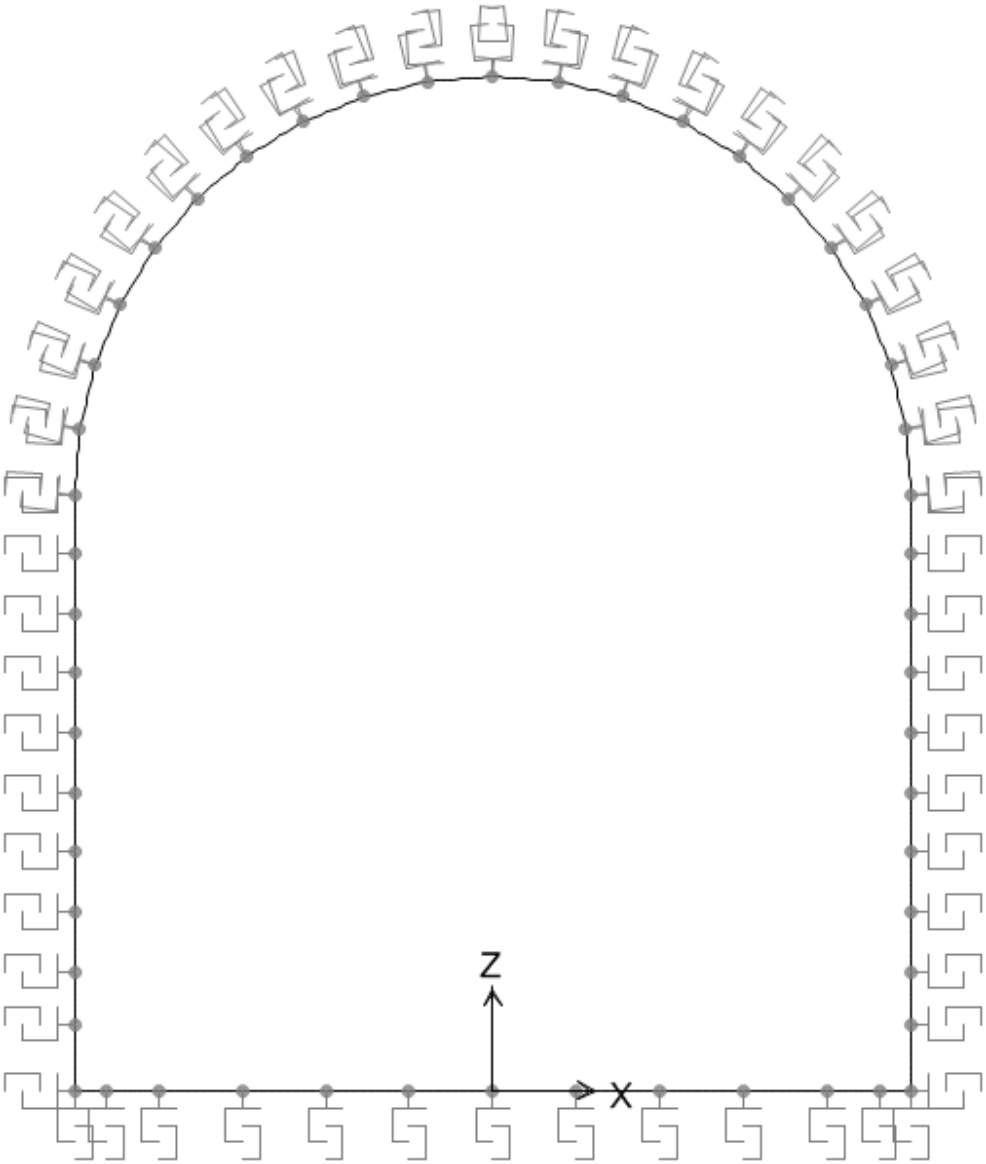


Figura 69 - Sezione di calcolo

8.2.4 Risultati

Di seguito si riportano i diagrammi di sollecitazione utilizzati per le verifiche ed in particolare:

- Il diagramma delle sollecitazioni a taglio per le combinazioni di carico SLU
- Il diagramma delle sollecitazioni flettenti per le combinazioni di carico SLE frequenti
- Il diagramma dello sforzo normale per le combinazioni di carico SLE frequenti

Per le armature principali risulta dimensionante la verifica a fessurazione dato il basso limite normativo: si omettono per tale ragioni le verifiche a SLU.

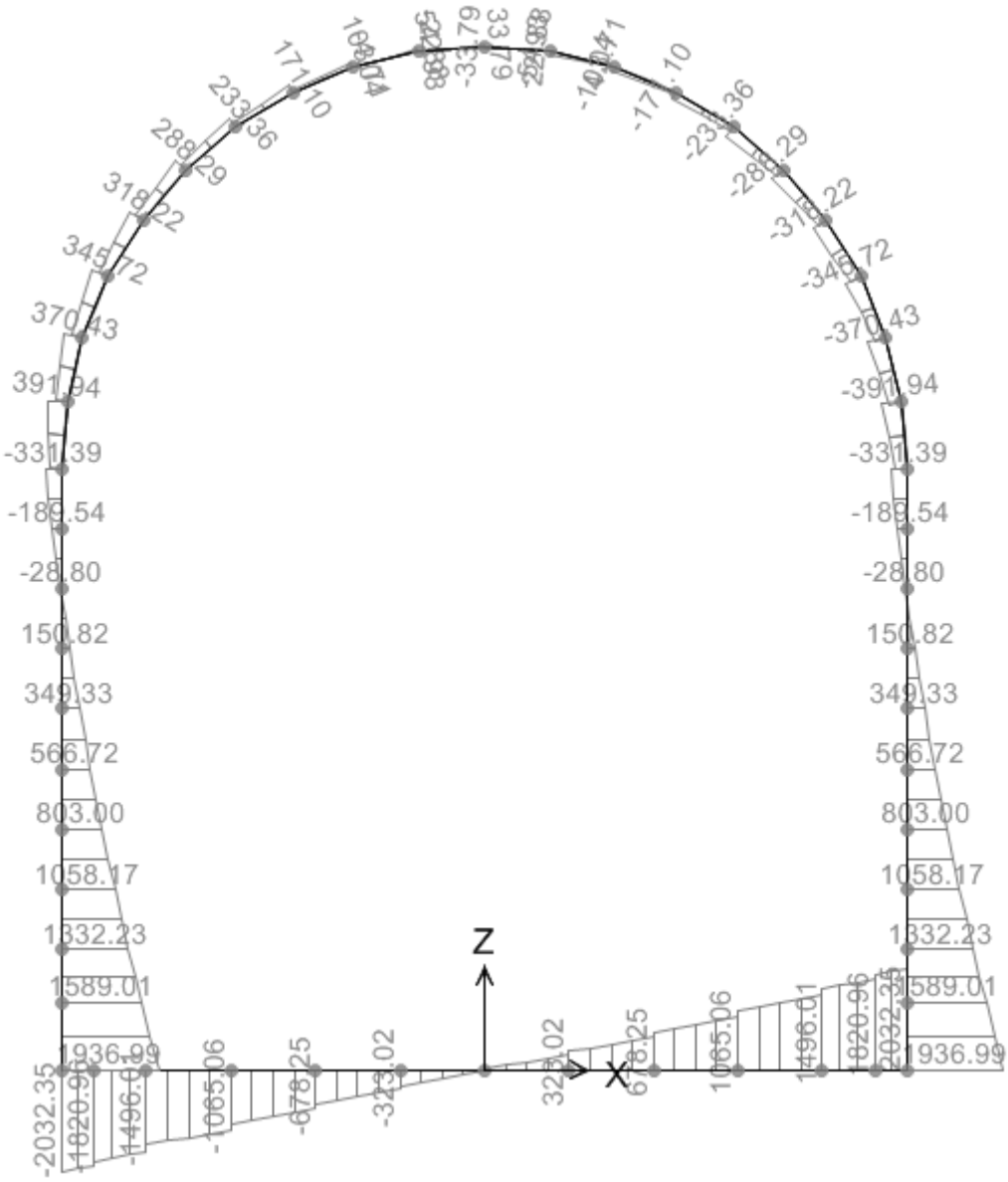


Figura 70 - Inviluppo taglio - combinazione SLU

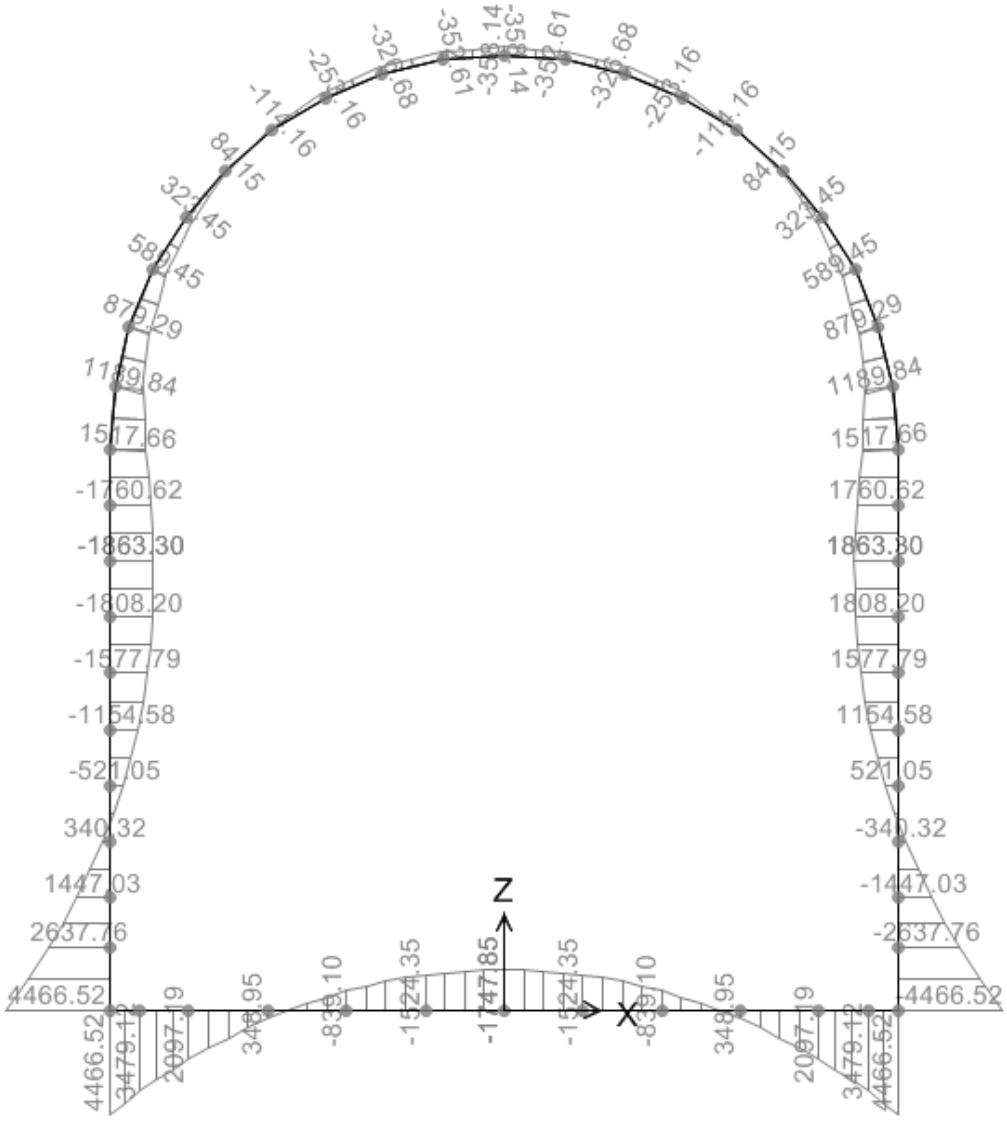


Figura 71 - Inviluppo momento flettente - combinazione SLE frequente

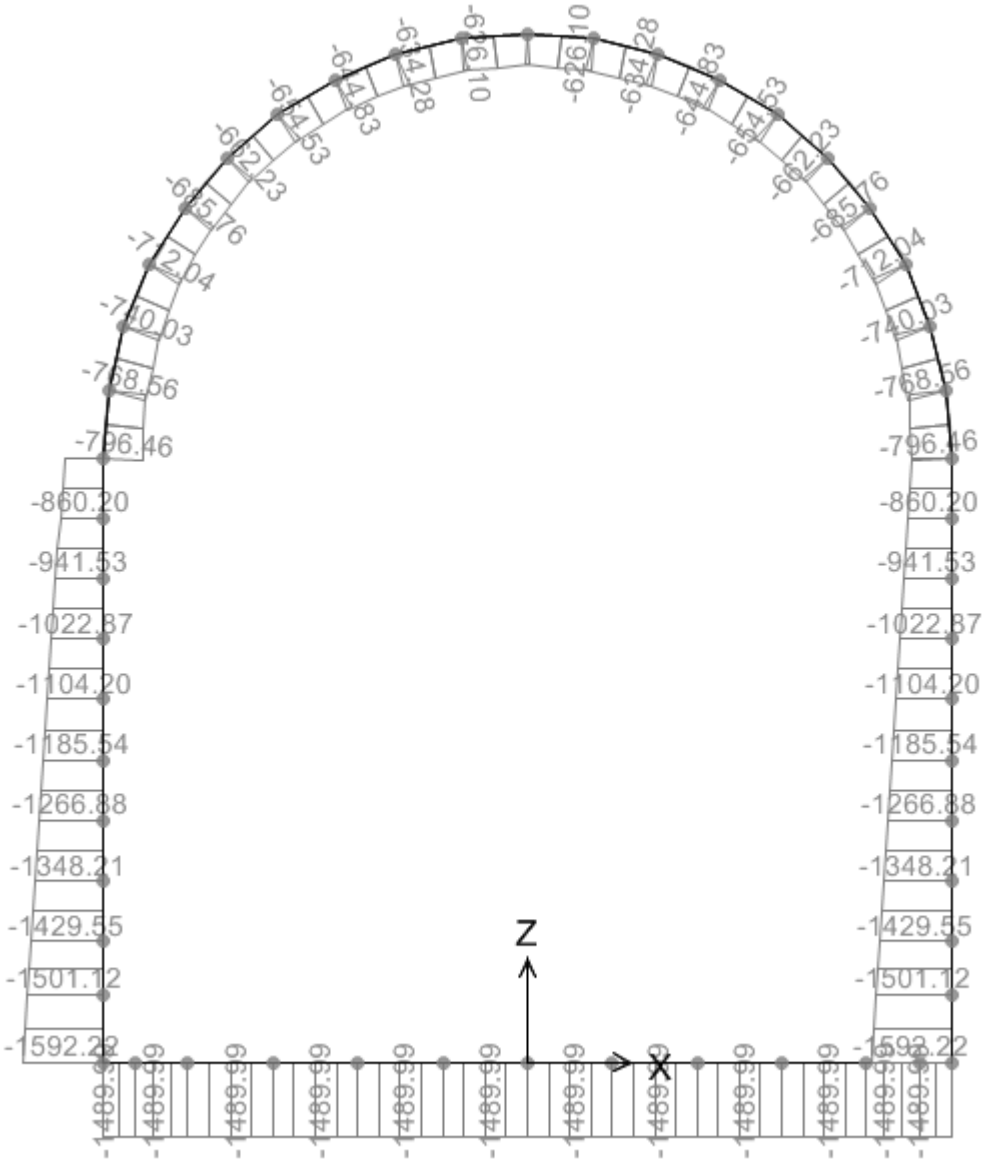


Figura 72 - Inviluppo sforzo normale - combinazione SLE frequente

Si fa notare che l'anomalia nella rappresentazione degli sforzi normali è dovuta alla convenzione del programma legata all'orientazione degli assi: come si nota dal segno si tratta comunque di sforzi di compressione.

8.2.5 Verifiche

Di seguito si riportano le verifiche strutturali svolte. Nel dettaglio si verificano le sezioni maggiormente sollecitate in funzione degli spessori.

Come anticipato, per le armature principali risulta dimensionante la verifica a fessurazione dato il basso limite normativo: si omettono per tale ragioni le verifiche a SLU.

La tabella seguente riassume le sollecitazioni massime per cui sono state effettuate le verifiche.

		M_{SLE}	N_{SLE}	Armatura tesa	Armatura compressa
		kNm/m	kN/m	Φmm/cm	Φmm/cm
SOLETTONE INCASTRO	SP = 280 cm	3479.12	1489.99	Φ30/20 + Φ20/20	Φ20/20
SOLETTONE MEZZERIA	SP = 280 cm	1747.85	1489.99	Φ20/20	Φ20/20
PIEDRITTO INCASTRO	SP = 270 cm	2637.76	1501.12	Φ30/20	Φ30/20
PIEDRITTO MEZZERIA	SP = 270 cm	1863.30	941.53	Φ30/20	Φ20/20
CALOTTA	SP = 218 cm	879.29	740.03	Φ20/20	Φ20/20

Tabella 6 - Sollecitazioni massime [kN – m]

Si riportano di seguito le verifiche a taglio trascurando lo sforzo normale.

RESISTENZA A TAGLIO DI PROGETTO

b	1000	mm
h	2800	mm
A_c	2800000	mm^2

$\Phi_{tr\ (max)}$	20	mm
c	50	mm
f_{ck}	32.00	MPa
N_{ed}	0	kN
V_{ed}	1820	kN

$V_{Rd,c\ (min)}$	**771.82**	**kN**
$V_{Rd,c}$	**771.82**	**kN**

PREDISPORRE ARMATURA A TAGLIO

V_{ed}	**1820.0**	**kN**
V_{Rd}	**2128.4**	**kN**

LA VERIFICA A TAGLIO E' SODDISFATTA

n	5	
Φ	20	mm
$A_{s,tesa}$	1571	mm^2
ρ_L	0.00056	

d	2720	mm
k	1.271	
f_{cd}	18.13	MPa
v_{min}	0.284	

Armatura a taglio - spilli

α	90	°
θ	30	°

Φ	14	mm
L_T maglia	400	mm
L_L maglia	300	mm
A_{sw}	384.8	mm^2
$A_{sw,eff}$	3475.6	mm^3

f_{yk}	450	Mpa
f_{yd}	391	Mpa
d	2720	mm
z	2448	mm
ν	0.5	

σ_{cp}	0	Mpa
α_{cw}	1	

$V_{Rd,s}$	**2128.4**	**kN**
$V_{Rd,max}$	**9610.8**	**kN**

Tabella 7 - Verifica a taglio – Solettone sp 280 cm

RESISTENZA A TAGLIO DI PROGETTO

b	1000	mm
h	2700	mm
A_c	2700000	mm^2

$\Phi_{tr\ (max)}$	20	mm
c	50	mm
f_{ck}	32.00	MPa
N_{ed}	0	kN
V_{ed}	1589	kN

$V_{Rd,c\ (min)}$	**746.75**	**kN**
$V_{Rd,c}$	**746.75**	**kN**

PREDISPORRE ARMATURA A TAGLIO

V_{ed}	**1589.0**	**kN**
V_{Rd}	**2046.2**	**kN**

LA VERIFICA A TAGLIO E' SODDISFATTA

n	5	
Φ	30	mm
$A_{s,tesa}$	3534	mm^2
ρ_L	0.00131	

d	2615	mm
k	1.277	
f_{cd}	18.13	MPa
v_{min}	0.286	

Armatura a taglio - spilli

α	90	°
θ	30	°

Φ	14	mm
L_T maglia	400	mm
L_L maglia	300	mm
A_{sw}	384.8	mm^2
$A_{sw,eff}$	3475.6	mm^3

f_{yk}	450	Mpa
f_{yd}	391	Mpa
d	2615	mm
z	2353.5	mm
ν	0.5	

σ_{cp}	0	Mpa
α_{cw}	1	

$V_{Rd,s}$	**2046.2**	**kN**
$V_{Rd,max}$	**9239.8**	**kN**

Tabella 8 - Verifica a taglio – Piedritto sp 270 cm

RESISTENZA A TAGLIO DI PROGETTO

b	1000	mm
h	1300	mm
A_c	1300000	mm^2

$\Phi_{tr\ (max)}$	20	mm
c	50	mm
f_{ck}	32.00	MPa
N_{ed}	0	kN
V_{ed}	391.94	kN

$V_{Rd,c\ (min)}$	**402.22**	**kN**
$V_{Rd,c}$	**402.22**	**kN**

n	5	
Φ	20	mm
$A_{s,tesa}$	1571	mm^2
ρ_L	0.00121	

d	1220	mm
k	1.405	
f_{cd}	18.13	MPa
v_{min}	0.330	

NON E' NECESSARIA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

Tabella 9 - Verifica a taglio – Calotta sp 130 cm

Le verifiche tensionali e di apertura delle fessure si riportano nelle tabelle seguenti per le sezioni strutturali verificate.

M	3479.12	kNm
N	1489.99	kN
b	1000	mm
h	2800	mm
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
f_{ctm}	3.10	MPa
E_{cm}	33643	MPa
E_s	210000	MPa
α_e	15.00	-

x	893.3	mm
σ_s	146.7	MPa
σ_c	4.783	MPa
$\sigma_{s,lim}$	313.04	MPa
$\sigma_{c,lim-QP}$	14.94	MPa

$\varepsilon_{sm,clc}$	3.96E-04	-
$\varepsilon_{sm,min}$	4.19E-04	-
ε_{sm}	4.19E-04	-
Δ_{smax}	377.86	mm
w_d	0.158	mm

c_{netto}	50	mm
Φ_{rip}	14	mm
d	2723	mm
$n_{barre\ tese}$	10	-
$\Phi_{barre\ tese}$	26.0	mm
A_Φ	531	mm^2
A_s	5309	mm^2
$h_{c,eff}$	192.5	mm
$A_{c,eff}$	192500	mm^2
ρ_{eff}	0.028	-
k_t	0.4	-
k_1	0.8	-
k_2	0.5	-
k_3	3.4	-
k_4	0.425	-

Calcolo diametro equivalente		
Φ_1	20	mm
n_1	5	-
Φ_1	30	mm
n_1	5	-
Φ_{eq}	26.0	mm

Tabella 10 - Verifica pressoflessione SLE – Solettone incastro sp 280 cm

M	1747.85	kNm
N	1489.99	kN
b	1000	mm
h	2800	mm
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
f_{ctm}	3.10	MPa
E_{cm}	33643	MPa
E_s	210000	MPa
α_e	15.00	-

x	1133	mm
σ_s	56.32	MPa
σ_c	2.682	MPa
$\sigma_{s,lim}$	313.04	MPa
$\sigma_{c,lim-QP}$	14.94	MPa

$\varepsilon_{sm,clc}$	-5.16E-04	-
$\varepsilon_{sm,min}$	1.61E-04	-
ε_{sm}	1.61E-04	-
Δ_{smax}	618.03	mm
w_d	0.099	mm

c_{netto}	50	mm
Φ_{rip}	14	mm
d	2726	mm
$n_{barre\ tese}$	5	-
$\Phi_{barre\ tese}$	20.0	mm
A_Φ	314	mm^2
A_s	1571	mm^2
$h_{c,eff}$	185.0	mm
$A_{c,eff}$	185000	mm^2
ρ_{eff}	0.008	-
k_t	0.4	-
k_1	0.8	-
k_2	0.5	-
k_3	3.4	-
k_4	0.425	-

Calcolo diametro equivalente		
Φ_1	20	mm
n_1	5	-
Φ_1		mm
n_1		-
Φ_{eq}	20.0	mm

Tabella 11 - Verifica pressoflessione SLE – Solettone mezzeria sp 280 cm

M	2637.76	kNm
N	1501.124	kN
b	1000	mm
h	2700	mm
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
f_{ctm}	3.10	MPa
E_{cm}	33643	MPa
E_s	210000	MPa
α_e	15.00	-

x	871.8	mm
σ_s	123.4	MPa
σ_c	4.104	MPa
$\sigma_{s,lim}$	313.04	MPa
$\sigma_{c,lim-QP}$	14.94	MPa

$\varepsilon_{sm,clc}$	1.69E-04	-
$\varepsilon_{sm,min}$	3.53E-04	-
ε_{sm}	3.53E-04	-
Δ_{smax}	502.59	mm
w_d	0.177	mm

c_{netto}	50	mm
Φ_{rip}	14	mm
d	2621	mm
$n_{barre\ tese}$	5	-
$\Phi_{barre\ tese}$	30.0	mm
A_Φ	707	mm^2
A_s	3534	mm^2
$h_{c,eff}$	197.5	mm
$A_{c,eff}$	197500	mm^2
ρ_{eff}	0.018	-
k_t	0.4	-
k_1	0.8	-
k_2	0.5	-
k_3	3.4	-
k_4	0.425	-

Calcolo diametro equivalente		
Φ_1	30	mm
n_1	5	-
Φ_1		mm
n_1		-
Φ_{eq}	30.0	mm

Tabella 12 - Verifica pressoflessione SLE – Piedritto incastro sp 270 cm

M	1863.3	kNm
N	941.53	kN
b	1000	mm
h	2700	mm
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
f_{ctm}	3.10	MPa
E_{cm}	33643	MPa
E_s	210000	MPa
α_e	15.00	-

x	814.5	mm
σ_s	100.7	MPa
σ_c	3.028	MPa
$\sigma_{s,lim}$	313.04	MPa
$\sigma_{c,lim-QP}$	14.94	MPa

$\varepsilon_{sm,clc}$	6.11E-05	-
$\varepsilon_{sm,min}$	2.88E-04	-
ε_{sm}	2.88E-04	-
Δ_{smax}	502.59	mm
w_d	0.145	mm

c_{netto}	50	mm
Φ_{rip}	14	mm
d	2621	mm
$n_{barre\ tese}$	5	-
$\Phi_{barre\ tese}$	30.0	mm
A_Φ	707	mm^2
A_s	3534	mm^2
$h_{c,eff}$	197.5	mm
$A_{c,eff}$	197500	mm^2
ρ_{eff}	0.018	-
k_t	0.4	-
k_1	0.8	-
k_2	0.5	-
k_3	3.4	-
k_4	0.425	-

Calcolo diametro equivalente		
Φ_1	30	mm
n_1	5	-
Φ_1		mm
n_1		-
Φ_{eq}	30.0	mm

Tabella 13 - Verifica pressoflessione SLE – Piedritto mezzeria sp 270 cm

M	879.29	kNm
N	740.027	kN
b	1000	mm
h	2180	mm
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
f_{ctm}	3.10	MPa
E_{cm}	33643	MPa
E_s	210000	MPa
α_e	15.00	-

x	668.4	mm
σ_s	78.1	MPa
σ_c	2.431	MPa
$\sigma_{s,lim}$	313.04	MPa
$\sigma_{c,lim-QP}$	14.94	MPa

$\varepsilon_{sm,clc}$	-4.12E-04	-
$\varepsilon_{sm,min}$	2.23E-04	-
ε_{sm}	2.23E-04	-
Δ_{smax}	618.03	mm
w_d	0.138	mm

c_{netto}	50	mm
Φ_{rip}	14	mm
d	2106	mm
$n_{barre\ tese}$	5	-
$\Phi_{barre\ tese}$	20.0	mm
A_Φ	314	mm^2
A_s	1571	mm^2
$h_{c,eff}$	185.0	mm
$A_{c,eff}$	185000	mm^2
ρ_{eff}	0.008	-
k_t	0.4	-
k_1	0.8	-
k_2	0.5	-
k_3	3.4	-
k_4	0.425	-

Calcolo diametro equivalente		
Φ_1	20	mm
n_1	5	-
Φ_1		mm
n_1		-
Φ_{eq}	20.0	mm

Tabella 14 - Verifica pressoflessione SLE – Calotta sp 218 cm

9 Analisi dei tetraedri instabili

In aggiunta alle analisi e verifiche riportate in precedenza è 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 edita dalla RocSience inc., che permette:

- l'identificazione e la visualizzazione tridimensionale dei cunei rocciosi formatisi 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 e dei supporti previsti, inserite come dati di input.

È stata dapprima condotta una approfondita analisi dei numerosi dati geostrutturali disponibili, che ha consentito di definire le analisi da svolgere, conformemente agli obiettivi del presente studio. Sono state quindi condotte le verifiche strutturali sui cunei potenzialmente instabili, in particolare per verificare gli interventi previsti quali rivestimenti di prima fase per lo scavo della tratta in allargamento della finestra e del camerone.

Nel seguito si riportano i dettagliati delle verifiche condotte ed i relativi risultati sintetizzati in tabelle, per maggiori dettagli invece in allegato si riportano i report dettagliati di ciascuna analisi eseguita.

Nella seguente tabella si riassumo le analisi svolte, indicando la tratta di galleria di riferimento con la relativa orientazione ed inclinazione, la sezione tipo di scavo verificata e la stazione geomeccanica di riferimento con le relative giaciture rilevate.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
F-A	Tipo A	Finestra - 0+368.30	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68
F-B	Tipo C	Finestra - 0+394.35	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
C-A	A-A	Camerone - A	356/0.14	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68
C-B	B-B	Camerone - B	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

Tabella 15 - Sintesi delle analisi svolte per il tratto di galleria scavata in tradizionale

Nella figura seguente si riporta un esempio di verifica dei tetraedri instabili condotta con il software Unwedge.

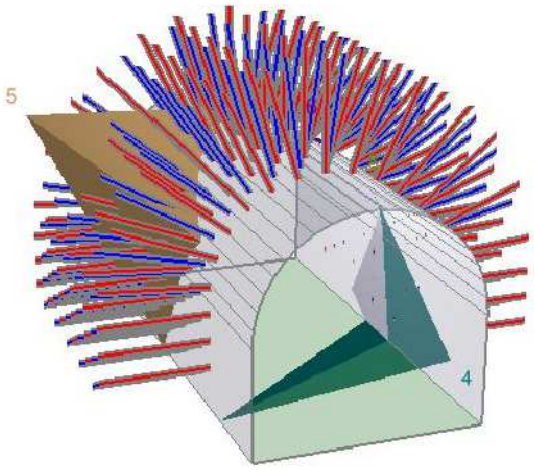


Figura 73 - esempio della verifica tridimensionale di stabilità dei tetraedri instabili – Finestra

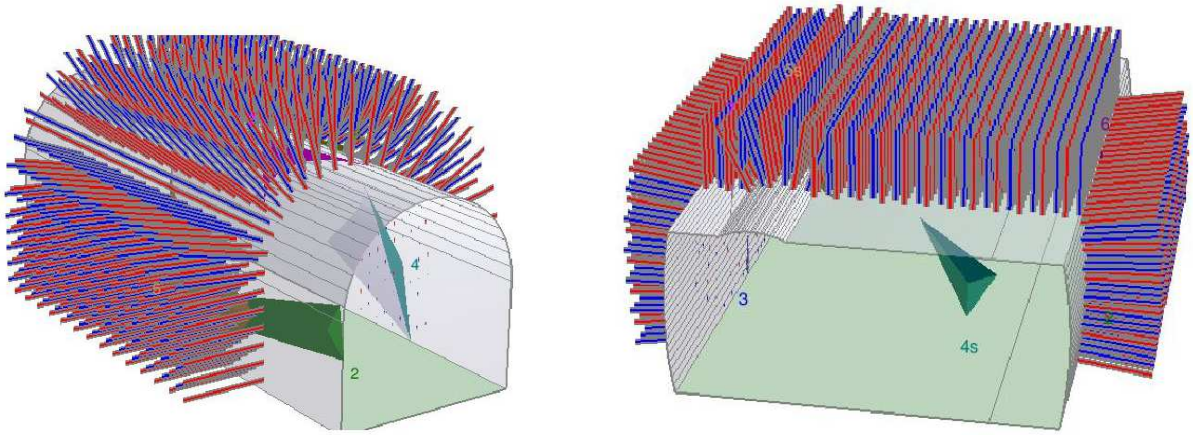


Figura 74 - esempio della verifica tridimensionale di stabilità dei tetraedri instabili – Camerone

9.1 Procedura di verifica

Le verifiche sono state condotte in conformità alle NTC 2008, in particolare, considerando Il problema come fronti di scavo, è stato impiegato l'approccio 1, combinazione A2+M2+R2 con i coefficienti parziali così definiti:

- A2 (azioni) = 1.0
- M2 (parametri geotecnici):
  - tanΦ' = 1.25
  - c' = 1.25
  - Cu = 1.4
  - γ = 1.0
- R2 (resistenze) = 1.1.

Si evidenzia che l'assunzione di un fattore di sicurezza R2 pari a 1.10, di lungo termine, risulta conservativo per la condizione di verifica, di breve durata, che prevede i soli bulloni metallici e spritz beton

armato. Inoltre nel programma di calcolo (Unwedge) non sono state fattorizzate le resistenze con il coefficiente 1.1, ma è stato definito come target il coefficiente di sicurezza pari a 1.1.

Per gli ancoraggi in acciaio si considera inoltre $\gamma_s = 1.15$.

9.2 Analisi geostrutturali

Sono stati analizzati preliminarmente tutti i dati geostrutturali disponibili, derivanti dai numerosi rilievi geomeccanici eseguiti nelle diverse fasi progettuali del presente Progetto e del vicino scolmatore del Fereggiano. In particolare:

- Progetto Definitivo dello Scolmatore del Bisagno
- Progetto Esecutivo del Fereggiano
- Rilievi del fronte di scavo dello scolmatore del Fereggiano al momento in corso d'opera.

Sono state analizzate e processate un totale di 2459 giaciture, suddivise tra superfici di stratificazione e di fratture. Negli elaborati BIS2E-R-SDB01-PL10 e BIS2E-R-SDB01-PL11 sono stati riportati in planimetria tutti rilievi geomeccanici analizzati con le relative proiezioni stereografiche.

Nella figura seguente si riporta la proiezione stereografica di tutte le giaciture analizzate, dove sono state differenziate con il triangolo blu quelle relative alla stratificazione.

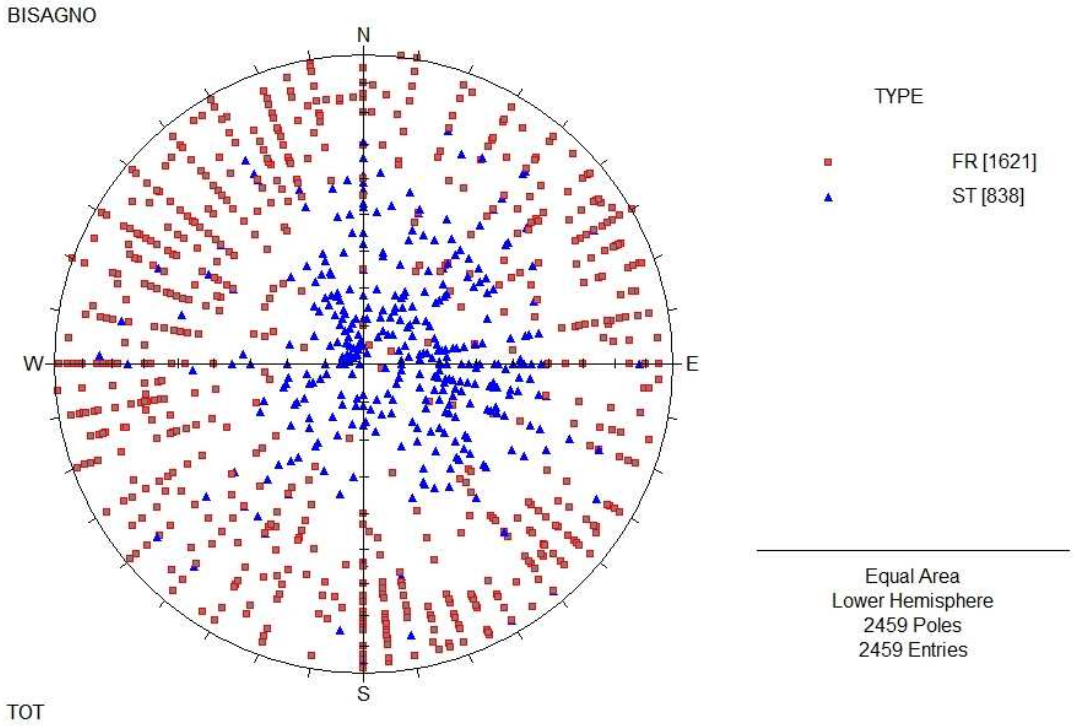


Figura 75 - proiezione stereografica di tutti i dati geostrutturali disponibili

Appare subito evidente la notevole dispersione dei dati, soprattutto quelli relativi alla stratificazione, che testimonia l'elevato grado di tettonizzazione dell'area, con notevoli cambiamenti dell'assetto giaciturale. Tuttavia tale situazione era prevedibile considerando l'estensione dell'area analizzata, ed il complesso contesto geologico geostrutturale in cui l'area risulta inserita.

Pertanto, considerando tale elevata variabilità delle giaciture, per le analisi di stabilità sono stati impiegati i dati derivanti dai singoli rilievi scegliendo quelli più vicini e rappresentativi per il tratto di galleria analizzato. inoltre, per tenere conto di tale variabilità strutturale presente nell'area, per alcune analisi, sono state svolte due verifiche utilizzando due diversi set strutturali di imput derivanti da due differenti stazioni geomeccaniche limitrofe. Nella tabella di Tabella 15 sono riportate per ciascuna analisi le stazioni geomeccaniche utilizzate e le relative giaciture dei piani rilevati.

9.2.1 Parametri delle discontinuità

Nei rilievi geostrutturali sono stati quasi sempre rilevati anche l'indice di scabrezza (JRC) e la resistenza a compressione mediante l'impiego del martello di Schmidt (JCS). In assenza di prove di taglio diretto lungo i giunti, per definire l'angolo di resistenza la taglio lungo le discontinuità è stato utilizzato il criterio empirico di Barton-Bandis, la cui equazione è riportata di seguito:

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

Dove σ_n rappresenta la pressione verticale, Φ_b l'angolo d'attrito di base della roccia, ossia l'angolo di resistenza misurato su superfici perfettamente levigate, JRC il coefficiente di scabrezza e JCS la resistenza a compressione lungo il giunto.

L'angolo d'attrito è stato quindi determinato utilizzando i seguenti valori:

- σ_n = 0.081 MPa (corrispondente a 3 m di roccia con γ pari a 27 KN/m^3)
- Φ_b = 33° (corrispondente al minimo angolo d'attrito di base dei calcari – da letteratura)
- JRC = 5 per ST e 13 per i giunti K (corrispondente ai minimi rilevati dalla stazione geomeccanica – scelta cautelativa)
- JCS = 32 MPa (corrispondente al minimo rilevato dalle stazioni geomeccaniche – scelta cautelativa)

L'angolo così calcolato risulta pari a 45.98° per la stratificazione e 66.76 per le discontinuità secondarie K. Infine è stato applicato il coefficiente di sicurezza previsto per le verifiche di stabilità (vedi capitolo 9.1) ottenendo quindi i valori pari a **ST=39.62° e K=61.77.**

9.3 Supporti

Le analisi hanno verificato i supporti previsti quale rivestimento di prima fase per la tratta in allargo della finestra e per il camerone, in particolare:

- Finestra - Sezione minima (ANALISI F-A): N.19/20 chiodi tipo autoperforanti Dywidag lunghezza ≥ 6.00 passo = 1.50m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 280 KN
- Finestra - Sezione massia (ANALISI F-B): N.36/37 chiodi tipo autoperforanti Dywidag lunghezza ≥ 10.00 passo = 1.50m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 280 KN
- Camerone: chiodi tipo autoperforanti Dywidag lunghezza 10.00 m passo variabile compreso tra 1.00 m e 2.00 m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 280 KN

In tutti i casi è prevista anche l'applicazione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato di spessore pari a 35.00 cm (10.00 cm di protezione + 25.00 cm di completamento), C 28/35.

Nelle figure seguenti si riportano i supporti analizzati nelle analisi eseguite.

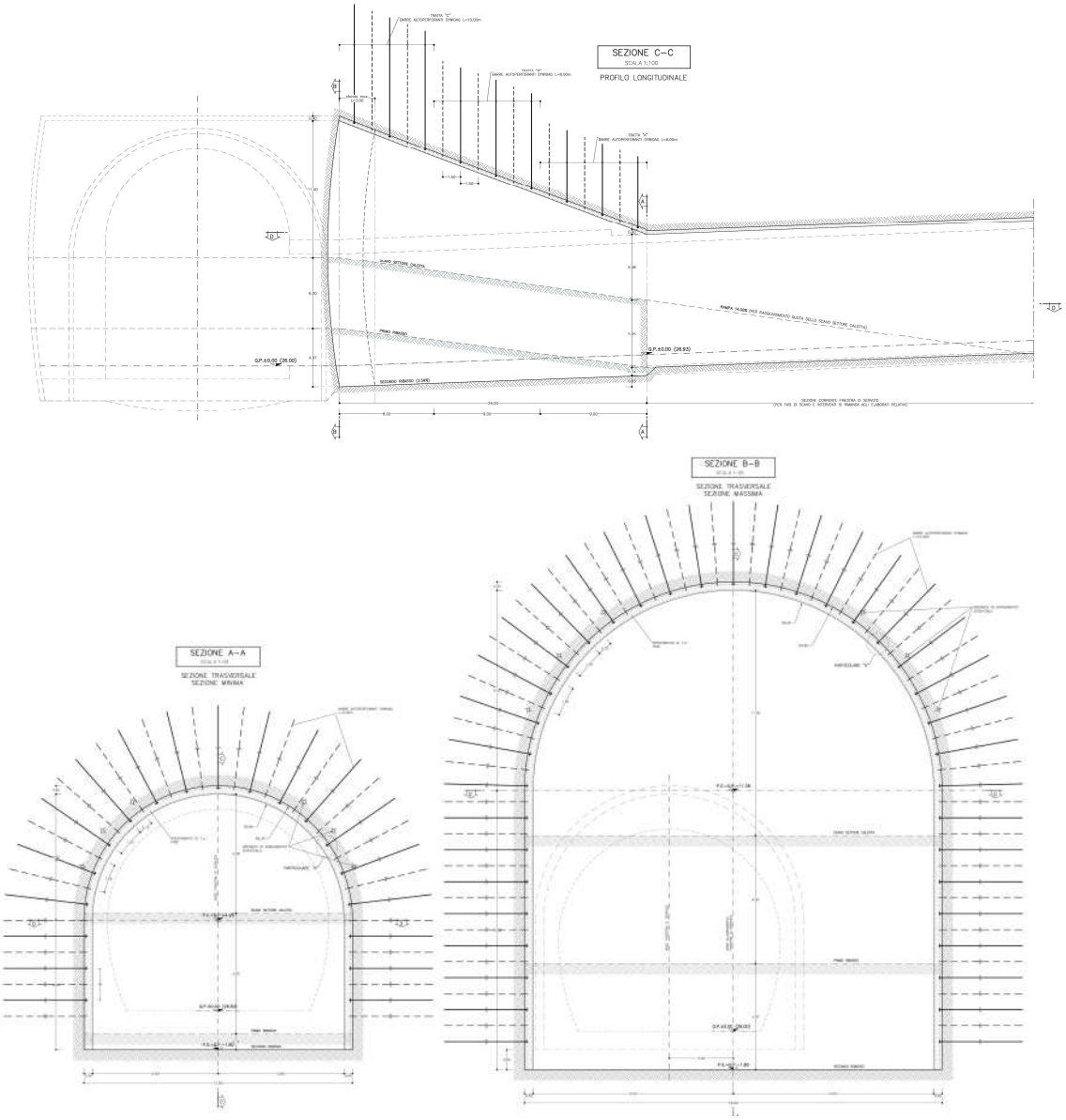
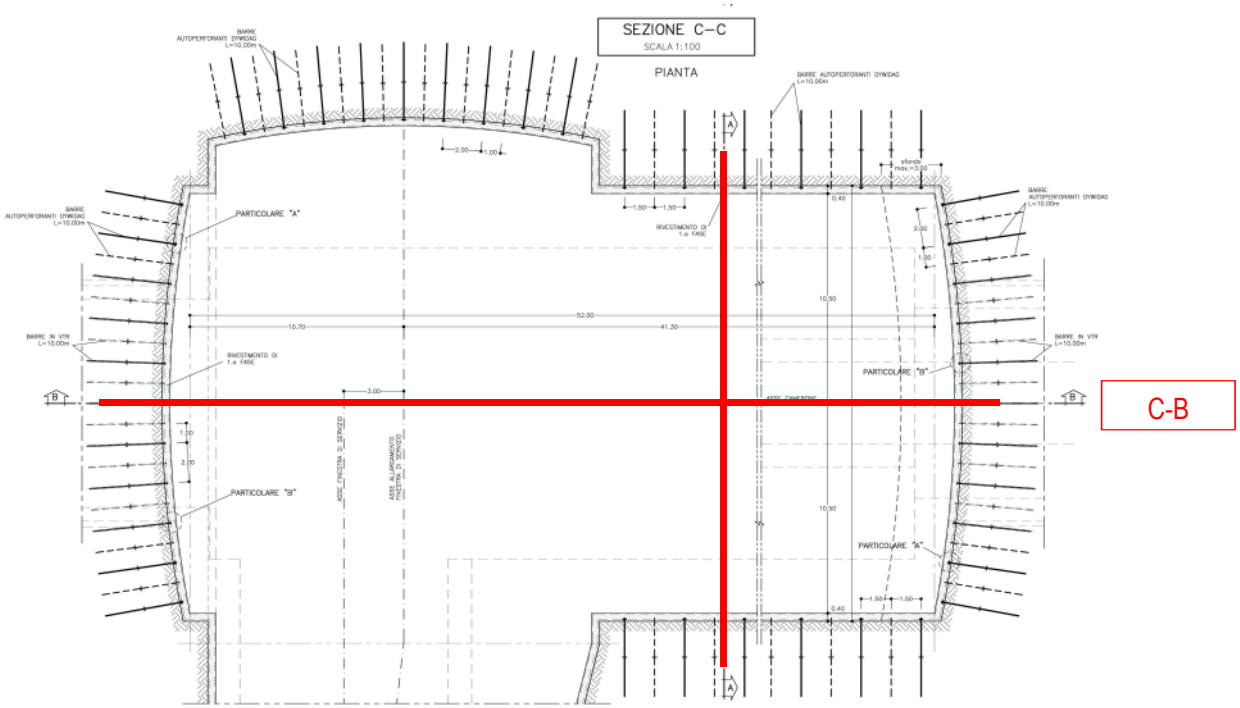
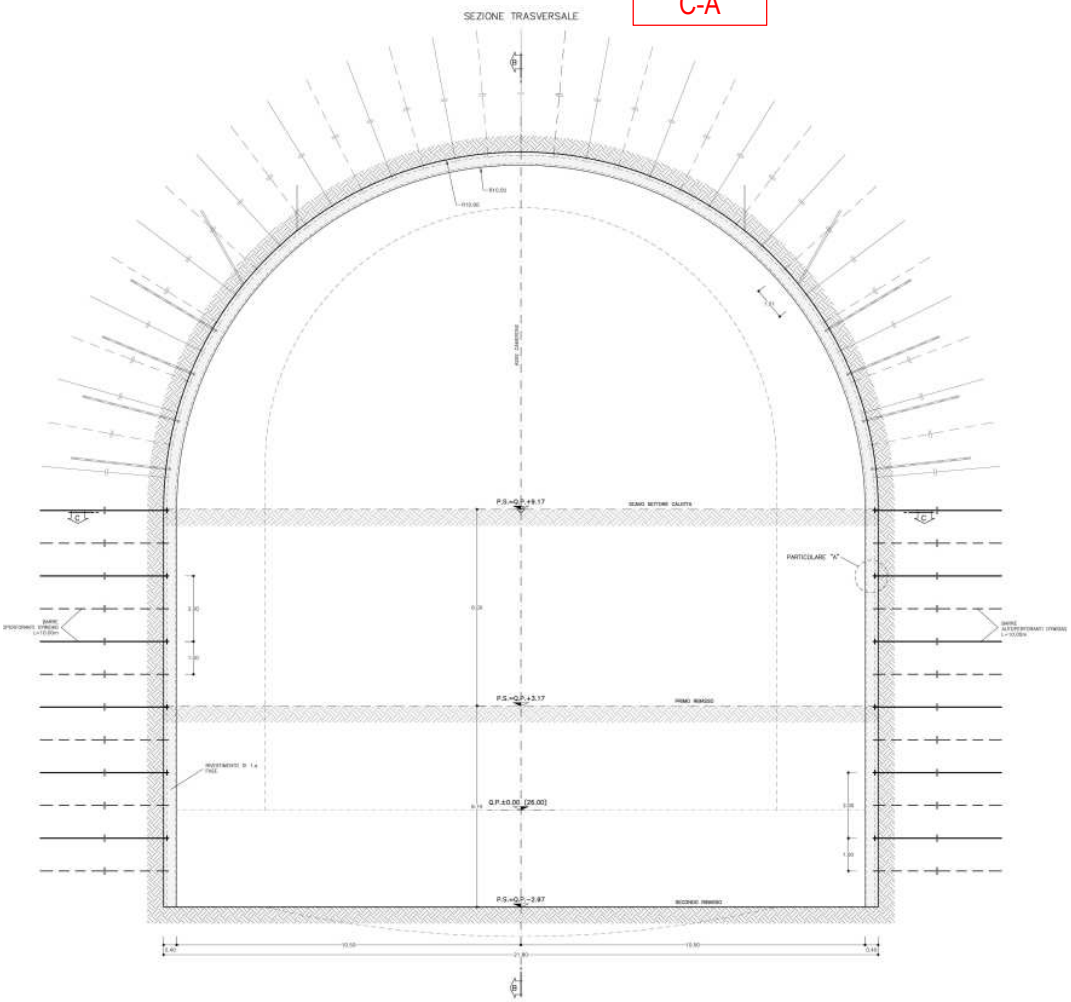


Figura 76 – Sezioni in allargo Finestra


SEZIONE C–C
SCALA 1:100
PIANTA
PARTICOLARE "A"
PARTICOLARE "B"
C-B
C-A


SEZIONE TRASVERSALE

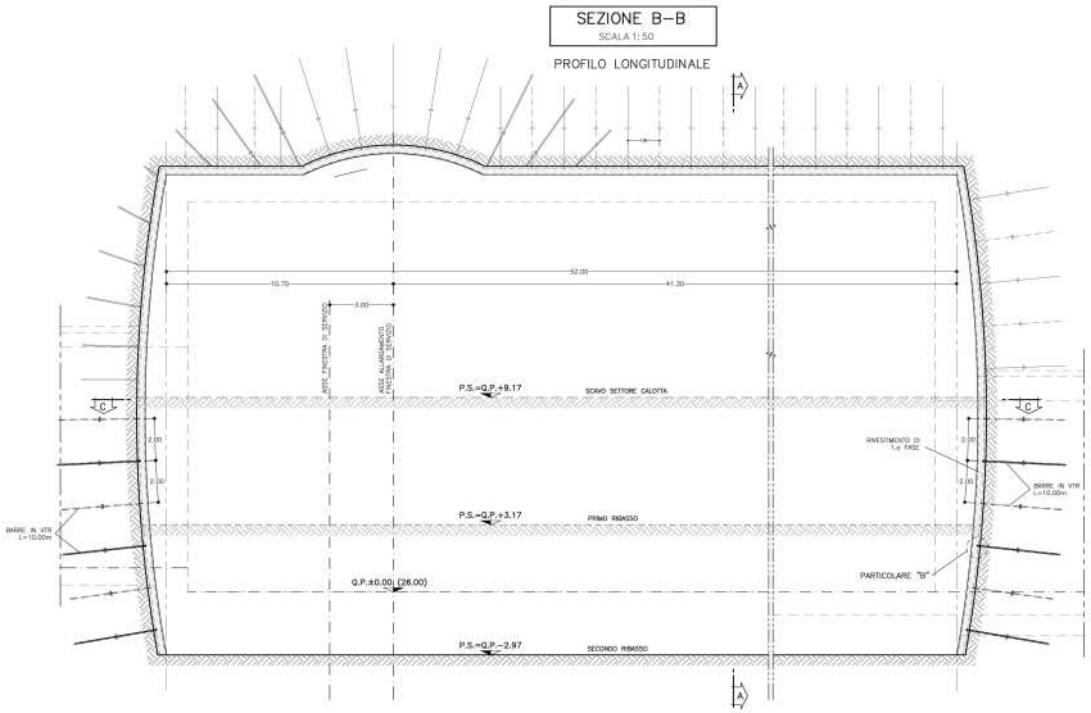


Figura 77 – Sezione carmerone

9.3.1 Bulloni

Considerando la tipologia di bulloni utilizzati, ossia bulloni autoperforanti tipo Dywidag R32S, la resistenza a trazione risulta pari a::

Fyk = 280.00 / 1.15 = **243.48 KN**

Considerando il diametro minimo della perforazione 51 mm, ed una resistenza di aderenza pari a 0.60 MPa (scelta cautelativa), la resistenza allo sfilamento risulta pari a:

F/L = 96,13 KN/m

È stata considerata anche la presenza della piastra prevista in progetto, che offre una resistenza pari a

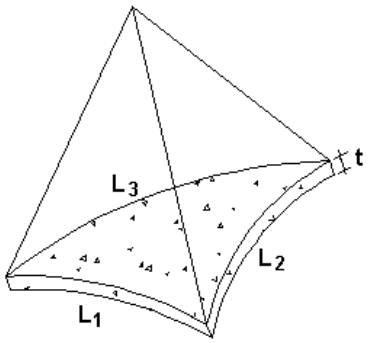
$\mathbf{F_{piastra}}$ = 170 KN / 1.15 = **147,83 KN**

9.3.2 Spritz Beton

È previsto anche l'impiego di uno strato di spritz beton armato con fibre metallica di spessore complessivo pari a 35.00 cm, costituito da un rimo strato di 10.00 cm di spritz di protezione da applicare immediatamente dopo il disgaggio sulle pareti fresche di scavo (fronte e contorno), più uno strato strutturale di 25.00 cm da applicare dopo l'installazione dei chiodi sul contorno della galleria. Lo spritz sarà caratterizzato da una resistenza pari a C28/35, ed un contenuto di fibre metalliche non inferiore a 30 Kg/m^3. Non è stato invece considerato lo strato di regolarizzazione pari a 5 cm.

Nelle verifiche di stabilità il contributo dello spritz beton viene considerato come resistenza al taglio diretto prodotto dal perimetro della faccia esposta del cuneo instabile per lo spessore dello strato di spritz applicato:

$$Fspritz = (L1+L2+L3) \cdot t \cdot \tau$$



Per valutare la resistenza al taglio dello spritz beton, in assenza di prove dirette di laboratorio, vi sono disponibili numerose correlazioni empiriche, tra le quali la più diffusa è:

$$\tau = 0.2 \cdot \sqrt{Rck} = 1.18 MPa$$

Nelle verifiche di stabilità è stato considerato cautelativamente uno **spessore di 8.75 cm sul contorno**, pari ad un quarto dello spessore previsto in progetto, per tenere conto di eventuali imperfezioni nell'applicazione dello spritz, ed una **τ pari a 1.00 MPa.**

Sui fronti di scavo, per la verifica dei cunei instabili, è stato considerato uno spessore pari a metà di quello previsto, **pari a 5.00 cm.**

9.4 Analisi 1 – Sezione in allargo Finestra

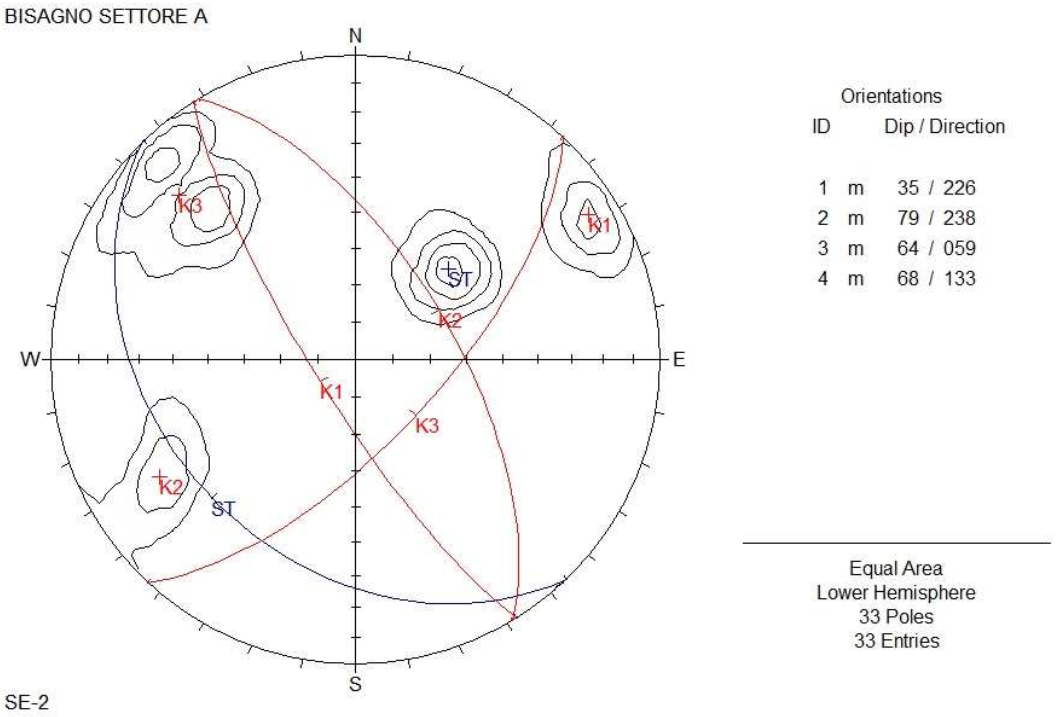
Si riportano di seguito i dettagli ed i risultati delle analisi svolte per la tratta in allargamento della finestra, già sintetizzate nella premessa nella tabella di figura **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

9.4.1 Analisi F-A

L'analisi F-A è stata condotta in corrispondenza della sezione minima della finestra. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
F-A	Tipo A	Finestra - 0+368.30	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

Nella figura seguente si riporta la proiezione stereografica delle giature rilevate nello stop geostrutturale preso in considerazione:



Nella seguente tabella si riporta la sintesi dei risultati ottenuti, per i cui dettagli si rimanda agli output di calcolo riportati in allegato.

	ANALISI F-A							
		Factor of Safety	Wedge Volume	Wedge Weight	Resisting Force	Driving Force	Apex Height	NOTE
1 - 2 - 3	Upper Left wedge [4]	14.819	1048.284 m3	27.780 MN	68.3782 MN	4.6143 MN	78.43 m	
	Lower Right wedge [5]	stable	837.001 m3	22.181 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	72.40 m	
	Roof wedge [6]	8273.932	0.000 m3	0.000 MN	0.1839 MN	0.0000 MN	0.01 m	
	Near End wedge [9]	16.176	777.511 m3	20.604 MN	55.3860 MN	3.4239 MN	38.01 m	
	Far End wedge [10]	stable	528.384 m3	14.002 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	33.42 m	
	Far End wedge [10]	stable	4.331 m3	0.115 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.97 m	
1 - 2 - 4	Lower Right wedge [4]	stable	60.434 m3	1.602 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	6.21 m	
	Upper Left wedge [5]	5.24	155.257 m3	4.114 MN	19.7857 MN	3.7756 MN	10.05 m	
	Roof wedge [6]	242.104	0.031 m3	0.001 MN	0.4743 MN	0.0020 MN	0.22 m	
	Upper Right wedge [8]	254.503	0.017 m3	0.000 MN	0.3249 MN	0.0013 MN	0.16 m	
	Near End wedge [9]	15.253	4.825 m3	0.128 MN	2.0945 MN	0.1373 MN	0.93 m	
	Far End wedge [10]	18.215	4.825 m3	0.128 MN	1.5473 MN	0.0849 MN	0.93 m	
1 - 3 - 4	Floor wedge [2]	stable	9.381 m3	0.249 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	1.51 m	
	Upper Right wedge [6]	65.049	0.465 m3	0.012 MN	1.0442 MN	0.0161 MN	0.65 m	
	Upper Left wedge [7]	12.883	17.514 m3	0.464 MN	6.0344 MN	0.4684 MN	3.48 m	
	Roof wedge [8]	185.571	0.065 m3	0.002 MN	0.6770 MN	0.0036 MN	0.26 m	
	Near End wedge [9]	4.404	45.036 m3	1.193 MN	4.7851 MN	1.0865 MN	3.30 m	
	Far End wedge [10]	2.878	63.122 m3	1.673 MN	2.8717 MN	0.9977 MN	3.69 m	
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	6513.67	0.080 m3	0.002 MN	1.4955 MN	0.0002 MN	0.23 m	
	Upper Right wedge [6]	587.33	0.014 m3	0.000 MN	0.5416 MN	0.0009 MN	0.17 m	
	Upper Left wedge [7]	24.361	7.048 m3	0.187 MN	4.6922 MN	0.1926 MN	2.91 m	
	Upper Right wedge [8]	45.236	0.765 m3	0.020 MN	1.1677 MN	0.0258 MN	1.07 m	
	Near End wedge [9]	13.224	5.425 m3	0.144 MN	2.0112 MN	0.1521 MN	1.04 m	
	Far End wedge [10]	stable	5.425 m3	0.144 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	1.04 m	

Dalla tabella appare evidente che tutti i cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1.

9.4.2 Analisi F-B

L'analisi F-B è stata condotta in corrispondenza della sezione massima della tratta in allargo della finestra. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
F-B	Tipo C	Finestra - 0+394.35	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

Per questa analisi sono stati utilizzati i parametri geostrutturali del medesimo rilievo (SE-2) utilizzato per l'analisi precedente, alla quale si rimanda per la relativa proiezione stereografica.

Nella seguente tabella si riporta la sintesi dei risultati ottenuti, per i cui dettagli si rimanda agli output di calcolo riportati in allegato.

	ANALISI F-B							
		Factor of Safety	Wedge Volume	Wedge Weight	Resisting Force	Driving Force	Apex Height	NOTE
1 - 2 - 3	Upper Left wedge [4]	14.819	6574.383 m3	174.221 MN	428.1546 MN	28.8928 MN	144.69 m	
	Lower Right wedge [5]	stable	5440.198 m3	144.165 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	135.35 m	
	Roof wedge [6]	5198.192	0.000 m3	0.000 MN	0.2860 MN	0.0001 MN	0.02 m	
	Near End wedge [9]	15.324	3428.625 m3	90.859 MN	231.0259 MN	15.0757 MN	62.33 m	
	Far End wedge [10]	stable	2657.225 m3	70.416 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	57.25 m	
	Far End wedge [10]	stable	5.425 m3	0.144 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	1.04 m	
1 - 2 - 4	Lower Right wedge [4]	stable	382.565 m3	10.138 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	11.59 m	
	Upper Left wedge [5]	2.993	868.565 m3	23.017 MN	62.4398 MN	20.8641 MN	17.54 m	
	Roof wedge [6]	126.015	0.118 m3	0.003 MN	0.7377 MN	0.0059 MN	0.34 m	
	Upper Right wedge [8]	153.099	0.063 m3	0.002 MN	0.5639 MN	0.0037 MN	0.25 m	
	Near End wedge [9]	5.415	28.766 m3	0.762 MN	4.1616 MN	0.7685 MN	1.68 m	
	Far End wedge [10]	6.683	28.766 m3	0.762 MN	3.1774 MN	0.4754 MN	1.68 m	
1 - 3 - 4	Floor wedge [2]	stable	36.179 m3	0.959 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	2.37 m	
	Upper Right wedge [6]	29.469	1.752 m3	0.046 MN	1.5836 MN	0.0537 MN	1.01 m	
	Upper Left wedge [7]	6.969	69.483 m3	1.841 MN	12.5891 MN	1.8066 MN	5.49 m	
	Roof wedge [8]	119.276	0.245 m3	0.006 MN	1.3288 MN	0.0111 MN	0.40 m	
	Near End wedge [9]	2.333	212.561 m3	5.633 MN	11.7557 MN	5.0397 MN	5.54 m	
	Far End wedge [10]	1.878	237.536 m3	6.295 MN	6.9545 MN	3.7030 MN	5.75 m	
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	1779.442	0.611 m3	0.016 MN	3.0993 MN	0.0017 MN	0.44 m	
	Upper Right wedge [6]	304.036	0.053 m3	0.001 MN	0.8145 MN	0.0027 MN	0.26 m	
	Upper Left wedge [7]	13.196	28.526 m3	0.756 MN	9.9496 MN	0.7540 MN	4.60 m	
	Roof wedge [8]	22.265	2.878 m3	0.076 MN	1.9969 MN	0.0897 MN	1.67 m	
	Near End wedge [9]	4.587	34.243 m3	0.907 MN	4.1540 MN	0.9056 MN	1.93 m	
	Far End wedge [10]	stable	33.619 m3	0.891 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	1.92 m	

Dalla tabella appare evidente che tutti i cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1.

9.5 Analisi 2 - Camerone

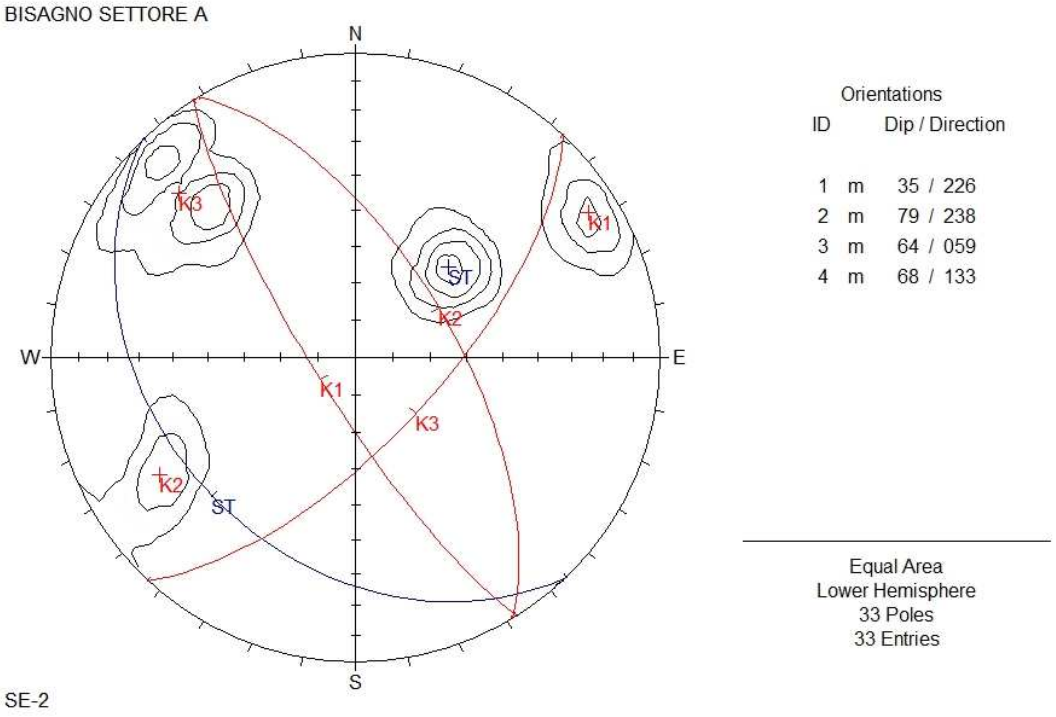
Si riportano di seguito i dettagli ed i risultati delle analisi svolte per il camerone di innesto con la finestra, già sintetizzate nella premessa nella tabella di figura **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

9.5.1 Analisi C-A

L'analisi C-A è stata condotta in corrispondenza della sezione trasversale all'asse della galleria principale (vedi figure precedenti). Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
C-A	A-A	Camerone - A	356/0.14	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

Nella figura seguente si riporta la proiezione stereografica delle giaciture rilevate nello stop geostrutturale preso in considerazione CS-2:



Nella seguente tabella si riporta la sintesi dei risultati ottenuti, per i cui dettagli si rimanda agli output di calcolo riportati in allegato.

	ANALISI C-A							
		Factor of Safety	Wedge Volume	Wedge Weight	Resisting Force	Driving Force	Apex Height	NOTE
1 - 2 - 3	Upper Left wedge [4]	15.858	5655.789 m3	149.878 MN	394.8684 MN	24.9010 MN	74.13 m	
	Lower Right wedge [5]	stable	3842.926 m3	101.838 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	64.27 m	
	Roof wedge [6]	2177.85	0.002 m3	0.000 MN	0.6511 MN	0.0003 MN	0.05 m	
	Roof wedge [8]	1644.304	0.003 m3	0.000 MN	0.5771 MN	0.0004 MN	0.07 m	
	Near End wedge [9]	stable	6353.677 m3	168.372 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	142.83 m	
	Far End wedge [10]	14.845	6713.027 m3	177.895 MN	437.5804 MN	29.4776 MN	145.47 m	
1 - 2 - 4	Lower Right wedge [2]	71.266	1.755 m3	0.047 MN	2.7742 MN	0.0389 MN	0.56 m	
	Floor wedge [4]	stable	267.372 m3	7.085 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	6.46 m	
	Roof wedge [5]	9.502	18.134 m3	0.481 MN	4.5103 MN	0.4746 MN	2.67 m	
	Upper Right wedge [6]	23.529	11.003 m3	0.292 MN	7.6575 MN	0.3255 MN	2.11 m	
	Upper Left wedge [7]	32.597	5.693 m3	0.151 MN	5.9253 MN	0.1818 MN	1.09 m	
	Near End wedge [9]	stable	612.119 m3	16.221 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	12.80 m	
1 - 3 - 4	Floor wedge [2]	stable	197.908 m3	5.245 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	4.37 m	
	Lower Right wedge [4]	4.672	150.297 m3	3.983 MN	11.2454 MN	2.4071 MN	4.89 m	
	Lower Left wedge [5]	5.841	180.835 m3	4.792 MN	25.6358 MN	4.3886 MN	5.19 m	
	Roof wedge [7]	12.617	13.397 m3	0.355 MN	4.7372 MN	0.3755 MN	2.05 m	
	Upper Right wedge [8]	24.47	2.845 m3	0.075 MN	2.3745 MN	0.0970 MN	1.00 m	
	Near End wedge [9]	stable	2.081 m3	0.055 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.59 m	
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	311.885	11.681 m3	0.310 MN	4.6080 MN	0.0148 MN	1.49 m	
	Upper Right wedge [4]	259.159	0.137 m3	0.004 MN	1.8119 MN	0.0070 MN	0.29 m	

	ANALISI C-A							
		Factor of Safety	Wedge Volume	Wedge Weight	Resisting Force	Driving Force	Apex Height	NOTE
	Upper Left wedge [7]	5.227	98.656 m3	2.614 MN	13.4098 MN	2.5654 MN	5.87 m	
	Roof wedge [8]	20.963	4.743 m3	0.126 MN	3.1391 MN	0.1497 MN	1.53 m	
	Near End wedge [9]	stable	2.020 m3	0.054 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.59 m	
	Far End wedge [10]	61.802	2.030 m3	0.054 MN	3.8438 MN	0.0622 MN	0.60 m	

Dalla tabella appare evidente che tutti i cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1.

9.5.2 *Analisi C-B*

L'analisi C-B è stata condotta in corrispondenza della sezione longitudinale rispetto al camerone ed all'asse della galleria principale. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
C-B	B-B	Camerone - B	086/02	SE-2	226	35	238	79	059	64	133	68

Per questa analisi sono stati utilizzati i parametri geostrutturali del medesimo rilievo (SE-2) utilizzato per l'analisi precedente, alla quale si rimanda per la relativa proiezione stereografica.

Nella seguente tabella si riporta la sintesi dei risultati ottenuti, per i cui dettagli si rimanda agli output di calcolo riportati in allegato.

	ANALISI C-B							
		Factor of Safety	Wedge Volume	Wedge Weight	Resisting Force	Driving Force	Apex Height	NOTE
1 - 2 - 3	Upper Left wedge [4]	16.288	3322.084 m3	88.035 MN	238.3606 MN	14.6343 MN	62.05 m	
	Lower Right wedge [5]	stable	3258.630 m3	86.354 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	61.60 m	
	Near End wedge [9]	stable	7423.358 m3	196.719 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	150.43 m	
	Far End wedge [10]	14.842	7658.170 m3	202.942 MN	499.0938 MN	33.6263 MN	152.00 m	
1 - 2 - 4	Lower Right wedge [2]	31.927	6.162 m3	0.163 MN	3.6877 MN	0.1155 MN	1.20 m	
	Lower Left wedge [3]	1375.783	0.495 m3	0.013 MN	4.7672 MN	0.0035 MN	0.48 m	
	Floor wedge [4]	stable	84.333 m3	2.235 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	4.40 m	
	Upper Left wedge [5]	4.506	57.102 m3	1.513 MN	6.5125 MN	1.4451 MN	3.94 m	
	Upper Right wedge [6]	135.17	0.629 m3	0.017 MN	3.4113 MN	0.0252 MN	0.53 m	
	Upper Left wedge [7]	23.826	6.923 m3	0.183 MN	4.9564 MN	0.2080 MN	1.26 m	
	Near End wedge [9]	stable	698.301 m3	18.505 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	13.38 m	
	Far End wedge [10]	1.866	614.555 m3	16.286 MN	27.3923 MN	14.6807 MN	12.82 m	
1 - 3 - 4	Floor wedge [2]	stable	59.659 m3	1.581 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	2.93 m	
	Upper Right wedge [4]	3.416	288.395 m3	7.642 MN	15.6420 MN	4.5785 MN	5.96 m	
	Lower Left wedge [5]	4.3	285.336 m3	7.561 MN	29.5993 MN	6.8836 MN	5.95 m	
	Upper Left wedge [7]	7.158	36.208 m3	0.960 MN	7.0187 MN	0.9805 MN	2.93 m	
	Near End wedge [9]	stable	2.446 m3	0.065 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.63 m	
	Far End wedge [10]	55.064	2.446 m3	0.065 MN	4.0847 MN	0.0742 MN	0.63 m	
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	stable	1.148 m3	0.030 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.66 m	
	Upper Right wedge [4]	157.693	0.485 m3	0.013 MN	3.3048 MN	0.0210 MN	0.42 m	
	Lower Left wedge [5]	227.886	0.388 m3	0.010 MN	3.5044 MN	0.0154 MN	0.39 m	
	Upper Left wedge [7]	98.216	1.148 m3	0.030 MN	3.8525 MN	0.0392 MN	0.65 m	
	Near End wedge [9]	stable	2.354 m3	0.062 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.63 m	
	Far End wedge [10]	56.587	2.354 m3	0.062 MN	4.0428 MN	0.0714 MN	0.63 m	

Dalla tabella appare evidente che tutti i cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1.

10 Conclusioni

Nella presente relazione sono state condotte le analisi numeriche finalizzate alla verifica degli scvi e dei rivestimenti provvisori e definitivi del camerone propedeutico al montaggio della fresa per lo scavo della galleria scolmatrice del Bisagno.

Le analisi hanno mostrato spostamenti contenuti dell'ammasso associate a sollecitazioni negli interventi di sostegno provvisori entro i limiti da normativa e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Anche in corrispondenza dei rivestimenti definitivi, soggetti al solo carico idraulico, le verifiche risultano soddisfatte.

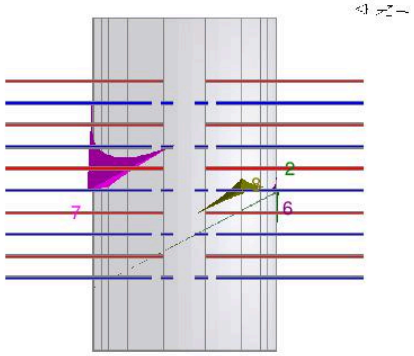
11 Allegati – Analisi dei tetraedri instabili

11.1 ALLEGATO 1 - Analisi 1 – Sezione in allargo Finestra

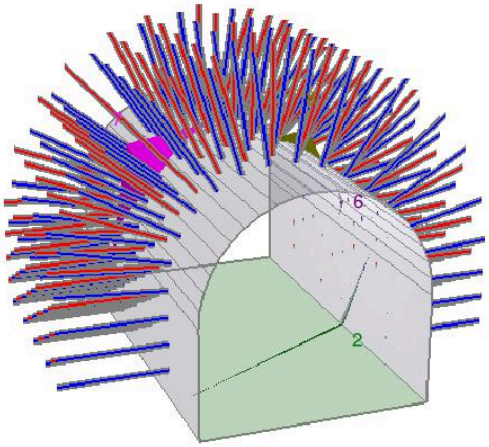
Fornito su supporto informatico

11.2 ALLEGATO 2 - Analisi 2 – Camerone

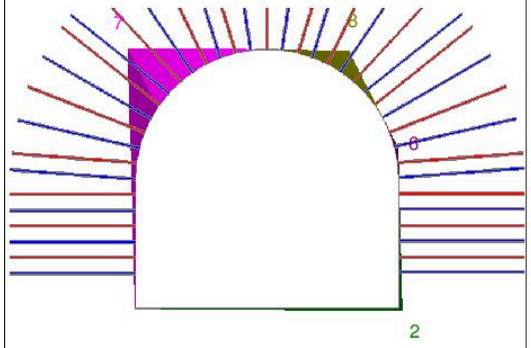
Fornito su supporto informatico



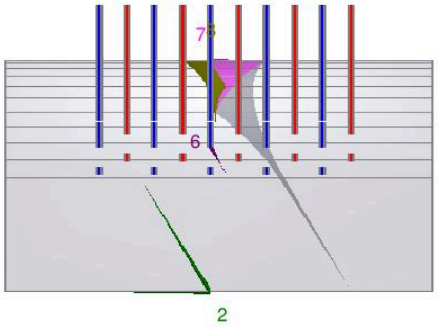
Top



Perspective



Front



Side

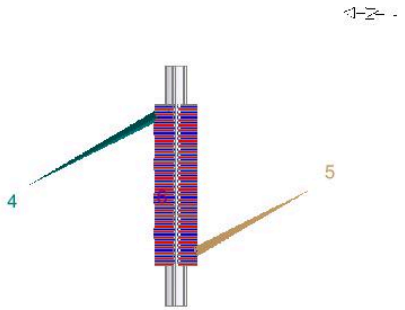
Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 6513.670
- Wedge Volume: 0.080 m3
- Wedge Weight: 0.002 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.4955 MN
- Driving Force: 0.0002 MN
- Apex Height: 0.23 m

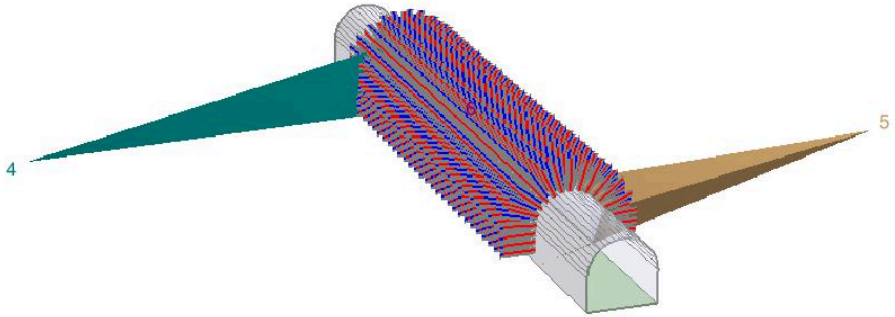
Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 587.330
- Wedge Volume: 0.014 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.5416 MN
- Driving Force: 0.0009 MN
- Apex Height: 0.17 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 24.361
- Wedge Volume: 7.048 m3
- Wedge Weight: 0.187 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.6922 MN
- Driving Force: 0.1926 MN
- Apex Height: 2.91 m

Upper Right wedge [8]
- Factor of Safety: 45.236
- Wedge Volume: 0.765 m3
- Wedge Weight: 0.020 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.1677 MN
- Driving Force: 0.0258 MN
- Apex Height: 1.07 m



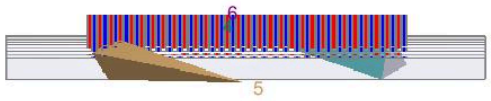
Top



Perspective



Front



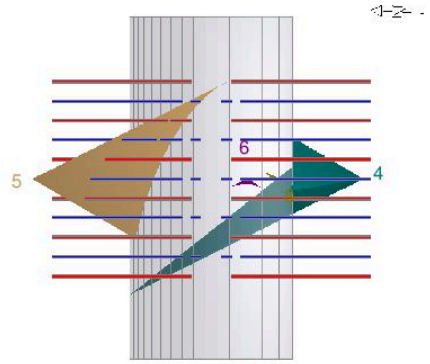
Side

Wedge Information

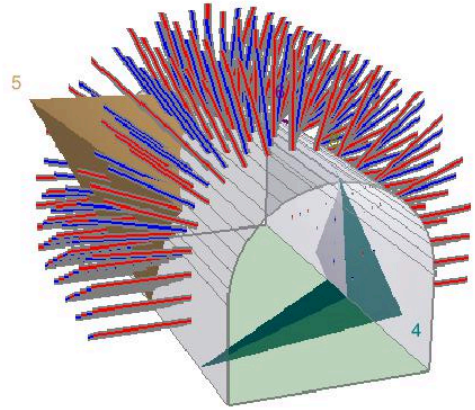
Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 14.819
- Wedge Volume: 1048.284 m3
- Wedge Weight: 27.780 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 68.3782 MN
- Driving Force: 4.6143 MN
- Apex Height: 78.43 m

Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 837.001 m3
- Wedge Weight: 22.181 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 72.40 m

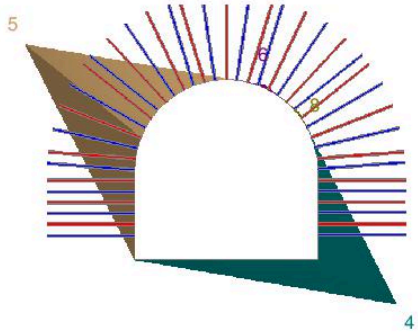
Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 8273.932
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1839 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.01 m



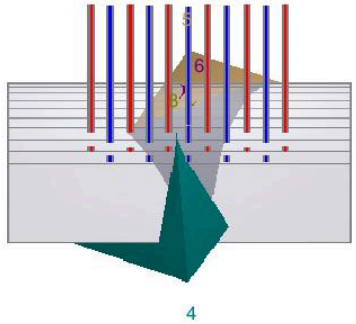
Top



Perspective



Front



Side

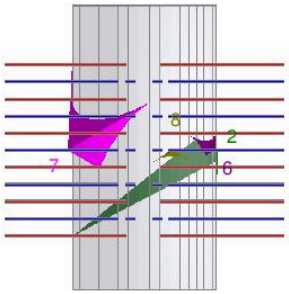
Wedge Information

Lower Right wedge [4]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 60.434 m3
- Wedge Weight: 1.602 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 6.21 m

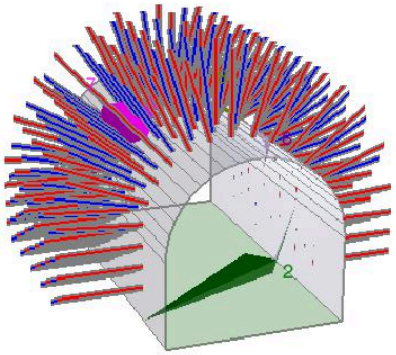
Upper Left wedge [5]
- Factor of Safety: 5.240
- Wedge Volume: 155.257 m3
- Wedge Weight: 4.114 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 19.7857 MN
- Driving Force: 3.7756 MN
- Apex Height: 10.05 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 242.104
- Wedge Volume: 0.031 m3
- Wedge Weight: 0.001 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.4743 MN
- Driving Force: 0.0020 MN
- Apex Height: 0.22 m

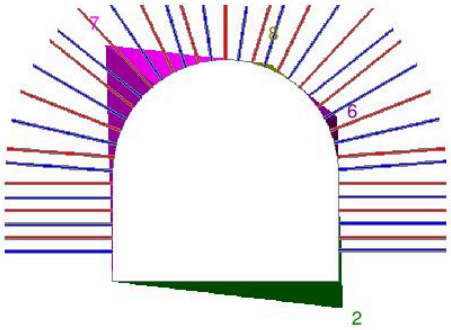
Upper Right wedge [8]
- Factor of Safety: 254.503
- Wedge Volume: 0.017 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.3249 MN
- Driving Force: 0.0013 MN
- Apex Height: 0.16 m



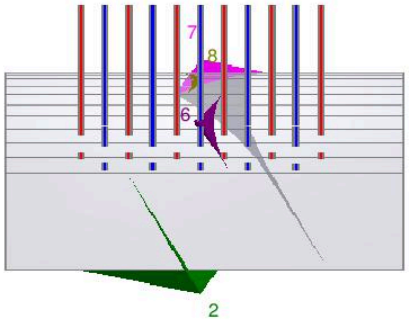
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 9.381 m3
- Wedge Weight: 0.249 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 1.51 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 65.049
- Wedge Volume: 0.465 m3
- Wedge Weight: 0.012 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.0442 MN
- Driving Force: 0.0161 MN
- Apex Height: 0.65 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 12.883
- Wedge Volume: 17.514 m3
- Wedge Weight: 0.464 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 6.0344 MN
- Driving Force: 0.4684 MN
- Apex Height: 3.48 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 185.571
- Wedge Volume: 0.065 m3
- Wedge Weight: 0.002 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.6770 MN
- Driving Force: 0.0036 MN
- Apex Height: 0.26 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-A_1-2-3.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 14.819
Wedge Volume: 1048.284 m3
Wedge Weight: 27.780 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 68.3782 MN
Driving Force: 4.6143 MN
Apex Height: 78.43 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 837.001 m3
Wedge Weight: 22.181 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 72.40 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 8273.932
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1839 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.01 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 16.176

Wedge Volume: 777.511 m3
Wedge Weight: 20.604 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 55.3860 MN
Driving Force: 3.4239 MN
Apex Height: 38.01 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 528.384 m3
Wedge Weight: 14.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 33.42 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-A_1-2-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [4]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 60.434 m3
Wedge Weight: 1.602 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 6.21 m

Upper Left wedge [5]
Factor of Safety: 5.240
Wedge Volume: 155.257 m3
Wedge Weight: 4.114 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 19.7857 MN
Driving Force: 3.7756 MN
Apex Height: 10.05 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 242.104
Wedge Volume: 0.031 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.4743 MN
Driving Force: 0.0020 MN
Apex Height: 0.22 m

Upper Right wedge [8]
Factor of Safety: 254.503

Wedge Volume: 0.017 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.3249 MN
Driving Force: 0.0013 MN
Apex Height: 0.16 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 15.253
Wedge Volume: 4.825 m3
Wedge Weight: 0.128 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.0945 MN
Driving Force: 0.1373 MN
Apex Height: 0.93 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 18.215
Wedge Volume: 4.825 m3
Wedge Weight: 0.128 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.5473 MN
Driving Force: 0.0849 MN
Apex Height: 0.93 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-A_1-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 9.381 m3
Wedge Weight: 0.249 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 1.51 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 65.049
Wedge Volume: 0.465 m3
Wedge Weight: 0.012 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.0442 MN
Driving Force: 0.0161 MN
Apex Height: 0.65 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 12.883
Wedge Volume: 17.514 m3
Wedge Weight: 0.464 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 6.0344 MN
Driving Force: 0.4684 MN
Apex Height: 3.48 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 185.571

Wedge Volume: 0.065 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.6770 MN
Driving Force: 0.0036 MN
Apex Height: 0.26 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 4.404
Wedge Volume: 45.036 m3
Wedge Weight: 1.193 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.7851 MN
Driving Force: 1.0865 MN
Apex Height: 3.30 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 2.878
Wedge Volume: 63.122 m3
Wedge Weight: 1.673 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.8717 MN
Driving Force: 0.9977 MN
Apex Height: 3.69 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-A_2-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 6.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 6513.670
Wedge Volume: 0.080 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.4955 MN
Driving Force: 0.0002 MN
Apex Height: 0.23 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 587.330
Wedge Volume: 0.014 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.5416 MN
Driving Force: 0.0009 MN
Apex Height: 0.17 m

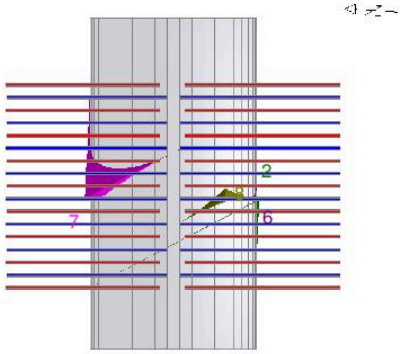
Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 24.361
Wedge Volume: 7.048 m3
Wedge Weight: 0.187 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.6922 MN
Driving Force: 0.1926 MN
Apex Height: 2.91 m

Upper Right wedge [8]
Factor of Safety: 45.236

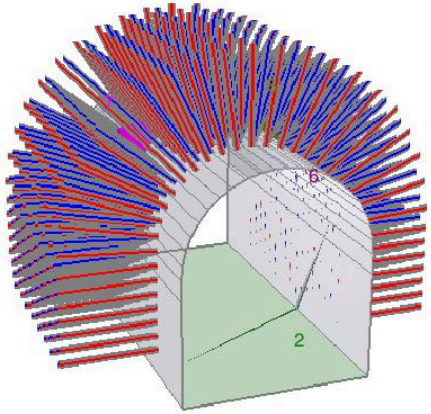
Wedge Volume: 0.765 m3
Wedge Weight: 0.020 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.1677 MN
Driving Force: 0.0258 MN
Apex Height: 1.07 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 13.224
Wedge Volume: 5.425 m3
Wedge Weight: 0.144 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.0112 MN
Driving Force: 0.1521 MN
Apex Height: 1.04 m

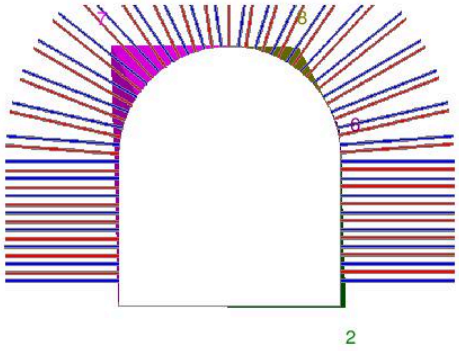
Far End wedge [10]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 5.425 m3
Wedge Weight: 0.144 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 1.04 m



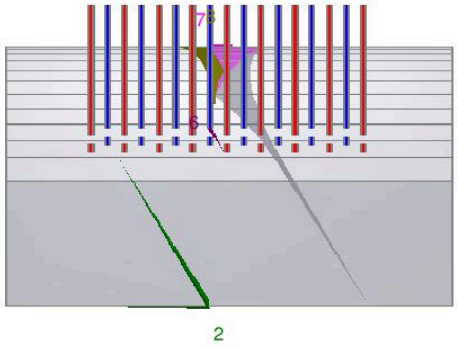
Top



Perspective



Front



Side

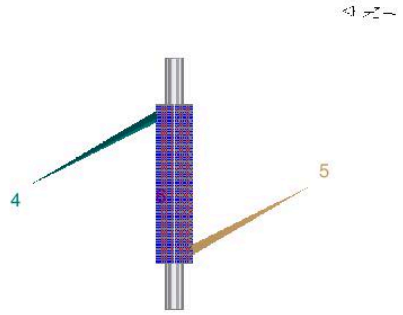
Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 1779.442
- Wedge Volume: 0.611 m3
- Wedge Weight: 0.016 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.0993 MN
- Driving Force: 0.0017 MN
- Apex Height: 0.44 m

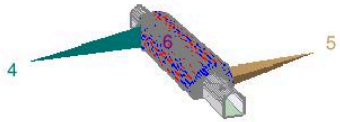
Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 304.036
- Wedge Volume: 0.053 m3
- Wedge Weight: 0.001 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.8145 MN
- Driving Force: 0.0027 MN
- Apex Height: 0.26 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 13.196
- Wedge Volume: 28.526 m3
- Wedge Weight: 0.756 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 9.9496 MN
- Driving Force: 0.7540 MN
- Apex Height: 4.60 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 22.265
- Wedge Volume: 2.878 m3
- Wedge Weight: 0.076 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.9969 MN
- Driving Force: 0.0897 MN
- Apex Height: 1.67 m



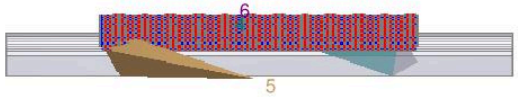
Top



Perspective



Front



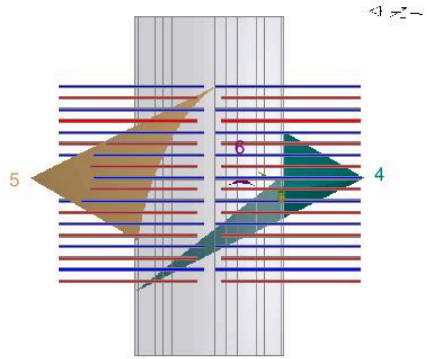
Side

Wedge Information

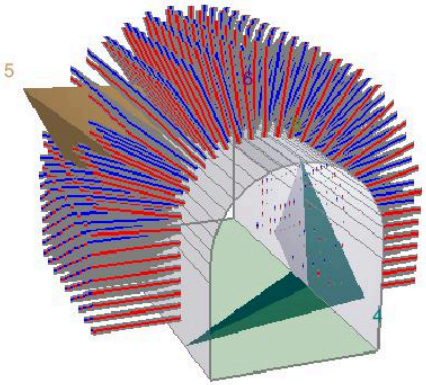
Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 14.819
- Wedge Volume: 6574.383 m3
- Wedge Weight: 174.221 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 428.1546 MN
- Driving Force: 28.8928 MN
- Apex Height: 144.69 m

Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 5440.198 m3
- Wedge Weight: 144.165 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 135.35 m

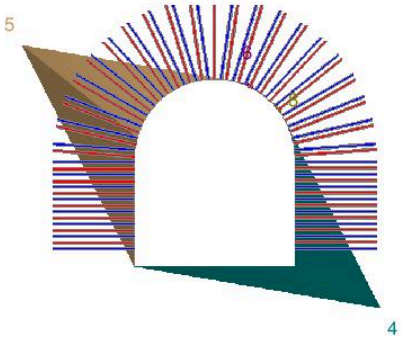
Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 5198.192
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.2860 MN
- Driving Force: 0.0001 MN
- Apex Height: 0.02 m



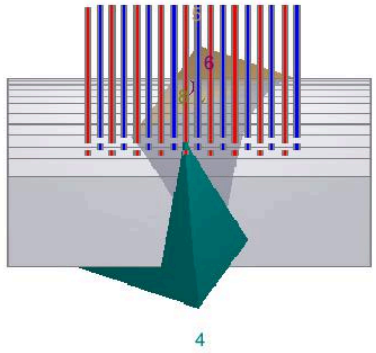
Top



Perspective



Front



Side

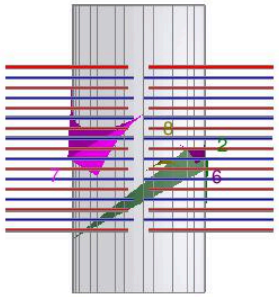
Wedge Information

Lower Right wedge [4]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 382.565 m3
- Wedge Weight: 10.138 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 11.59 m

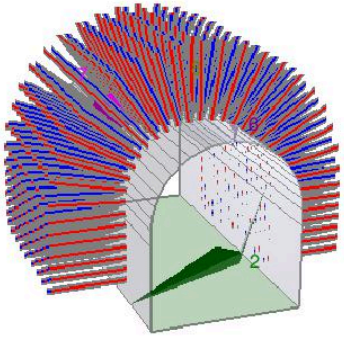
Upper Left wedge [5]
- Factor of Safety: 2.993
- Wedge Volume: 868.565 m3
- Wedge Weight: 23.017 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 62.4398 MN
- Driving Force: 20.8641 MN
- Apex Height: 17.54 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 126.015
- Wedge Volume: 0.118 m3
- Wedge Weight: 0.003 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.7377 MN
- Driving Force: 0.0059 MN
- Apex Height: 0.34 m

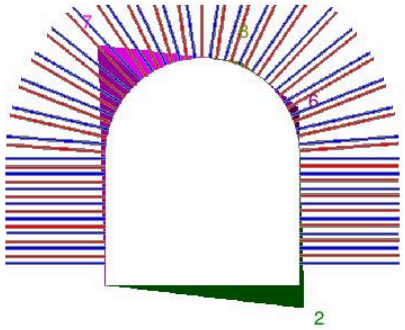
Upper Right wedge [8]
- Factor of Safety: 153.099
- Wedge Volume: 0.063 m3
- Wedge Weight: 0.002 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.5639 MN
- Driving Force: 0.0037 MN
- Apex Height: 0.25 m



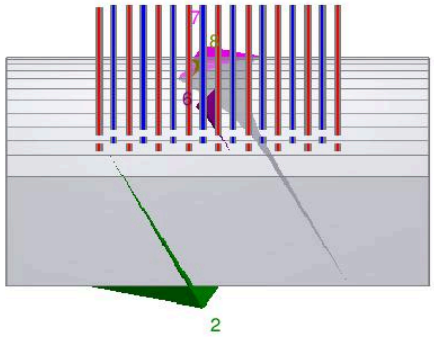
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 36.179 m3
- Wedge Weight: 0.959 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 2.37 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 29.469
- Wedge Volume: 1.752 m3
- Wedge Weight: 0.046 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.5836 MN
- Driving Force: 0.0537 MN
- Apex Height: 1.01 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 6.969
- Wedge Volume: 69.483 m3
- Wedge Weight: 1.841 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 12.5891 MN
- Driving Force: 1.8066 MN
- Apex Height: 5.49 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 119.276
- Wedge Volume: 0.245 m3
- Wedge Weight: 0.006 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.3288 MN
- Driving Force: 0.0111 MN
- Apex Height: 0.40 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-B_1-2-3.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Upper Left wedge [4]

Factor of Safety: 14.819
Wedge Volume: 6574.383 m3
Wedge Weight: 174.221 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 428.1546 MN
Driving Force: 28.8928 MN
Apex Height: 144.69 m

Lower Right wedge [5]

Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 5440.198 m3
Wedge Weight: 144.165 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 135.35 m

Roof wedge [6]

Factor of Safety: 5198.192
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2860 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.02 m

Near End wedge [9]

Factor of Safety: 15.324

Wedge Volume: 3428.625 m3
Wedge Weight: 90.859 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 231.0259 MN
Driving Force: 15.0757 MN
Apex Height: 62.33 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 2657.225 m3
Wedge Weight: 70.416 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 57.25 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-B_1-2-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [4]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 382.565 m3
Wedge Weight: 10.138 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 11.59 m

Upper Left wedge [5]
Factor of Safety: 2.993
Wedge Volume: 868.565 m3
Wedge Weight: 23.017 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 62.4398 MN
Driving Force: 20.8641 MN
Apex Height: 17.54 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 126.015
Wedge Volume: 0.118 m3
Wedge Weight: 0.003 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.7377 MN
Driving Force: 0.0059 MN
Apex Height: 0.34 m

Upper Right wedge [8]
Factor of Safety: 153.099

Wedge Volume: 0.063 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.5639 MN
Driving Force: 0.0037 MN
Apex Height: 0.25 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 5.415
Wedge Volume: 28.766 m3
Wedge Weight: 0.762 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.1616 MN
Driving Force: 0.7685 MN
Apex Height: 1.68 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 6.683
Wedge Volume: 28.766 m3
Wedge Weight: 0.762 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.1774 MN
Driving Force: 0.4754 MN
Apex Height: 1.68 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-B_1-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 36.179 m3
Wedge Weight: 0.959 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.37 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 29.469
Wedge Volume: 1.752 m3
Wedge Weight: 0.046 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.5836 MN
Driving Force: 0.0537 MN
Apex Height: 1.01 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 6.969
Wedge Volume: 69.483 m3
Wedge Weight: 1.841 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 12.5891 MN
Driving Force: 1.8066 MN
Apex Height: 5.49 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 119.276

Wedge Volume: 0.245 m3
Wedge Weight: 0.006 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.3288 MN
Driving Force: 0.0111 MN
Apex Height: 0.40 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 2.333
Wedge Volume: 212.561 m3
Wedge Weight: 5.633 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 11.7557 MN
Driving Force: 5.0397 MN
Apex Height: 5.54 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.878
Wedge Volume: 237.536 m3
Wedge Weight: 6.295 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 6.9545 MN
Driving Force: 3.7030 MN
Apex Height: 5.75 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI F-B_2-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 86°
- Plunge: 2°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]

Factor of Safety: 1779.442
Wedge Volume: 0.611 m3
Wedge Weight: 0.016 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.0993 MN
Driving Force: 0.0017 MN
Apex Height: 0.44 m

Upper Right wedge [6]

Factor of Safety: 304.036
Wedge Volume: 0.053 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.8145 MN
Driving Force: 0.0027 MN
Apex Height: 0.26 m

Upper Left wedge [7]

Factor of Safety: 13.196
Wedge Volume: 28.526 m3
Wedge Weight: 0.756 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 9.9496 MN
Driving Force: 0.7540 MN
Apex Height: 4.60 m

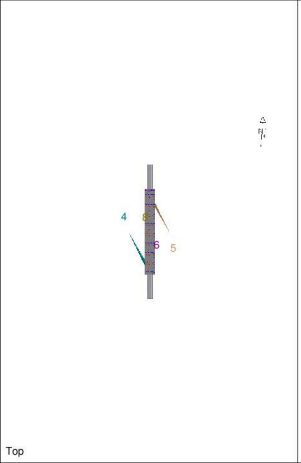
Roof wedge [8]

Factor of Safety: 22.265

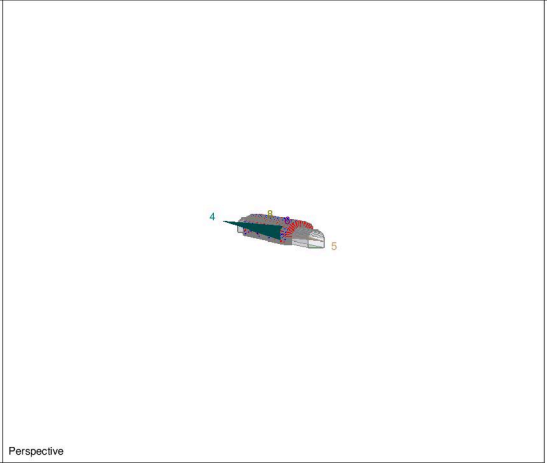
Wedge Volume: 2.878 m3
Wedge Weight: 0.076 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.9969 MN
Driving Force: 0.0897 MN
Apex Height: 1.67 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 4.587
Wedge Volume: 34.243 m3
Wedge Weight: 0.907 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.1540 MN
Driving Force: 0.9056 MN
Apex Height: 1.93 m

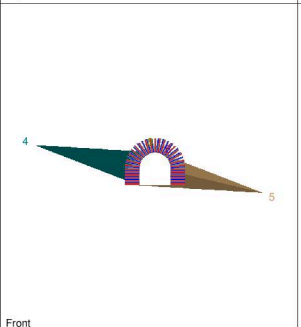
Far End wedge [10]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 33.619 m3
Wedge Weight: 0.891 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 1.92 m



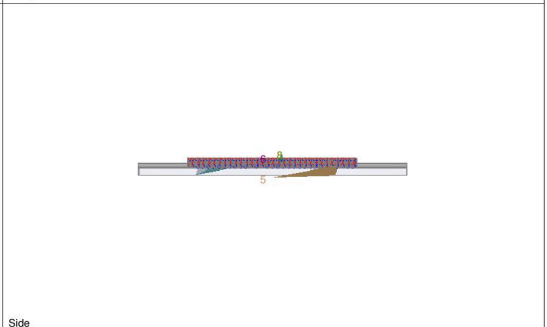
Top



Perspective



Front



Side

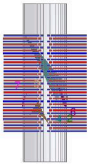
Wedge Information

Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 15.858
- Wedge Volume: 5655.789 m3
- Wedge Weight: 149.878 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 394.8684 MN
- Driving Force: 24.9010 MN
- Apex Height: 74.13 m

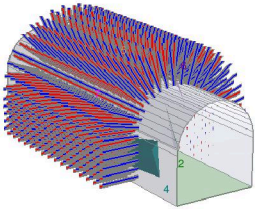
Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 3842.926 m3
- Wedge Weight: 101.838 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 64.27 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 2177.850
- Wedge Volume: 0.002 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.6511 MN
- Driving Force: 0.0003 MN
- Apex Height: 0.05 m

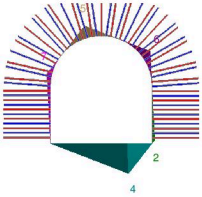
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 1644.304
- Wedge Volume: 0.003 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.5771 MN
- Driving Force: 0.0004 MN
- Apex Height: 0.07 m



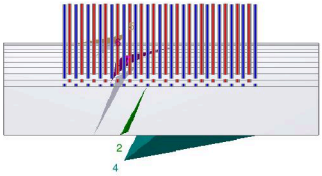
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

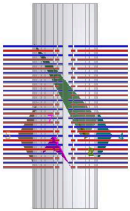
Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 71.266
- Wedge Volume: 1.755 m3
- Wedge Weight: 0.047 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 2.7742 MN
- Driving Force: 0.0389 MN
- Apex Height: 0.56 m

Floor wedge [4]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 267.372 m3
- Wedge Weight: 7.085 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 6.46 m

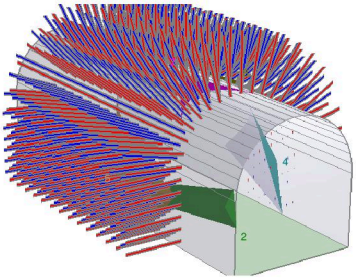
Roof wedge [5]
- Factor of Safety: 9.502
- Wedge Volume: 18.134 m3
- Wedge Weight: 0.481 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.5103 MN
- Driving Force: 0.4746 MN
- Apex Height: 2.67 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 23.529
- Wedge Volume: 11.003 m3
- Wedge Weight: 0.292 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 7.6575 MN
- Driving Force: 0.3255 MN
- Apex Height: 2.11 m

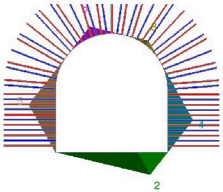
Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 32.597
- Wedge Volume: 5.693 m3
- Wedge Weight: 0.151 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 5.9253 MN
- Driving Force: 0.1818 MN
- Apex Height: 1.09 m



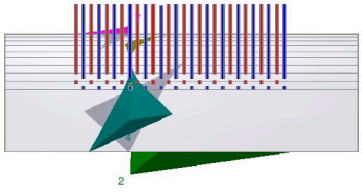
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 197.908 m3
- Wedge Weight: 5.245 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 4.37 m

Lower Right wedge [4]
- Factor of Safety: 4.672
- Wedge Volume: 150.297 m3
- Wedge Weight: 3.983 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 11.2454 MN
- Driving Force: 2.4071 MN
- Apex Height: 4.89 m

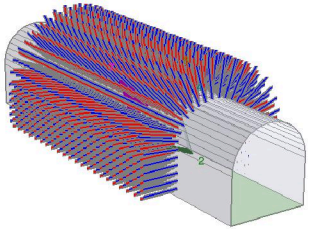
Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 5.841
- Wedge Volume: 180.835 m3
- Wedge Weight: 4.792 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 25.6358 MN
- Driving Force: 4.3886 MN
- Apex Height: 5.19 m

Roof wedge [7]
- Factor of Safety: 12.617
- Wedge Volume: 13.397 m3
- Wedge Weight: 0.355 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.7372 MN
- Driving Force: 0.3755 MN
- Apex Height: 2.05 m

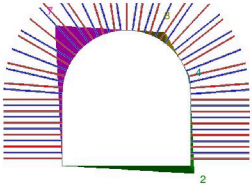
Upper Right wedge [8]
- Factor of Safety: 24.470
- Wedge Volume: 2.845 m3
- Wedge Weight: 0.075 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 2.3745 MN
- Driving Force: 0.0970 MN
- Apex Height: 1.00 m



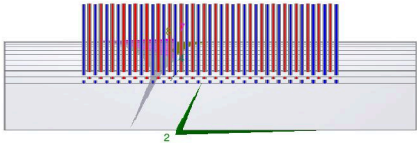
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 311.885
- Wedge Volume: 11.681 m3
- Wedge Weight: 0.310 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.6080 MN
- Driving Force: 0.0148 MN
- Apex Height: 1.49 m

Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 259.159
- Wedge Volume: 0.137 m3
- Wedge Weight: 0.004 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.8119 MN
- Driving Force: 0.0070 MN
- Apex Height: 0.29 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 5.227
- Wedge Volume: 98.656 m3
- Wedge Weight: 2.614 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 13.4098 MN
- Driving Force: 2.5654 MN
- Apex Height: 5.87 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 20.963
- Wedge Volume: 4.743 m3
- Wedge Weight: 0.126 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.1391 MN
- Driving Force: 0.1497 MN
- Apex Height: 1.53 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-A_1-2-3.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 356°
- Plunge: 0°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 15.858
Wedge Volume: 5655.789 m3
Wedge Weight: 149.878 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 394.8684 MN
Driving Force: 24.9010 MN
Apex Height: 74.13 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 3842.926 m3
Wedge Weight: 101.838 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 64.27 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 2177.850
Wedge Volume: 0.002 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.6511 MN
Driving Force: 0.0003 MN
Apex Height: 0.05 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 1644.304

Wedge Volume: 0.003 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.5771 MN
Driving Force: 0.0004 MN
Apex Height: 0.07 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 6353.677 m3
Wedge Weight: 168.372 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 142.83 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 14.845
Wedge Volume: 6713.027 m3
Wedge Weight: 177.895 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 437.5804 MN
Driving Force: 29.4776 MN
Apex Height: 145.47 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-A_1-2-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 356°
- Plunge: 0°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 71.266
Wedge Volume: 1.755 m3
Wedge Weight: 0.047 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.7742 MN
Driving Force: 0.0389 MN
Apex Height: 0.56 m

Floor wedge [4]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 267.372 m3
Wedge Weight: 7.085 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 6.46 m

Roof wedge [5]
Factor of Safety: 9.502
Wedge Volume: 18.134 m3
Wedge Weight: 0.481 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.5103 MN
Driving Force: 0.4746 MN
Apex Height: 2.67 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 23.529

Wedge Volume: 11.003 m3
Wedge Weight: 0.292 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 7.6575 MN
Driving Force: 0.3255 MN
Apex Height: 2.11 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 32.597
Wedge Volume: 5.693 m3
Wedge Weight: 0.151 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 5.9253 MN
Driving Force: 0.1818 MN
Apex Height: 1.09 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 612.119 m3
Wedge Weight: 16.221 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 12.80 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.893
Wedge Volume: 571.436 m3
Wedge Weight: 15.143 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 25.8493 MN
Driving Force: 13.6544 MN
Apex Height: 12.51 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-A_1-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 356°
- Plunge: 0°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 35°
- Dip Direction: 226°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 197.908 m3
Wedge Weight: 5.245 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 4.37 m

Lower Right wedge [4]
Factor of Safety: 4.672
Wedge Volume: 150.297 m3
Wedge Weight: 3.983 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 11.2454 MN
Driving Force: 2.4071 MN
Apex Height: 4.89 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 5.841
Wedge Volume: 180.835 m3
Wedge Weight: 4.792 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 25.6358 MN
Driving Force: 4.3886 MN
Apex Height: 5.19 m

Roof wedge [7]
Factor of Safety: 12.617

Wedge Volume: 13.397 m3
Wedge Weight: 0.355 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.7372 MN
Driving Force: 0.3755 MN
Apex Height: 2.05 m

Upper Right wedge [8]
Factor of Safety: 24.470
Wedge Volume: 2.845 m3
Wedge Weight: 0.075 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.3745 MN
Driving Force: 0.0970 MN
Apex Height: 1.00 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 2.081 m3
Wedge Weight: 0.055 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.59 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 60.139
Wedge Volume: 2.109 m3
Wedge Weight: 0.056 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.8835 MN
Driving Force: 0.0646 MN
Apex Height: 0.60 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-A_2-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
- Trend: 356°
- Plunge: 0°

Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Not Used

Joint Orientations

Joint 1
- Dip: 79°
- Dip Direction: 238°

Joint 2
- Dip: 64°
- Dip Direction: 059°

Joint 3
- Dip: 68°
- Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure

Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 2
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.50 m

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 311.885
Wedge Volume: 11.681 m3
Wedge Weight: 0.310 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.6080 MN
Driving Force: 0.0148 MN
Apex Height: 1.49 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 259.159
Wedge Volume: 0.137 m3
Wedge Weight: 0.004 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.8119 MN
Driving Force: 0.0070 MN
Apex Height: 0.29 m

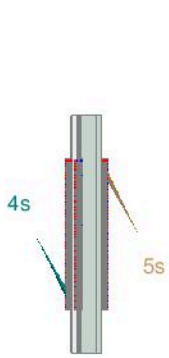
Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 5.227
Wedge Volume: 98.656 m3
Wedge Weight: 2.614 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 13.4098 MN
Driving Force: 2.5654 MN
Apex Height: 5.87 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 20.963

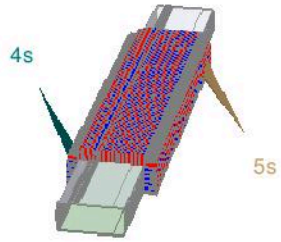
Wedge Volume: 4.743 m3
Wedge Weight: 0.126 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.1391 MN
Driving Force: 0.1497 MN
Apex Height: 1.53 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 2.020 m3
Wedge Weight: 0.054 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.59 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 61.802
Wedge Volume: 2.030 m3
Wedge Weight: 0.054 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.8438 MN
Driving Force: 0.0622 MN
Apex Height: 0.60 m



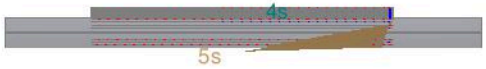
Top - All Wedges Scaled



Perspective - All Wedges Scaled



Front - All Wedges Scaled

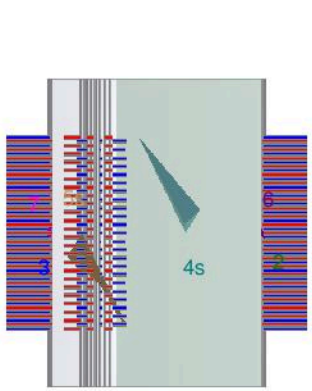


Side - All Wedges Scaled

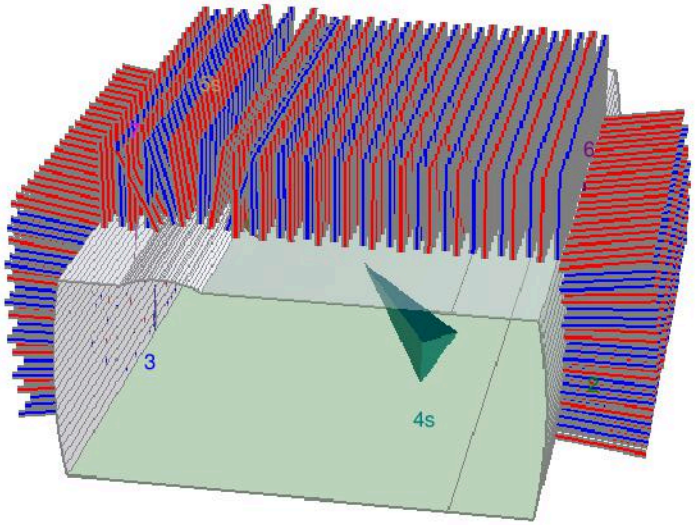
Wedge Information

Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 16.288
- Wedge Volume: 3322.084 m3
- Wedge Weight: 88.035 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 238.3606 MN
- Driving Force: 14.6343 MN
- Apex Height: 62.05 m

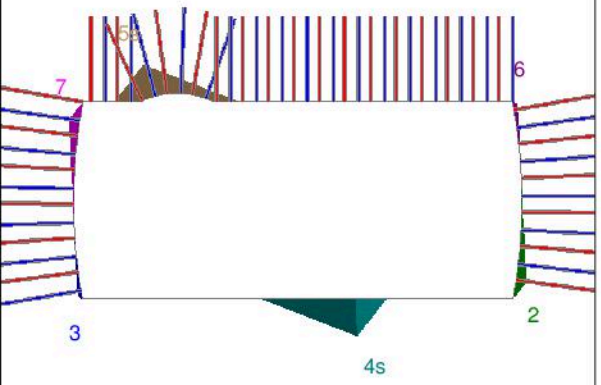
Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 3258.630 m3
- Wedge Weight: 86.354 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 61.60 m



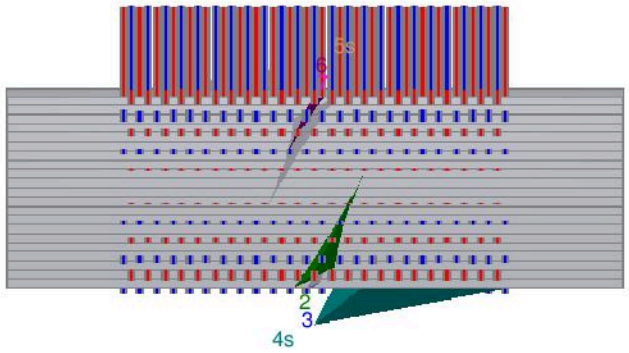
Top - Wedges 4, 5 Scaled



Perspective - Wedges 4, 5 Scaled



Front - Wedges 4, 5 Scaled



Side - Wedges 4, 5 Scaled

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 31.927
- Wedge Volume: 6.162 m3
- Wedge Weight: 0.163 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.6877 MN
- Driving Force: 0.1155 MN
- Apex Height: 1.20 m

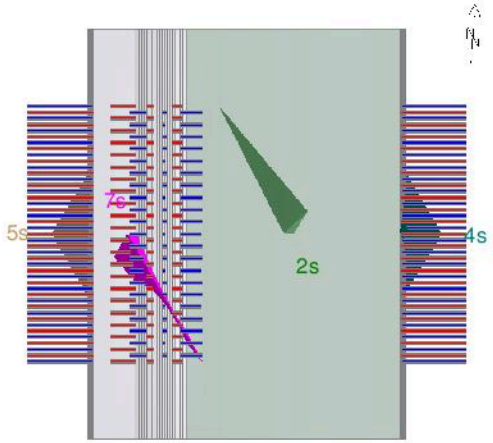
Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: 1375.783
- Wedge Volume: 0.495 m3
- Wedge Weight: 0.013 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.7672 MN
- Driving Force: 0.0035 MN
- Apex Height: 0.48 m

Floor wedge [4]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 84.333 m3
- Wedge Weight: 2.235 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 4.40 m

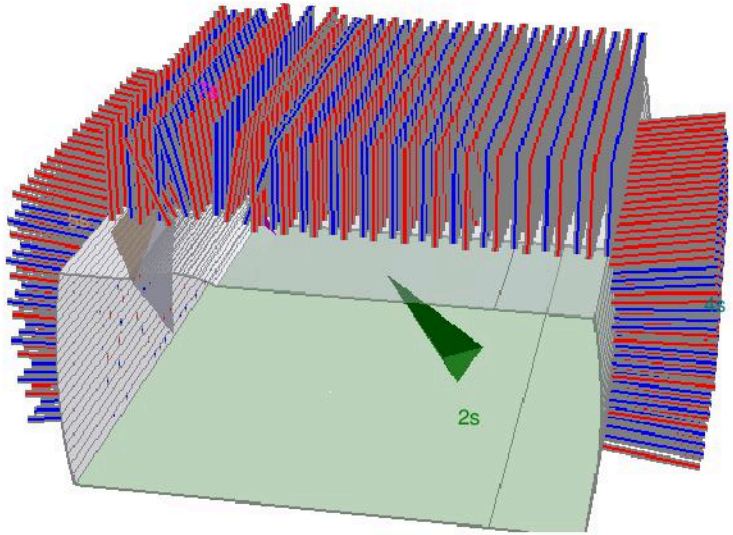
Upper Left wedge [5]
- Factor of Safety: 4.506
- Wedge Volume: 57.102 m3
- Wedge Weight: 1.513 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 6.5125 MN
- Driving Force: 1.4451 MN
- Apex Height: 3.94 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 135.170
- Wedge Volume: 0.629 m3
- Wedge Weight: 0.017 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.4113 MN
- Driving Force: 0.0252 MN
- Apex Height: 0.53 m

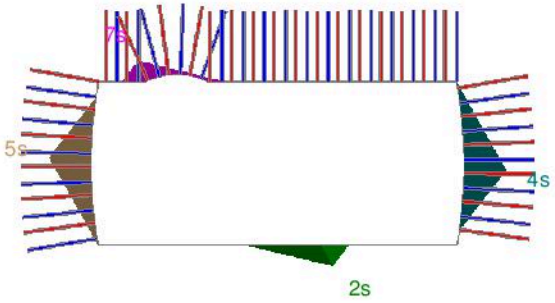
Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 23.826
- Wedge Volume: 6.923 m3



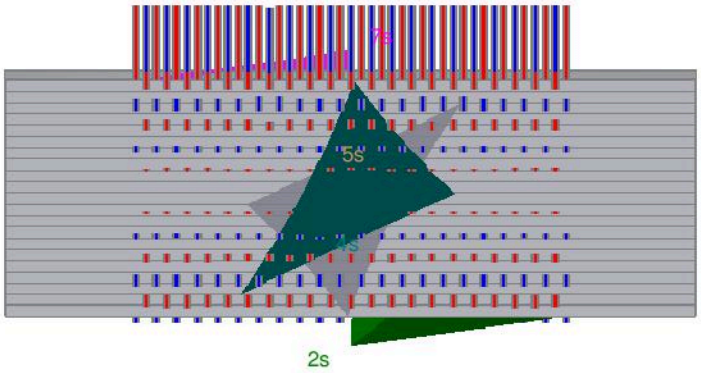
Top - All Wedges Scaled



Perspective - All Wedges Scaled



Front - All Wedges Scaled



Side - All Wedges Scaled

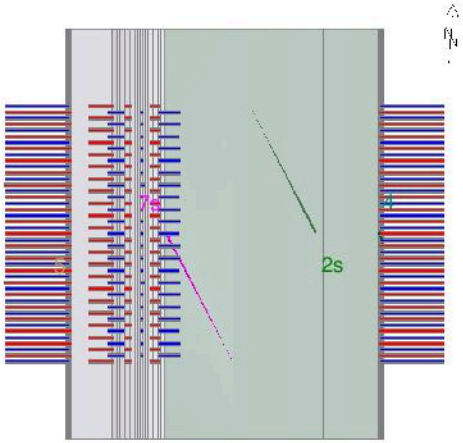
Wedge Information

Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 59.659 m3
- Wedge Weight: 1.581 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 2.93 m

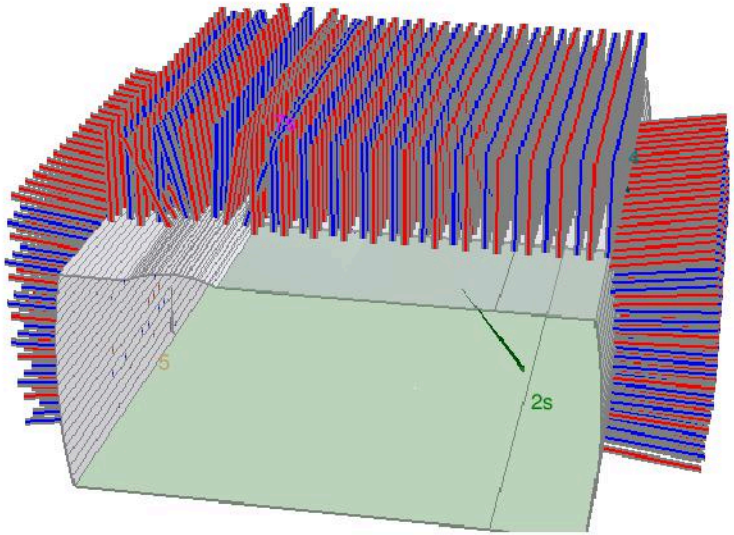
Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 3.416
- Wedge Volume: 288.395 m3
- Wedge Weight: 7.642 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 15.6420 MN
- Driving Force: 4.5785 MN
- Apex Height: 5.96 m

Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 4.300
- Wedge Volume: 285.336 m3
- Wedge Weight: 7.561 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 29.5993 MN
- Driving Force: 6.8836 MN
- Apex Height: 5.95 m

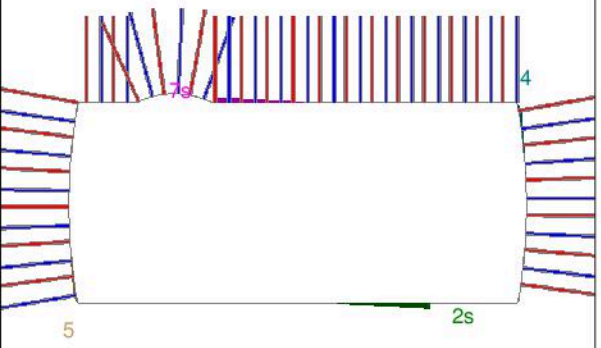
Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 7.158
- Wedge Volume: 36.208 m3
- Wedge Weight: 0.960 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 7.0187 MN
- Driving Force: 0.9805 MN
- Apex Height: 2.93 m



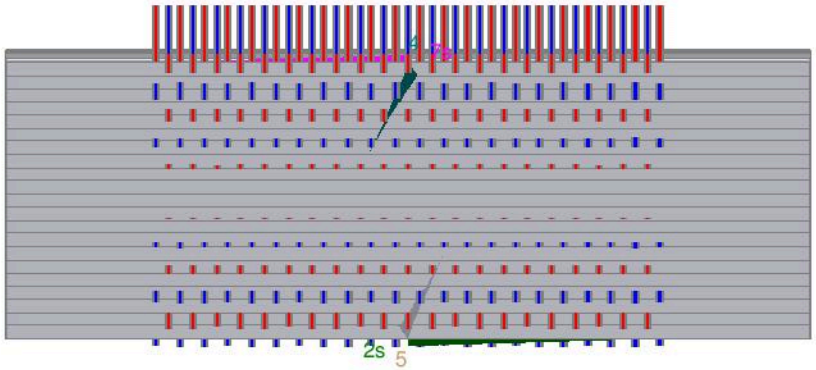
Top - Wedges 2, 7 Scaled



Perspective - Wedges 2, 7 Scaled



Front - Wedges 2, 7 Scaled



Side - Wedges 2, 7 Scaled

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 1.148 m3
- Wedge Weight: 0.030 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.66 m

Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 157.693
- Wedge Volume: 0.485 m3
- Wedge Weight: 0.013 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.3048 MN
- Driving Force: 0.0210 MN
- Apex Height: 0.42 m

Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 227.886
- Wedge Volume: 0.388 m3
- Wedge Weight: 0.010 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.5044 MN
- Driving Force: 0.0154 MN
- Apex Height: 0.39 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 98.216
- Wedge Volume: 1.148 m3
- Wedge Weight: 0.030 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.8525 MN
- Driving Force: 0.0392 MN
- Apex Height: 0.65 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-B_1-2-3.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
  Trend: 356°
  Plunge: 0°
Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Upper Left wedge [4]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Lower Right wedge [5]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Near End wedge [9]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Far End wedge [10]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Joint Orientations

Joint 1
  Dip: 35°
  Dip Direction: 226°
Joint 2
  Dip: 79°
  Dip Direction: 238°
Joint 3
  Dip: 64°
  Dip Direction: 059°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 60°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 6
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 3
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 4
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 5
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 6
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 16.288
Wedge Volume: 3322.084 m3
Wedge Weight: 88.035 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 238.3606 MN
Driving Force: 14.6343 MN
Apex Height: 62.05 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 3258.630 m3
Wedge Weight: 86.354 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 61.60 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 7423.358 m3
Wedge Weight: 196.719 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 150.43 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 14.842
Wedge Volume: 7658.170 m3
Wedge Weight: 202.942 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 499.0938 MN
Driving Force: 33.6263 MN
Apex Height: 152.00 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-B_1-2-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
Trend: 356°
Plunge: 0°
Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Lower Right wedge [2]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Lower Left wedge [3]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Floor wedge [4]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Left wedge [5]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Right wedge [6]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Left wedge [7]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Near End wedge [9]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Far End wedge [10]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Joint Orientations

Joint 1

Dip: 35°
Dip Direction: 226°

Joint 2
Dip: 79°
Dip Direction: 238°

Joint 3
Dip: 68°
Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
Water Pressure
Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 39°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
Water Pressure
Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 60°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.243 MN
Plate Capacity: 0.147 MN
Bond Strength: 0.096 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3

Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
Shear Strength: 1.0000 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m3
Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns
Number of Bolt Patterns on Perimeter: 6
Perimeter Bolt Pattern: 1
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 3
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 4
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 5
Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary

Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m
Perimeter Bolt Pattern: 6
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 31.927
Wedge Volume: 6.162 m3
Wedge Weight: 0.163 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.6877 MN
Driving Force: 0.1155 MN
Apex Height: 1.20 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: 1375.783
Wedge Volume: 0.495 m3
Wedge Weight: 0.013 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.7672 MN
Driving Force: 0.0035 MN
Apex Height: 0.48 m

Floor wedge [4]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 84.333 m3
Wedge Weight: 2.235 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 4.40 m

Upper Left wedge [5]
Factor of Safety: 4.506
Wedge Volume: 57.102 m3
Wedge Weight: 1.513 MN
Support Pressure: 0.0000 MN

Resisting Force: 6.5125 MN
Driving Force: 1.4451 MN
Apex Height: 3.94 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 135.170
Wedge Volume: 0.629 m3
Wedge Weight: 0.017 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.4113 MN
Driving Force: 0.0252 MN
Apex Height: 0.53 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 23.826
Wedge Volume: 6.923 m3
Wedge Weight: 0.183 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.9564 MN
Driving Force: 0.2080 MN
Apex Height: 1.26 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 698.301 m3
Wedge Weight: 18.505 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 13.38 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.866
Wedge Volume: 614.555 m3
Wedge Weight: 16.286 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 27.3923 MN
Driving Force: 14.6807 MN
Apex Height: 12.82 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-B_1-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
  Trend: 356°
  Plunge: 0°
Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Floor wedge [2]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Right wedge [4]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Lower Left wedge [5]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Left wedge [7]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Near End wedge [9]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Far End wedge [10]
  Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Joint Orientations

Joint 1
  Dip: 35°
  Dip Direction: 226°
Joint 2
  Dip: 64°
  Dip Direction: 059°
Joint 3

Dip: 68°
Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 60°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1

Perimeter Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure

No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns

Number of Bolt Patterns on Perimeter: 6

Perimeter Bolt Pattern: 1

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 3

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 4

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 5

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 6

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel

Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 59.659 m3
Wedge Weight: 1.581 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.93 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 3.416
Wedge Volume: 288.395 m3
Wedge Weight: 7.642 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 15.6420 MN
Driving Force: 4.5785 MN
Apex Height: 5.96 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 4.300
Wedge Volume: 285.336 m3
Wedge Weight: 7.561 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 29.5993 MN
Driving Force: 6.8836 MN
Apex Height: 5.95 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 7.158
Wedge Volume: 36.208 m3
Wedge Weight: 0.960 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 7.0187 MN
Driving Force: 0.9805 MN
Apex Height: 2.93 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable

Wedge Volume: 2.446 m3
Wedge Weight: 0.065 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.63 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 55.064
Wedge Volume: 2.446 m3
Wedge Weight: 0.065 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.0847 MN
Driving Force: 0.0742 MN
Apex Height: 0.63 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI C-B_2-3-4.weg

Project Settings

Project Title: BISAGNO - Analisi 1
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
Trend: 356°
Plunge: 0°
Design Factor of Safety: 1.100
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m3
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m3

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Lower Right wedge [2]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Right wedge [4]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Lower Left wedge [5]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Upper Left wedge [7]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Near End wedge [9]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Far End wedge [10]
Scale Out Of Plane Length: 21.00 m

Joint Orientations

Joint 1
Dip: 79°
Dip Direction: 238°
Joint 2
Dip: 64°
Dip Direction: 059°
Joint 3

Dip: 68°
Dip Direction: 133°

Joint Properties

Joint Properties ST
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Joint Properties FR
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 60°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Bolt Property 2
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.243 MN
- Plate Capacity: 0.147 MN
- Bond Strength: 0.096 MN/m
- Bond Length: 100% of Bolt Length
- Shear Strength: Unused
- Bolt Orientation Efficiency: Used
  - Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 8.75 cm

Shotcrete Property 2
- Shear Strength: 1.0000 MPa
- Unit Weight: 0.026 MN/m3
- Thickness: 5.00 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1

Perimeter Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure

No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns

Number of Bolt Patterns on Perimeter: 6

Perimeter Bolt Pattern: 1

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 2

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 3

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 4

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 4.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 5

Property: Bolt Property 1
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

Perimeter Bolt Pattern: 6

Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel

Bolt Length: 10.00 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 3.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 1.00 m

Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Ends: 1
End Shotcrete Layer: 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 2

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 1.148 m3
Wedge Weight: 0.030 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.66 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 157.693
Wedge Volume: 0.485 m3
Wedge Weight: 0.013 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.3048 MN
Driving Force: 0.0210 MN
Apex Height: 0.42 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 227.886
Wedge Volume: 0.388 m3
Wedge Weight: 0.010 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.5044 MN
Driving Force: 0.0154 MN
Apex Height: 0.39 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 98.216
Wedge Volume: 1.148 m3
Wedge Weight: 0.030 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.8525 MN
Driving Force: 0.0392 MN
Apex Height: 0.65 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable

Wedge Volume: 2.354 m3
Wedge Weight: 0.062 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.63 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 56.587
Wedge Volume: 2.354 m3
Wedge Weight: 0.062 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.0428 MN
Driving Force: 0.0714 MN
Apex Height: 0.63 m