Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	SPIGARELLI	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 -RE01- 0

Oggetto della tavola

OPERE IN SOTTERRANEO

GENERALI

Galleria scolmatrice tratta in meccanizzato - Relazione tecnica e di calcolo

Scala: -

Data: NOVEMBRE 2017

Codice FILE: BIS2E-R-OST00-RE01-0.DWG

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 4
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5
3 SOFTWARE DI CALCOLO 6
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 7
5 MATERIALI 8
5.1 Rivestimenti definitivi 8
5.2 Rivestimenti provvisionali 8
5.2.1 Carpenteria metallica 8
5.2.2 Spritz beton 8
5.2.3 Miscele di iniezione 9
6 DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO 10
7 ANALISI DEI CARICHI 12
7.1 Peso proprio 12
7.2 Spinta idrostatica 12
7.3 Spinta delle terre 12
7.4 Sovraccarico 12
7.5 Azione sismica 12
8 CRITERI DI VERIFICA 14
8.1 Criteri di verifica dei pre-rivestimenti 14
8.1.1 Note generali 14
8.1.2 Verifiche di resistenza allo Stato Limite Ultimo 14
8.2 Criteri di verifica dei rivestimenti definitivi 15
8.2.1 Note generali 15
8.2.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio 15
8.2.3 Verifiche di resistenza allo Stato Limite Ultimo 18
9 FASE DI DIAGNOSI 21
9.1 Previsione del comportamento della galleria e dell'ammasso allo scavo – cenni teorici 21
9.2 Analisi di stabilità del fronte e del cavo 23
9.2.1 Procedura operativa 23
9.2.2 Esito delle analisi 26
9.2.3 Quadro di sintesi delle classi di comportamento dell'ammasso all'apertura del cavo 42
10 FASE DI TERAPIA 43
10.1 Sezione tipo MAb1 43
10.1.1 Fasi Esecutive 43
10.1.2 Interventi previsti 44
10.2 Sezione tipo MAb2 44
10.2.1 Fasi Esecutive 44
10.2.2 Interventi previsti 45
10.3 Sezione tipo MAb3 45
10.3.1 Fasi Esecutive 45
10.3.2 Interventi previsti 46
10.4 Sezione tipo MAc1 46

10.4.1 Fasi Esecutive ... 46
10.4.2 Interventi previsti ... 47
10.5 Sezione tipo MAc2 ... *47*
10.5.1 Fasi Esecutive ... 47
10.5.2 Interventi previsti ... 48
10.6 Sezione tipo MAc2v ... *48*
10.6.1 Fasi Esecutive ... 48
10.6.2 Interventi previsti ... 49
10.7 Sezione tipo MB0 ... *50*
10.7.1 Fasi Esecutive ... 50
10.7.2 Interventi previsti ... 50
10.8 Sezione tipo MC1 ... *51*
10.8.1 Fasi Esecutive ... 51
10.8.2 Interventi previsti ... 52
10.9 Sezione tipo MC2 ... *52*
10.9.1 Fasi Esecutive ... 52
10.9.2 Interventi previsti ... 53
11 ANALISI NUMERICHEAGLI ELEMENTI FINITI ... 54
11.1 Individuazione delle sezioni di calcolo ... *54*
11.2 Procedura operativa di analisi ... *55*
11.2.1 Procedimento operativo per la taratura del rilascio tensionale progressivo dell'ammasso nei modelli di calcolo bidimensionali ... 55
11.2.2 Fasi di calcolo ... 60
11.2.3 Modellazione dei bulloni ... 61
11.2.4 Modellazione dei prerivestimenti ... 61
11.2.5 Modellazione dei rivestimenti definitivi gettati in opera ... 61
11.3 Analisi numeriche: descrizione dei modelli e presentazione dei risultati ... *62*
11.3.1 Sezione 1 –Montoggio ... 62
11.3.2 Sezione2 –MontoggioFaglia ... 71
11.3.3 Sezione3 –Massima Copertura FMA ... 83
11.3.4 Sezione4– FagliaCopertura150m (FMA) ... 92
11.4 Verifiche strutturali pre-rivestimenti ... *102*
11.4.1 Sezione1 – Montoggio ... 102
11.4.2 Sezione2 – MontoggioFaglia ... 104
11.4.3 Sezione 4– FagliaCopertura150m ... 106
11.4.4 Sezione3–MaxCopertura ... 108
11.5 Verifiche strutturali dei rivestimenti definitivi ... *109*
11.5.1 Sezione1 – Montoggio– Pressoflessione – SLU ... 109
11.5.2 Sezione1 – Montoggio– Verifiche a taglio – SLU ... 110
11.5.3 Sezione1 – Montoggio-Verifica SLE ... 111
11.5.4 Sezione 2 – MontoggioFaglia – Pressoflessione – SLU ... 113
11.5.5 Sezione 2 – MontoggioFaglia– Verifiche a taglio – SLU ... 114
11.5.6 Sezione 2 – MontoggioFaglia -Verifica SLE ... 115
11.5.7 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica a Pressoflessione – SLU ... 117
11.5.8 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica a taglio– SLU ... 118
11.5.9 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica SLE ... 119
11.5.10 Sezione 4 – FagliaCopertura150m– Pressoflessione– SLU ... 121
11.5.11 Sezione 4 – FagliaCopertura150m – Verifiche a taglio – SLU ... 122
11.5.12 Sezione4– FagliaCopertura150m - Verifica SLE ... 123

11.6 Effetti in superficie dello scavo ... 125
12 ANALISI DEI TETRAEDRI INSTABILI ... 128
12.1 Premessa ... 128
12.2 Procedura di verifica ... 129
12.3 Analisi geostrutturali ... 129
12.3.1 Parametri delle discontinuità ... 130
12.4 Supporti ... 131
12.4.1 Bulloni ... 133
12.4.2 Spritz Beton ... 134
12.5 Analisi ... 134
12.5.1 Analisi 4 ... 134
12.5.2 Analisi 5 ... 136
12.5.3 Analisi 6 ... 138
12.6 Conclusioni ... 140
13 VERIFICA DEL CONCIO DI BASE ... 141
13.1 Fasi di vita della struttura ... 141
13.2 Modellazione strutturale ... 142
13.3 Condizioni transitorie ... 142
13.3.1 Scasseratura ... 142
13.3.2 Stoccaggio ... 147
13.3.3 Trasporto ... 149
13.3.4 Movimentazione in galleria ... 149
13.4 Condizioni di esercizio ... 150
13.4.1 Schema di calcolo ... 150
13.4.2 Condizione di transito della locomotiva ... 151
13.4.3 Movimentazione su quattro rotaie ... 155
13.4.4 Trasporto su gomma ... 158
13.5 Verifica delle ipotesi di calcolo ... 160
14 ALLEGATI ... 162

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, in 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 galleria scolmatrice con sviluppo complessivo di 6500 m circa da scavarsi 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.

Oggetto della relazione è in particolare il tratto scavato con metodo meccanizzato, che si estende dalla testata della camera di lancio da realizzarsi alla conclusione della Finestra di servizio fino al breve tratto di galleria scavato con metodo tradizionale al di sotto di C.so Italia e del Forte San Giuliano, per uno sviluppo complessivo di circa 5876 m.

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 DI CALCOLO

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

- PHASE 2 - Versione 8.0 –Rocscience
- RocSupport – Versione 3.005 - Rocscience
- Fogli di calcolo Excel specificatamente implementati per la verifica degli elementi strutturali
- UNWEDGE - Rocscience

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geologico – stratigrafico e litologico l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di tre distinte formazioni che, dalla più antica alla più recente sono:

- **Argilliti di Montoggio, (Cenomaniano – Turoniano: Cretaceo superiore)**, costituite da argilliti laminate con limitate intercalazioni quarzoso – arenacee e con un grado di fratturazione da medio ad elevato,
- **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,
- **Argille di Ortovero, (Pliocene inferiore)**, costituite da marne argillose ed argille marnose con sporadici livelli sabbioso – calcarenitici,
- **Depositi alluvionali**, costituiti da ghiaie, ghiaie limose e ghiaie sabbiose con spessori fino a 25 – 30 m,
- **Coltri detritiche eluvio-colluviali** costituite da un abbondate scheletro grossolano di clasti calcarei immersi in una matrice sabbiosa o limo-argillosa, gli spessori vanno da pochi metri fino a 10 – 15 m,
- **Depositi di spiaggia**, costituiti da depositi ciottolosi e/o rinascimenti sabbiosi artificiali
- **Depositi antropici**, costituiti da materiali sciolti, eterogenei, ghiaie argillose con sabbie, con frammenti calcarei eterometrici a spigoli vivi, pezzi di calcestruzzo, chiodi metallici, ferri di armatura, ecc.

La galleria si sviluppa per la maggior parte del tracciato all'interno della formazione del Flysch di Monte Antola, interessato da alcune zone di taglio, in corrispondenza delle quali, l'ammasso roccioso è previsto essere intensamente fratturato. 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.

Le Argille di Ortovero sono previste per una estensione di 350 m, in corrispondenza dell'attraversamento della "fossa tettonica" (graben) posta all'altezza dell'Ospedale San Martino. Questo litotipo costituito da argille marnose con sabbie e, ad eccezione degli strati superficiali, sono consistenti.

Nella stessa area, sulla verticale di Forte San Martino è previsto l'attraversamento di una limitata fascia di Argilliti di Montoggio. Questo litotipo nella tratta indagata si presenta fortemente disturbato e tettonizzato, solo localmente sono presenti argilliti compatte, a chiara consistenza litoide. Molto spesso le argilliti presentano una struttura fittamente scagliettata e si frantumano con estrema facilità con le mani, possono essere argillificate ed a consistenza terrosa.

Dal punto di vista geologico – geomeccanico la galleria attraversa quasi interamente l'ammasso roccioso costituito dal Flysch del M. Antola. Le principali criticità si osserveranno in corrispondenza dell'attraversamento della Formazione delle "Argilliti di Montoggio" tra le progressive 5300 e 5500 circa. Questa tratta è interessata da un disturbo tettonico e dalla presenza di una litologia con comportamento plastico e spingente, costituita da argille scagliettate ed intensamente fratturate.

5 MATERIALI

5.1 Rivestimenti definitivi

calcestruzzo R_{ck} ≥45 N/mm²:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 37.35$ N/mm²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 0.85 \cdot fck/1.5 = 19.83$ N/mm²
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}2/3 = 3.35$ N/mm²
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.346$ N/mm²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 1.564$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 22.41$ N/mm²
Resistenza a compressione (comb. Quasi Permanente)	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 16.81$ N/mm²
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000\ [(f_{ck}+8)/10]0.3 = 34077$ 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_{ynom}	≤ 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

5.2 Rivestimenti provvisionali

5.2.1 Carpenteria metallica

E' 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	$\gamma_s = 1.05$

5.2.2 Spritz beton

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

5.2.3 *Miscele di iniezione*

Iniezione di guaina :

Cemento 32.5R-42.5R
Rapporto acqua/cemento 1.5-2.0
Rapporto bentonite/acqua 0.05/0.08 (eventuale)
Viscosità MARSCH (ugello 4.7mm) 30-35 sec.

Iniezioni di consolidamento:

Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine (tipo 42.5R-52.5R)
Rapporto bentonite/acqua < 0.02(eventuale)
Additivo fluidificante 4% di peso del cemento
Viscosità MARSCH (ugello 4.7mm) 35-45 sec.

NOTA: la composizione fornita si ritiene indicativa; la taratura dovrà essere operata in corso d'opera attraverso campi prova.

6 DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO

La tratta di galleria scolmatrice scavata con metodo meccanizzato si estende dalla camera di lancio allo sbocco a mare, per uno sviluppo complessivo di 5876 m, e verrà realizzata adottando una fresa da roccia di tipo aperto. Si raggiungono coperture massime dell'ordine dei 280 m in corrispondenza del rilievo di torre Quezzi. Gran parte della tratta cittadina presenta ricoprimenti prossimi ai 30 m, fatta eccezione per gli ultimi 2000 m verso lo sbocco a mare laddove lo spessore di roccia in calotta scende su valori prossimi ai 10 m in corrispondenza del complesso di edificazioni insistenti sull'area del forte San Giuliano. E' previsto il passaggio al di sotto della linea storica RFI Genova – La Spezia, con spessore di roccia compresa fra la calotta dello scolmatore ed il basamento dei piedritti della doppia galleria attorno agli 8 m. In previsione futura si segnala il sovrappasso dello scolmatore ad opere delle gallerie ferroviarie del quadruplicamento ferroviario Genova – La Spezia (ricoprimento in roccia fra calotta scolmatore ed arco rovescio delle gallerie ferroviarie bell'ordine dei i2 m); esso ricade nel conteso geologico del graben di Terralba; tale elemento progettuale richiederà la predisposizione di sezioni speciali in quanto ad armatura dei rivestimenti definitivi dell'opera oggetto della presente progettazione.

La scelta della macchina di tipo aperto è discesa dall'esame delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso ritenute congrue con il campo di applicazione tipico di tale tipologia di macchine. In particolare la qualità dell'ammasso e le caratteristiche di fratturazione dello stesso per l maggior parte dell'estensione della tratta consentono di considerare una tipologia di intervento prevalente costituito dall'applicazione di chiodatura radiale tipo bullone superswellex e rete elettrosaldata pertanto ottimizzando l'avanzamento con tale tipologia di macchina. L'adozione di una macchina di tipo aperto da roccia, resa possibile dal presupposto geomeccanico di cui sopra, porta con se la possibilità di gestione efficacemente la gestione dello smarino ed in particolare il riutilizzo dello stesso ai fini della produzione dell'inerte per calcestruzzo (non possibile nel caso dell'utilizzo di frese ti tipo monoscudato/doppio scudato che presuppongono l'avvio della produzione dei conci con largo anticipo rispetto all'avanzamento dell'attività di scavo, impossibilitando pertanto il riutilizzo del materiale proveniente e dallo smarino). In tal senso si precisa come la litologia scavata, in particolare la facies calcarea del Flysch del monte Antola abbia caratteristiche idonee alla produzione di inerte per cls, soddisfacendo appieno il fabbisogno dello stesso. Altro elemento migliorativo caratterizzante l'impiego della fresa di tipo aperto rispetto alle frese di tipo scudato è l'eliminazione della necessità di approvvigionare il cantiere tbm con conci nonché lo stoccaggio dei medesimi nella 'area del cantiere di imbocco; nel caso specifico ce la cantiere principale ubicato presso l'ex canile comunale si è ritenuto assai difficoltoso il poter procedere con un approvvigionamento costante dei conci che consentisse di seguire le esigenze della produzione nè si riuscisse a garantire idonei spazi per lo stoccaggio del materiale.

Lo scavo con fresa (diametro nominale della testa pari a 10700 mm) è previsto procedere con una velocità di avanzamento media attorno ai 20 m giorno. La sezione tipo principale applicata è prevista essere quella bullonata con rete elettrosaldata. Localmente, laddove il contesto geomeccanico possa determinare fenomeni di convergenza del cavo più sensibili, sarà fatto ricorso a sostegni full round per la chiusura del cavo a tergo della testa di scavo, in particolare a centine e blindaggi metallici tipo Linerplates. In corrispondenza della tratta da scavarsi nelle formazione delle argilliti di Montoggio e delle faglie presenti a lungo il percorso saranno applicate sezioni di scavo e consolidamento più pesanti che prevedono il ricorso ad interventi di consolidamento dell'ammasso in avanzamento rispetto alla testa di scavo. Trattasi di coronelle di iniezioni cementizie operate da tubi a manchettes, spinti per una lunghezza di 20 m dalla posizione di perforazione. Sistematicamente lo spritz beton di completamento, per tutte le sezioni tipo, sarà applicato con sistemi robotizzati alla distanza di circa 40-50 m dal fronte di scavo, successivamente all'installazione del concio di base in cap (lunghezza del singolo concio 1.70 m). Il concio di base presente geometria e conformazione superficiale funzionale alla installazione del doppi o binari a servizio della fresa. E' presente inoltre una canala centrale per la raccolta delle acque di infiltrazione dall'ammasso ed il collettamento delle stesse versi il fronte di avanzamento (la pendenza della galleria è infatti a scendere

nella direzione di avanzamento dello scavo). Al fronte sarà presente idonea stazione di pompaggio per l'allontanamento delle acque verso il portale di imbocco, finestra di servizio.

Il rivestimento definitivo della galleria sarà gettato in opera e seguirà con velocità media stimata in di 12 m/giorno di getto la fresa ed i carri di back-up. Le operazioni di installazione del manto in PVC, dell'assemblaggio della gabbia di armatura e della casseratura saranno attuate per mezzo di uno speciale carro. Le operazioni di getto saranno servite dalla centrale di betonaggio installata all'interno del camerone; l'approvvigionamento avverrà tramite una coppia di treni composti da un numero di train mixer sufficiente alla fornitura di 190 mc di cls. Lo spessore ordinario dei rivestimenti definitivi è di 50 cm; un incremento a 55 cm è previsto in corrispondenza dei medesimi passaggi geologici entro i quali si rende necessario il ricorso a supporti temporanei full round quali centine e blindaggio metallico.

7 ANALISI DEI CARICHI

Per la verifica strutturale delle gallerie si considerano i seguenti carichi agenti.

7.1 Peso proprio

Si assume un peso specifico degli elementi strutturali pari al peso specifico del calcestruzzo armato (25 kN/m^3). Il peso proprio degli elementi strutturali è calcolato automaticamente dal programma.

7.2 Spinta idrostatica

Nel calcolo si considera un battente idraulico agente sul manufatto pari alla quota di falda indicata dalla relazione idrogeologica.Si assume un peso specifico dell'acqua pari a 10 kN/m^3.

7.3 Spinta delle terre

L'analisi ad elementi finiti consente la valutazione del comportamento accoppiato di struttura e terreno nelle varie fasi realizzative per ciascuna delle quali si calcolano le spinte agenti sul manufatto.

7.4 Sovraccarico

A piano campagna si prevede un sovraccarico pari a 10 kN/m^{2}in corrispondenza della sede stradale ove presente.

7.5 Azione sismica

La galleria viene verificata con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), secondo cui a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Per la valutazione della vita nominale nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione 3: "grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008''). La vita nominale risulta pertanto $V_N \geq 100$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importante, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (…) Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. (…)". Il coefficiente d'uso risulta quindi Cu = 2.
Il periodo di riferimento $V_R$si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U e nel caso specifico si ottiene:

$V_R = V_N \cdot C_U$ = 100 anni x 2.0 = 200 anni

Le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri che vengono forniti dalla normativa per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per i periodi di ritorno considerati:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R, espresso in anni si ricava a partire dal periodo di riferimento e dalla probabilità di superamento secondo la seguente formula:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1-0.1)} = 1898\ anni$$

Si riportano i valori dei parametri sismici per il sito ove sorge la costruzione:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,041	2,537	0,255
SLD	201	0,050	2,529	0,270
SLV	1898	0,110	2,525	0,303
SLC	2475	0,120	2,522	0,305

In base alla natura del terreno e ai parametri individuati, il suolo presente è classificabile in Categoria B. Da ciò si ricava il parametro $S = S_S S_T$ che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

SS = 1.2

ST = 1 per una categoria topografica T1, da cui:

S = SS· ST = 1.2

L'analisi sismica di tipo pseudo-statico viene eseguita automaticamente dal programma di calcolo inserendo i coefficienti sismici orizzontale e verticale che assumono i seguenti valori:

$k_h = \beta_m \cdot S \cdot a_g/g = 1.2 \cdot 0.11 = 0.132$

$k_v = 0.5 \cdot k_h$

8 CRITERI DI VERIFICA

8.1 Criteri di verifica dei pre-rivestimenti

8.1.1 Note generali

I pre-rivestimenti sono stati verificati al solo stato limite ultimo dato il loro carattere temporaneo.Leverifiche,svolte su pre-rivestimenti di spessore maggiori di 10 cm, sono state condotte in accordo a quanto prescritto dalla normativa di riferimento (NTC 2008) valutando le tensioni massime in acciaio e calcestruzzo dovute all'effetto combinato delle azioni interne agenti. Nel dettaglio la verifica si considera soddisfatta quando risultano verificate le seguenti relazioni:

$\sigma_{s,SLU}<f_{yd}$

$\sigma_{c,SLU}<f_{cd}$

dove i valori delle massime resistenze di progetto sono valutati come

$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$

$f_{cd}=f_{ck}/\gamma_c$

per la valutazione del fattore di sicurezza si è utilizzata la procedura automatica del programma ad elementi finiti usato per la modellazione (Phase 2.0) che implementa la procedura di calcolo proposta da C. Carranza Torres e M. Diederichs basata sulla costruzioni di diagrammi di capacità ("Mechanicalanalysis of circularliners with particularreference to composite supports. For example, liners consisting of shotcrete and steel sets" – Tunnelling and Underground Space technology24 (2009) 506-532) e descrittabrevemente in seguito.

8.1.2 Verifiche di resistenza allo Stato Limite Ultimo

Come accennato al paragrafo precedente il programma di calcolo utilizzato implementa la procedura proposta da da C. Carranza Torres e M. Diederichs. Tale metodo prevede che nel calcolo delle sollecitazioni il pre-rivestimento venga schematizzato attraverso una sezione equivalente le cui caratteristiche geometriche (spessore e larghezza) vengono valutate a partire dalle rigidezze assiali e flessionali delle singole componenti. Coerentemente si ricavano i parametri di rigidezza della sezione equivalente e il modulo elastico del materiale. In tal modo il programma valuta un unico valore di azione interna per il pre-rivestimento dal quale verranno dedotti a valle dell'analisi i valori da considerare per le singole componenti, ovvero centine e spritz beton. Tale equivalenza è valutata basandosi sull'ipotesi fondamentale che i due materiali siano rigidamente connessi e che pertanto si deformano in modo uguale sia sotto carichi assiali che a flessione.

Una volta determinate le azioni interne agenti sui prerivestimenti si valuta il fattore di sicurezza rispetto al valore resistente associato alla sezione. Questo confronto viene realizzato mediante la rappresentazione dei diagrammi di capacità per le singole componenti.

Tali diagrammi vengo no realizzati considerando l'azione accoppiata di momento flettente-sforzo normale e taglio-sforzo normale. Nel dettaglio si tratta della definizione di domini di resistenza associati ad un certo fattore di sicurezza prescelto.

Per quanto riguarda il caso di pressoflessione le tensioni massima e minima possono essere valutate a partire dallo sforzo normale e dal momento flettente agenti sulla sezione stessa (N e M) attraverso la relazione:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{J} \cdot \frac{t}{2}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{J} \cdot \frac{t}{2}$$

Dove A è l'area della sezione, J è il momento d'inerzia e t è lo spessore. Per determinare il fattore di sicurezza è necessario confrontare le massime/minime tensioni con il limite ammissibile da normativa, ovvero:

$$FS = \frac{\sigma_{amm}}{\sigma_{max/min}}$$

Sostituendo le prime equazioni nella terza è possibile pertanto determinare per i differenti valori di momento flettente il corrispondente sforzo normale associato al fattore di sicurezza prescelto.

$$N = -\frac{|M|At}{2J} + \frac{\sigma_{amm} A}{FS}$$

$$N = \frac{|M|At}{2J} + \frac{\sigma_{amm} A}{FS}$$

Analogamente si può procedere per il caso di taglio e sforzo normale per il quale si riguarda all'articolo citato per dettagli.

Per quanto riguarda le strutture in oggetto, dato che le analisi sono condotte in combinazione rara, si considereranno i seguenti valori del fattore di sicurezza:

$FS_s = 1.3 \cdot 1.05 = 1.365$

$FS_c = 1.3 \cdot 1.5 = 1.95$

8.2 Criteri di verifica dei rivestimenti definitivi

8.2.1 Note generali

I criteri di verifica adottati per il calcolo delle armature sono quelli presenti nella normativa italiana NTC'08 al capitolo 4, per le sezioni in cemento armato inflesse e presso inflesse, sia per lo Stato Limite Ultimo che per lo Stato Limite di Esercizio. Le caratteristiche meccaniche dei materiali strutturali utilizzati per le verifiche sono riportati nei capitoli precedenti.

8.2.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Si considereranno i limiti imposti dalle NTC'08 sulle tensioni di compressione nel calcestruzzo per combinazione di carico quasi permanente:

$\sigma_c < 0.25 f_{ck}$ (calcestruzzo non armato)

$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ (calcestruzzo armato)

Per l'acciaio invece vale la limitazione sotto riportata. Tale limite è imposto dalla norma per la combinazione di carico rara:

$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ (acciaio di armatura)

8.2.2.1 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 8-1 – 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 8-2: 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 8-3: 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}eΔ_{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.

8.2.3 *Verifiche di resistenza allo Stato Limite Ultimo*

8.2.3.1 *Pressoflessione*

Per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali si adottano le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Si assumeranno come diagrammi tensione-deformazione i diagrammi parabola-rettangolo e elastico perfettamente plastico per calcestruzzo e acciaio, rispettivamente.

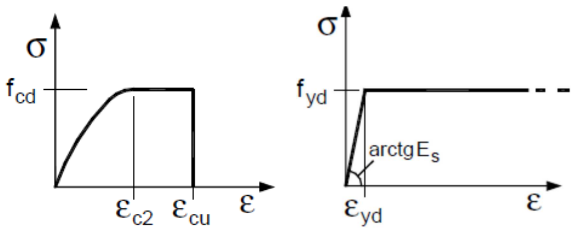


Figura 8-1 – Diagrammiσ–ε [NTC 2008]

Per la classe di calcestruzzo adoperata i valori di deformazione ε_{c2} ed ε_{cu} valgono rispettivamente 0.2% e 0.35%. La deformazione ultima ε_{yd} dell'acciaio è pari all'1%.

Con riferimento alla sezione pressoinflessa in figura, la verifica di resistenza si conduce controllando che:

$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$

Dove:

M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed};

N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale dell'azione;

M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Le sollecitazioni di progetto sono ottenute moltiplicando, per opportuni fattori amplificativi, i valori caratteristici derivanti dall'analisi numeriche. Nella fattispecie, essendo i carichi sui rivestimenti di natura permanente e compiutamente definita, il fattore moltiplicativo è stato assunto pari a 1.3.

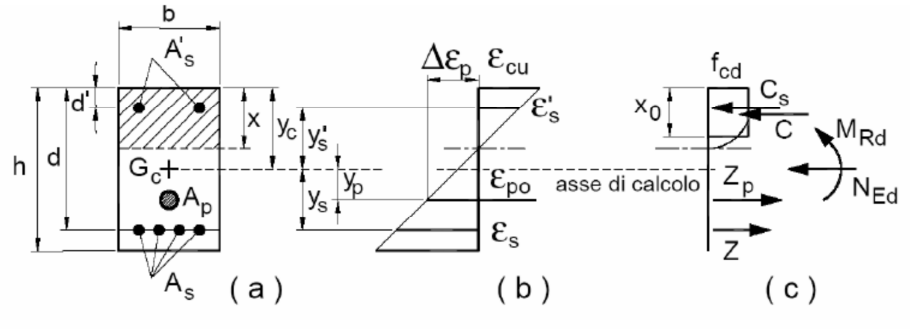


Figura 8-2: Sezione pressoinflessa [NTC 2008]

8.2.3.2 Taglio

In generale gli elementi delle gallerie non sono provvisti di una specifica armatura a taglio. Per quanto riguarda gli elementi che prevedono una armatura a flessione la resistenza verrà valutata con la seguente formulazione:

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{1}{\gamma_c} 0.18 \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq \left(\upsilon_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d$$

nella quale:

$$\gamma_c = 1.5$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} < 0.02$$ rapporto geometrico di armatura longitudinale

$$\upsilon_{\min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 f_{cd}$$ tensione media di compressione della sezione

essendo *d* l'altezza utile e b_w la larghezza minima della sezione.

La verifica di resistenza è soddisfatta se vale la seguente disuguaglianza $V_{Rd} \geq V_{Ed}$.

Nel caso in cui la verifica sopra riportata non risulti soddisfatta si prevede l'installazione di una specifica armatura a taglio. La resistenza dell'elemento strutturale si valuta dunque come:

V_{Rd} = min (V_{Rsd}, V_{Rcd})

In cui:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot ctg\,\theta$$

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

Per il significato dei simboli si faccia riferimento allo specifico capitolo di normativa (4.1.2.1.3.2).

Per quanto riguarda le sezioni armate non armate si considereranno i limiti imposti dalle NTC'08 sulle tensioni tangenziali nel calcestruzzo:

$\tau_c < 0.21\ f_{ctk}$ (calcestruzzo non armato)

dove f_{ctk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione del calcestruzzo. Le verifiche verranno espresse in termini di taglio resistente valutato attraverso la relazione:

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{A}$$

9 FASE DI DIAGNOSI

9.1 Previsione del comportamento della galleria e dell'ammasso allo scavo – cenni teorici

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

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

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

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

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

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

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

<u>GALLERIE A FRONTE STABILE (CASO A)</u>

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono a esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo prevalentemente in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento. Saranno sufficienti, nel breve termine, interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

GALLERIE A FRONTE STABILE A BREVE TERMINE (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che non ha più un comportamento di tipo elastico, ed assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con tale ridistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente ne consegue una decompressione dell'ammasso roccioso al fronte che porta a una riduzione della resistenza. Questa decompressione deve essere opportunamente regimata, nel breve termine, mediante adeguati interventi di contenimento e, in funzione dei tassi deformativi, di preconsolidamento al fronte, in grado di contenere l'ammasso e condurlo verso condizioni di stabilità; diversamente lo stato tenso-deformativo può evolvere verso condizioni di instabilità del cavo. Il rivestimento definitivo costituirà il supporto del cavo a lungo termine.

GALLERIE A FRONTE INSTABILE (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti, manifestandosi prima ancora che avvenga lo scavo oltre il fronte stesso. L'incremento di deformazioni nell'ammasso roccioso portano a un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche. Il contenimento dei fenomeni deformativi deve avvenire prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell' effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine. Il rivestimento definitivo costituirà il supporto del cavo a lungo termine.

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

- entità del fenomeno deformativo al fronte e a scavo avvenuto
- entità della fascia plasticizzata al fronte e a scavo avvenuto
- andamento della linea caratteristica (forma e ampiezza del tratto elastico e plastico)

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

- se la convergenza prevista al fronte è inferiore allo 0.5% del raggio medio, il comportamento è di classe A; se invece la convergenza prevista al fronte è maggiore dello 0.5% ma inferiore al 1.5% del raggio medio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- se la fascia plastica risulta non rilevante (inferiore a 0.5 volte il raggio) il comportamento è di classe A; se invece la fascia plastica è maggiore di 0.5 volte il raggio ma inferiore a 1.5 volte il raggio il comportamento è di classe B, altrimenti di classe C;
- si valuta la forma della linea caratteristica del cavo; in classe A questa è quasi interamente lineare (tratto elastico); in classe B compare una parte curva (tratto plastico) ma non rilevante; in classe C il tratto curvo è rilevante e generalmente, a pressione nulla, le convergenze del cavo non sono compatibili con lo scavo o hanno andamento asintotico senza mai convergere.

9.2 Analisi di stabilità del fronte e del cavo

9.2.1 Procedura operativa

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

Si sono pertanto individuati differenti settori dell'opera caratterizzati da comuni caratteristiche geomeccaniche (range GSI dell'ammasso), implementando le analisi di previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo in relazione allo stato tensionale dell'ammasso in cui si collocano i settori geo-meccanicamente omogenei.

Il comportamento dell'ammasso allo scavo mediante le curve caratteristiche del cavo derivate secondo la soluzione proposta da Carranza-Torres (2004 - Elasto-plastic solution of tunnel problems using the generalized form of the Hoek-Brown failure criterion – International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Proceedings of the ISRM SINOROCK 2004 Symposium, edited by J.A. Hudson and Xia – Ting Feng, Volume 41, Issue 3) basata sul criterio di rottura Hoek-Brown generalizzato, per mezzo elastico perfettamente plastico e riferite alla qualità geomeccanica media dell'ammasso nell'ambito di ciascun settore omogeneo individuato (assunzione del parametro GSI medio del range identificato nel Profilo Geologico di previsione).

Sono state effettuate, per la fase di diagnosi, sia analisi di tipo probabilistico sia analisi di tipo deterministico. Entrambe le tipologie con il programma RocSupport.

Sono state svolte analisi probabilistiche per le seguenti sezioni:

- Sezione 1: 30 metri di copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione 2: 50 metridi copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione 3: 100 metridi copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione 4: 150 metridi copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione 5: 200 metridi copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione 6: 260 metridi copertura, Flysch Monte Antola

Si riporta, di seguito,la tabella relativa ai parametri geomeccaniciattribuiti alle sezioni su cui è stata condotta l'analisi probabilistica. Alle pagine successive sono forniti gli istogrammi relativi alle distribuzioni di probabilità assunte per i differenti parametri meccanici.

		σ_c			GSI			E	
v	mi	Range ristretto	m ristretto	sqm ristretto	Range ristretto	m ristretto	sqm ristretto	Range	media
[-]	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
0.25	12	20 - 70	45	8.34	55 - 65	60	1.67	1277- 22875	9.360

Figura 9-1: Rangeparametrigeomeccaniciformazione FMA Sezioni da 1 a 6

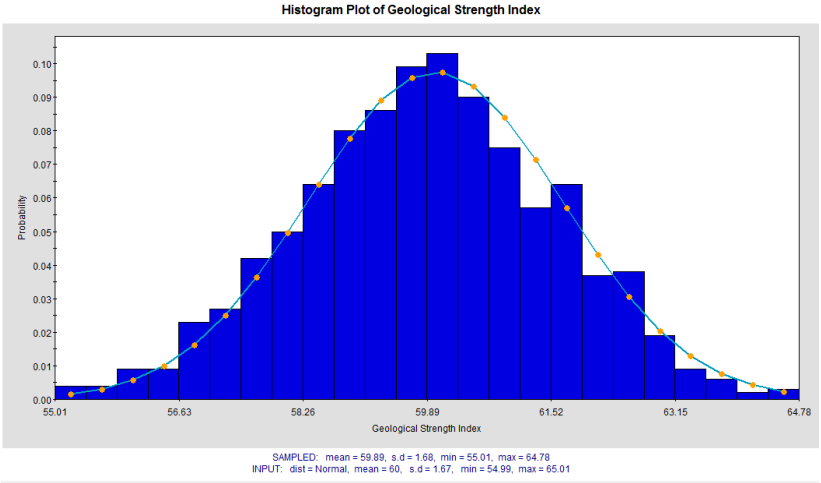


Figura 9-2: Distribuzione GSI interpretata dal programma RocSupport

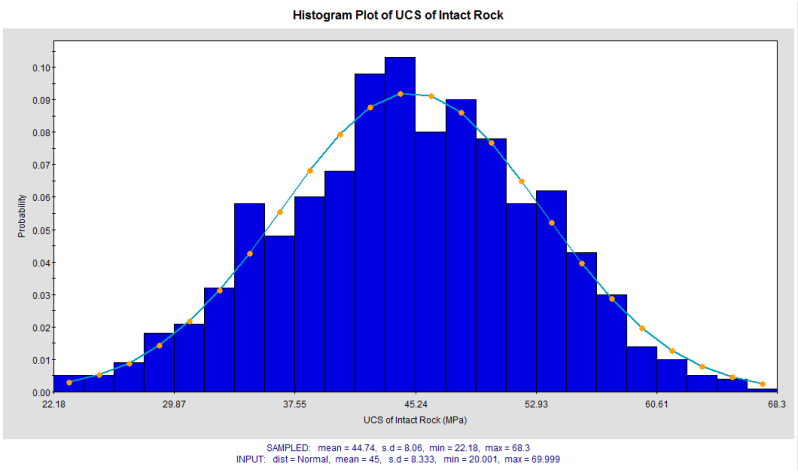


Figura 9-3: Distribuzione UCS interpretata dal programma RocSupport

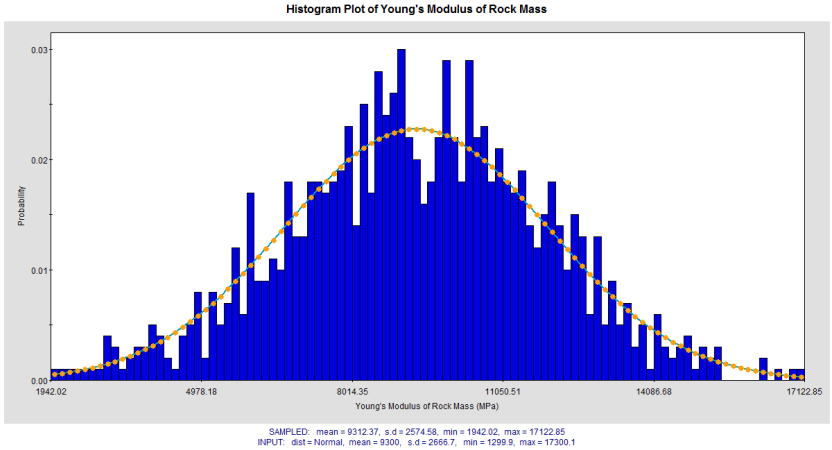


Figura 9-4: Distribuzione "E" interpretata dal programma RocSupport

Sono state implementate analisi deterministiche (stante la specificità dei contesti geomeccanici di analisi) per le seguenti sezioni:

- Sezioni di Faglia: 150 metridi copertura, Flysch Monte Antola
- Sezione di attraversamento delle Argilliti del Montoggio: 40 metridi copertura
- Sezione di Faglia all'interno dell'attraversamento delle Argilliti del Montoggio: 50 metridi copertura

v	mi	σ_c	GSI	E
[-]	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]
0.25	12	20	30	650

Figura 9-5: parametri geomeccanicideterministici Sezione di faglia FMA

v	mi	σ_c	GSI	E
[-]	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]
0.25	8.4	5	40	160

Figura 9-6: parametri geomeccanicideterministici Sezione nelle AM

v	mi	σ_c	GSI	E
[-]	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]
0.25	8.4	5	30	80

Figura 9-7: parametri geomeccanicideterministici Sezione di faglia nelle AM

L'analisi di diagnosi ha tenuto in considerazione la variabilità delle coperture. E' stata, infatti, effettuata una diagnosi per le seguenti coperture assumento coerentemente lo stato di stress in situ:

Coperture indagate	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	30	50	100	150	200	257
Peso unità di volume	[kN/m3]	[kN/m3]	[kN/m3]	[kN/m3]	[kN/m3]	[kN/m3]
	26	26	26	26	26	26
In-situ stress	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
	0.78	1.3	2.6	3.9	5.2	6.682

Figura 9-8: In-situ stress relativo alle coperture indagate

Le curve sono state calcolate assumendo una cavità cilindrica di raggio 5.35 m per le sezioni da 1 a 6 e 5.45 per le sezioni in zona di faglia e in corrispondenza dell'attraversamento delle Argilliti Montoggio.

9.2.2 *Esito delle analisi*

Per ogni sezione di calcolo (copertura), si riportano i seguenti grafici:

- Curva caratteristica: “Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]”, calcolata sulla media dei parametri le cui distribuzioni sono state elaborate statisticamente.

- Distribuzione cumulativa della convergenza: “Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]”, derivata dall’implementazione degli scenari di calcolo sviluppati tramite selezione automatica dei parametri (campionamento con Metodo di Monte Carlo) nell’ambito delle specifiche distribuzioni statistiche fornite al software di calcolo.

- Distribuzione cumulativa del raggio plastico derivata dall’implementazione degli scenari di calcolo sviluppati tramite selezione automatica dei parametri (campionamento con Metodo di Monte Carlo) nell’ambito delle specifiche distribuzioni statistiche fornite al software di calcolo.

Per le sezioni di faglia e di attraversamento del Montoggio si riportano esclusivamente le curve caratteristiche ed il risultato relativo al raggio plastico calcolato su base analitica, non essendo state elaborate analisi di tipo probabilistico.

Sezione 1 –Copertura 30 metri

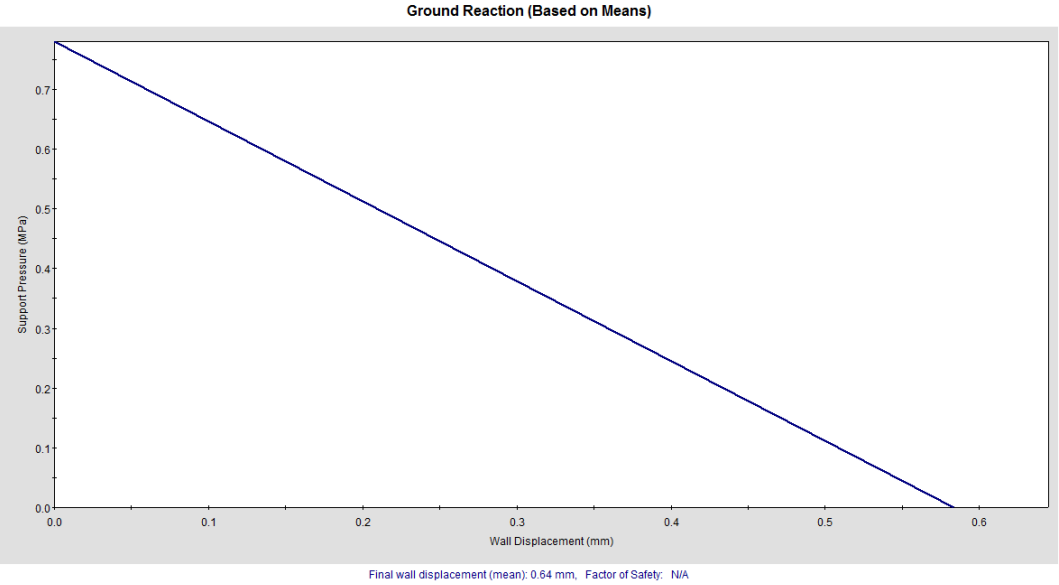


Figura9-9: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 1: 30 metri

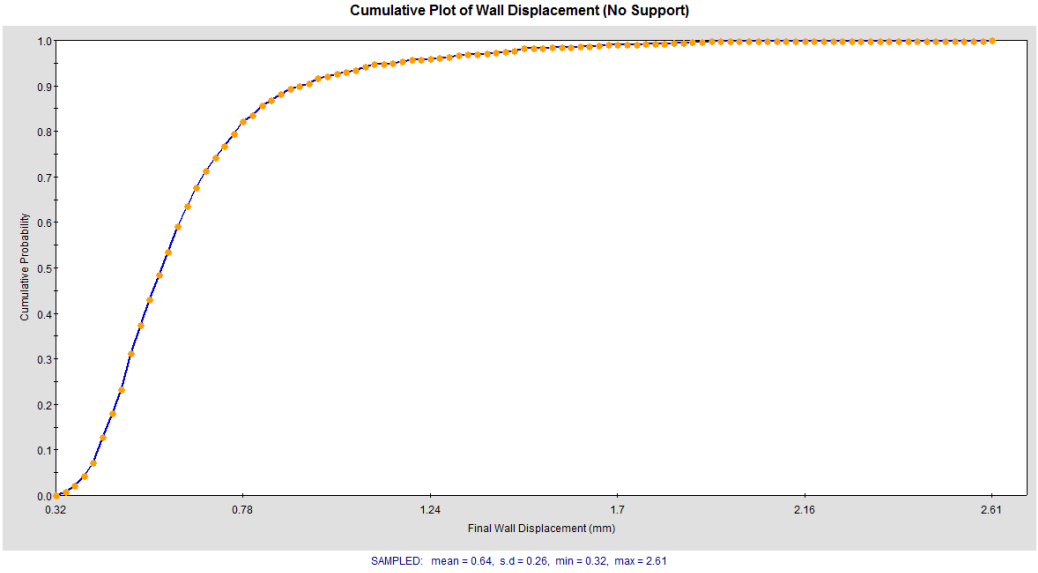
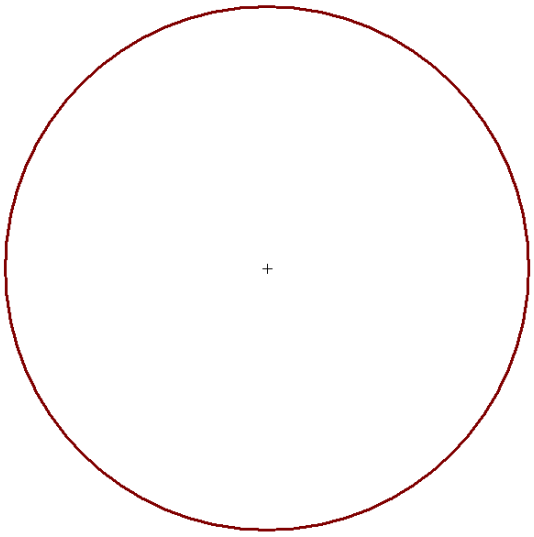


Figura 9-10: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]"]" – Sezione 1: 30 metri



Project Title: Analisi uno 25.09
Project Settings: Probabilistic Analysis, Carranza-Torres Solution
Tunnel Radius: 5.35m
In-situ Stress: 0.78MPa
Mean of:
Radius of Plastic Zone: 5.35m
Tunnel Convergence: 0.01%

Figura 9-11: Raggio plastico– Sezione 1: 30 metri

Sezione 2 –Copertura 50 metri

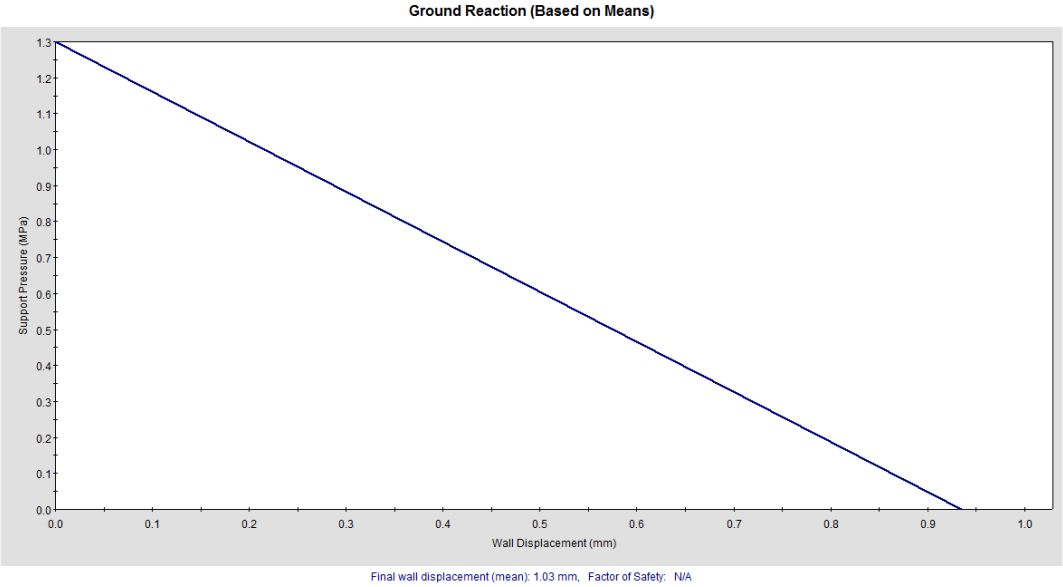


Figura 9-12: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 2: 50 metri

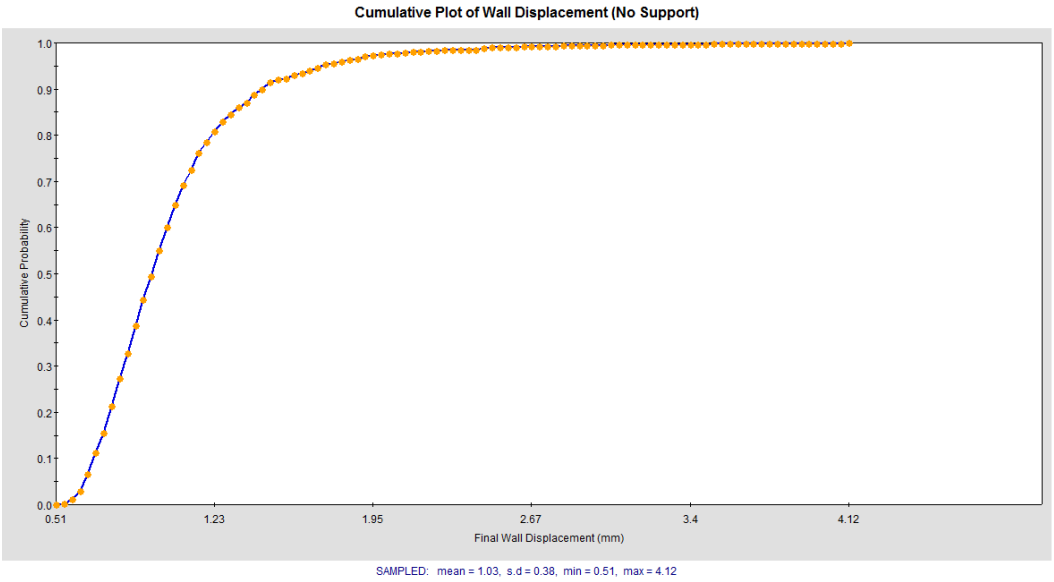


Figura 9-13: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]" – Sezione 2: 50 metri

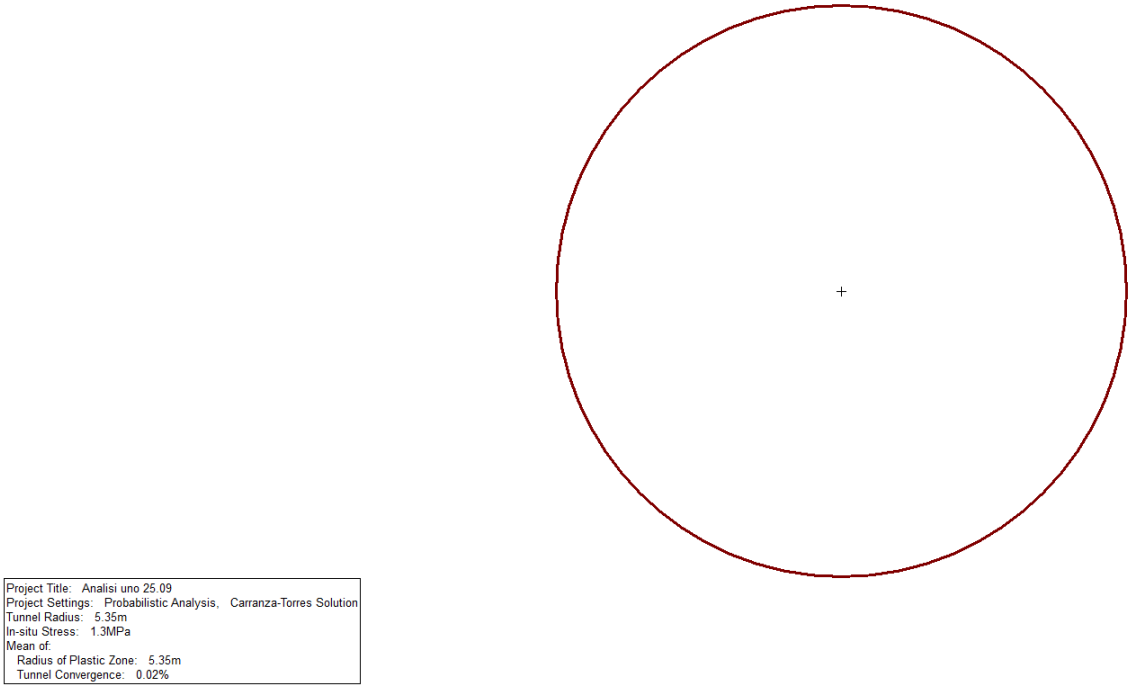


Figura 9-14: Raggio plastico– Sezione 2: 50 metri

Sezione 3 –Copertura 100 metri

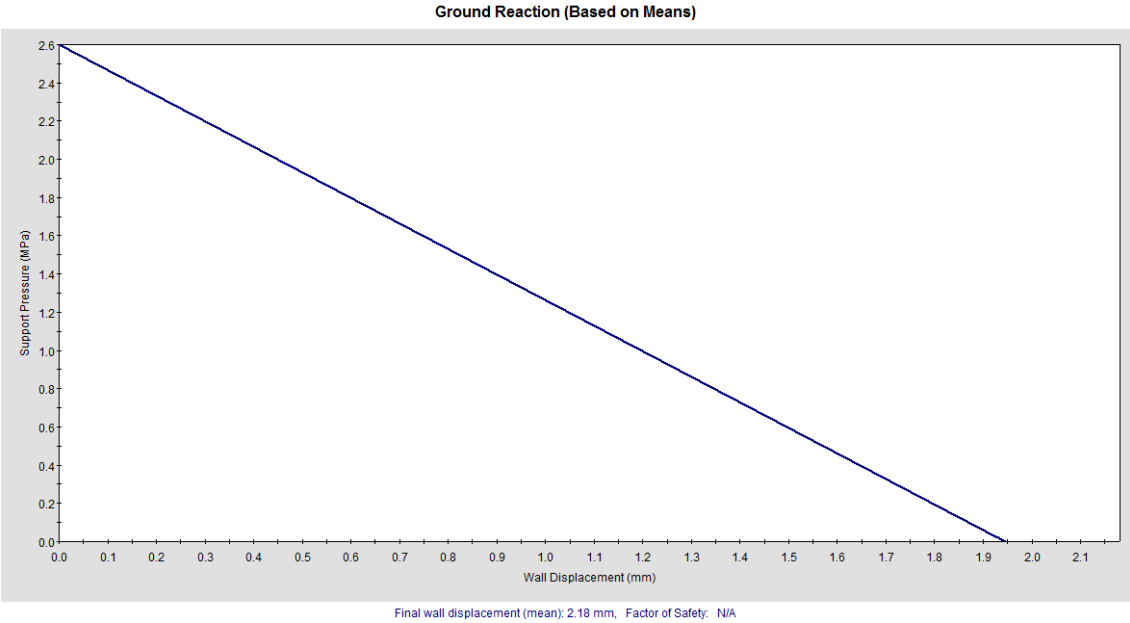


Figura 9-15: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 3: 100 metri

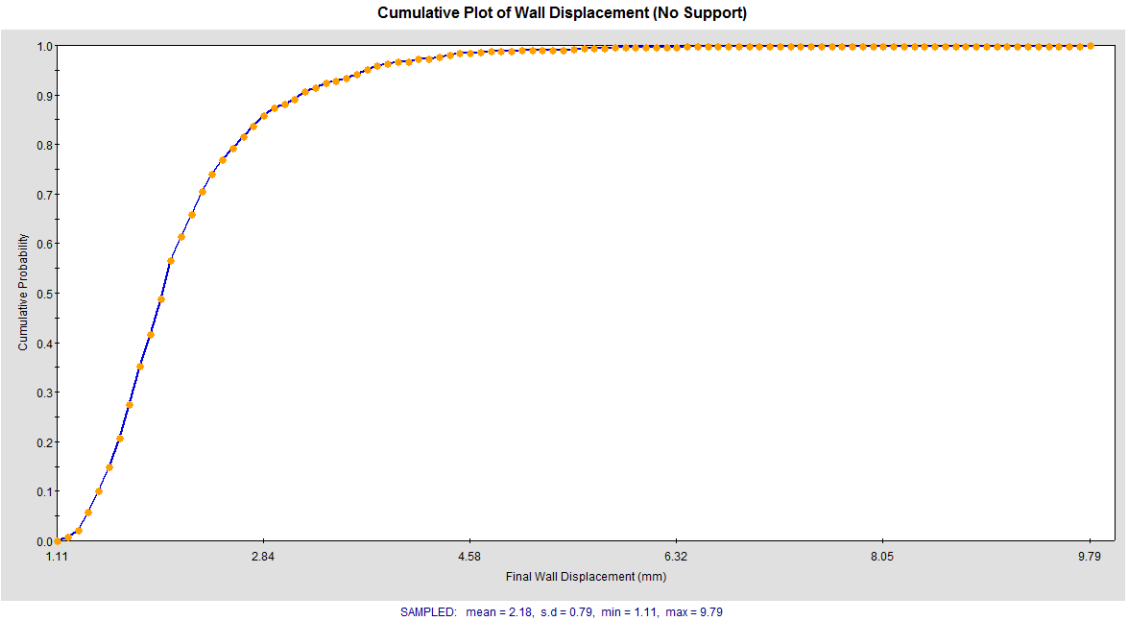


Figura 9-16: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]" – Sezione 3: 100 metri

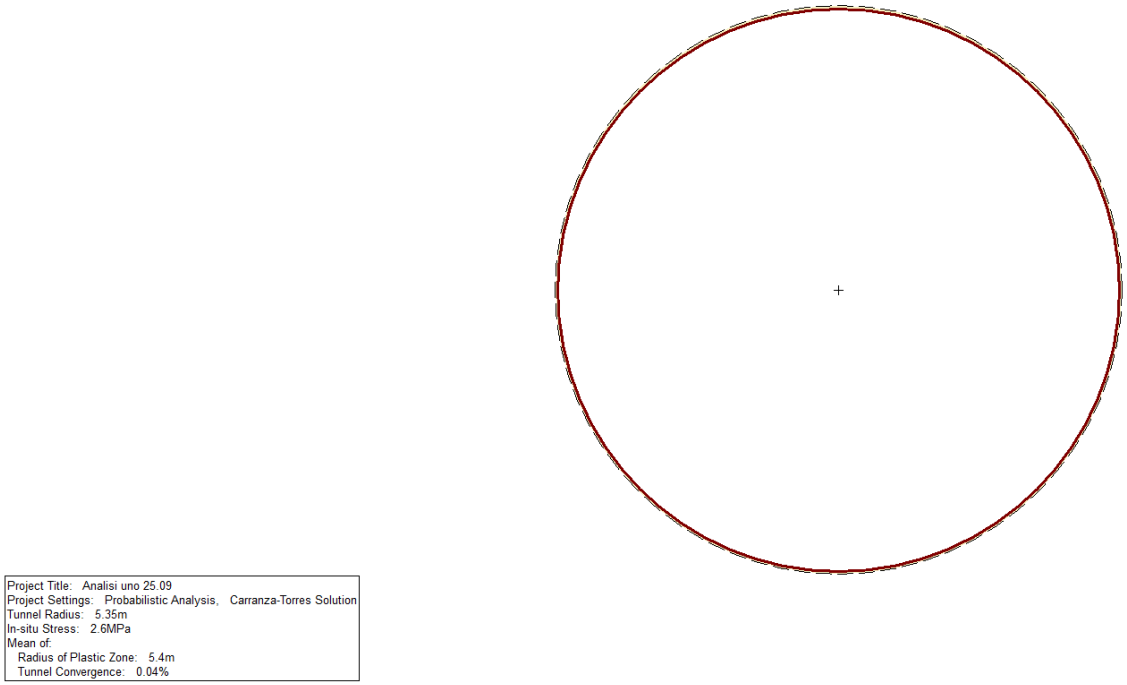


Figura 9-17: Raggio plastico– Sezione 3: 100 metri

Sezione 4 –Copertura 150 metri

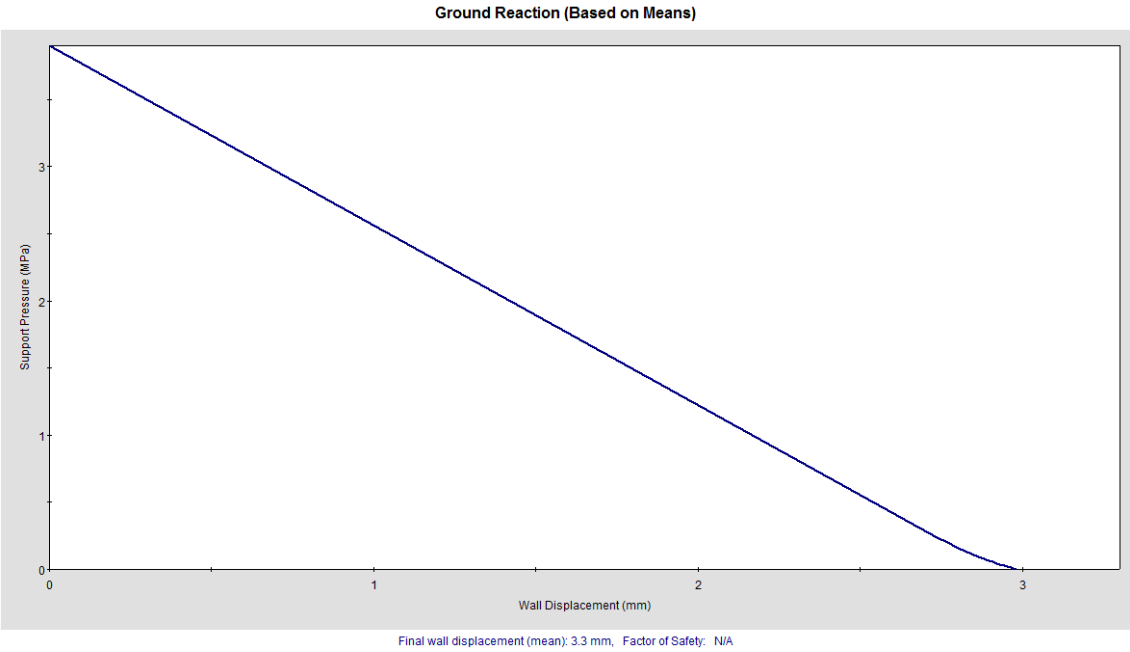


Figura 9-18: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 4: 150 metri

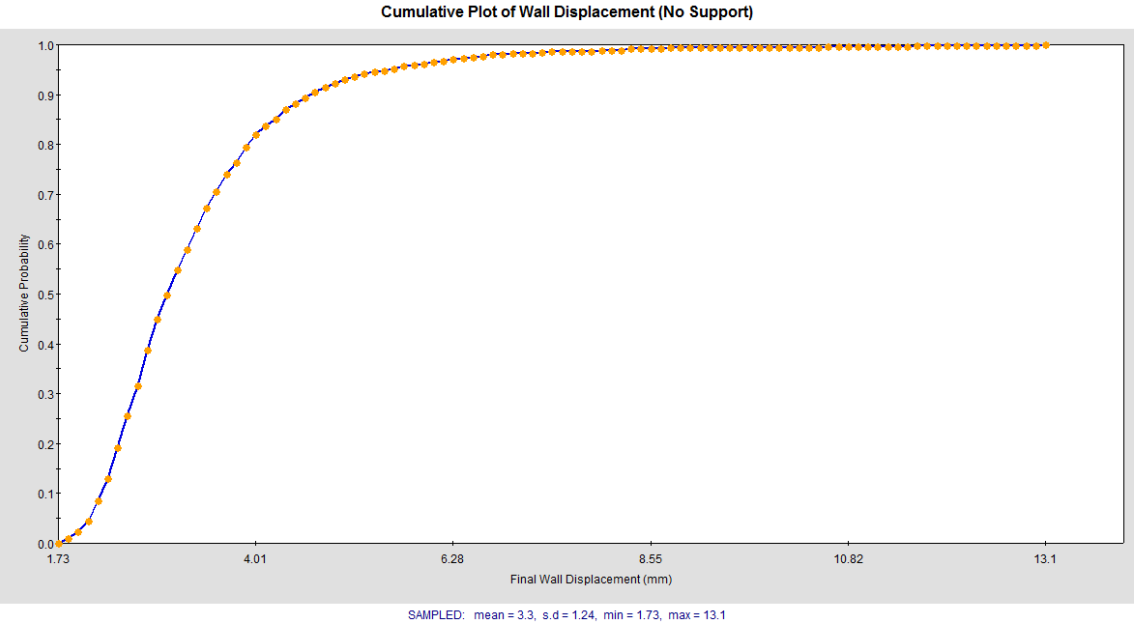


Figura 9-19: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]" – Sezione 4: 150 metri

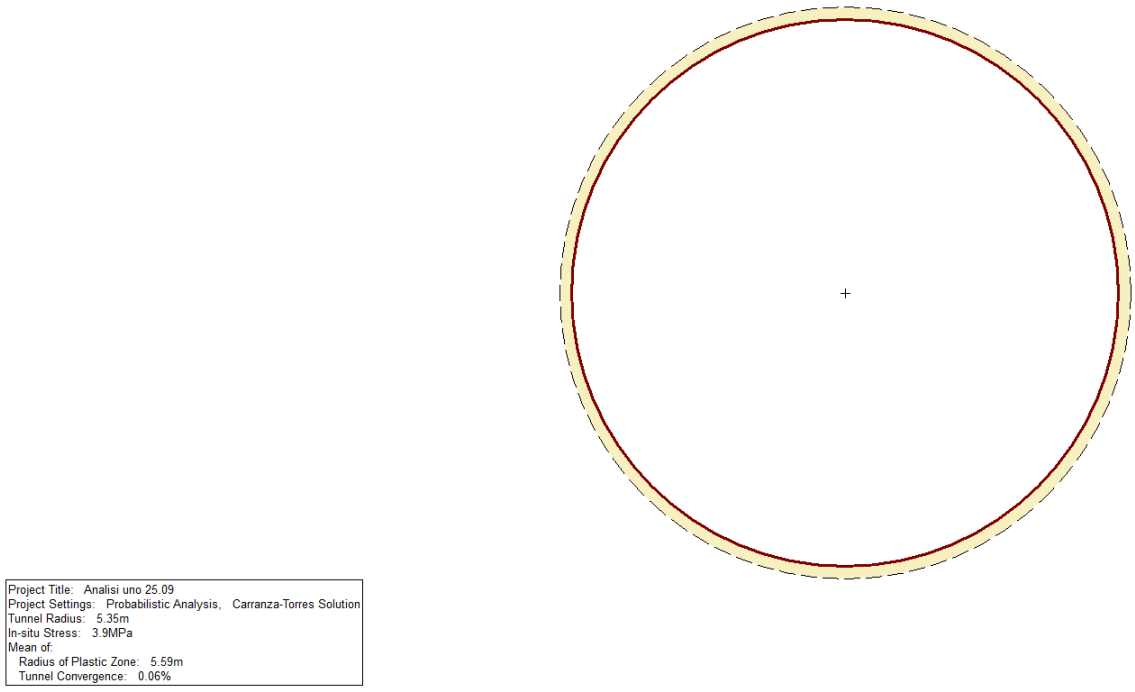


Figura 9-20: Raggio plastico– Sezione 4: 150 metri

Sezione 5 –Copertura 200 metri

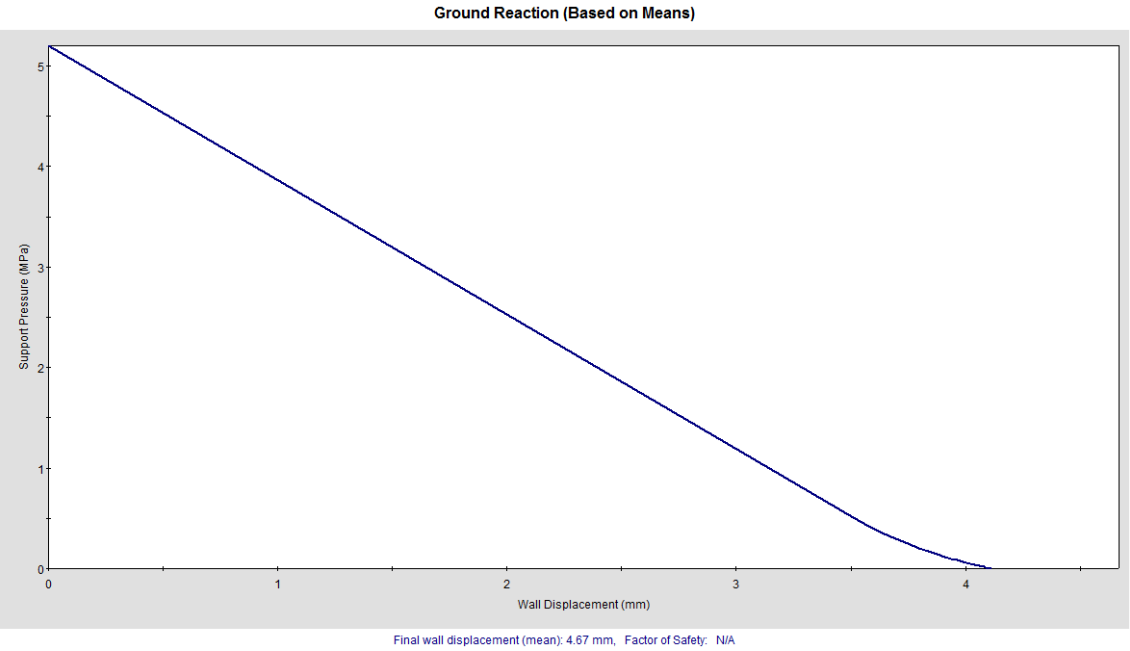


Figura 9-21: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 5: 200 metri

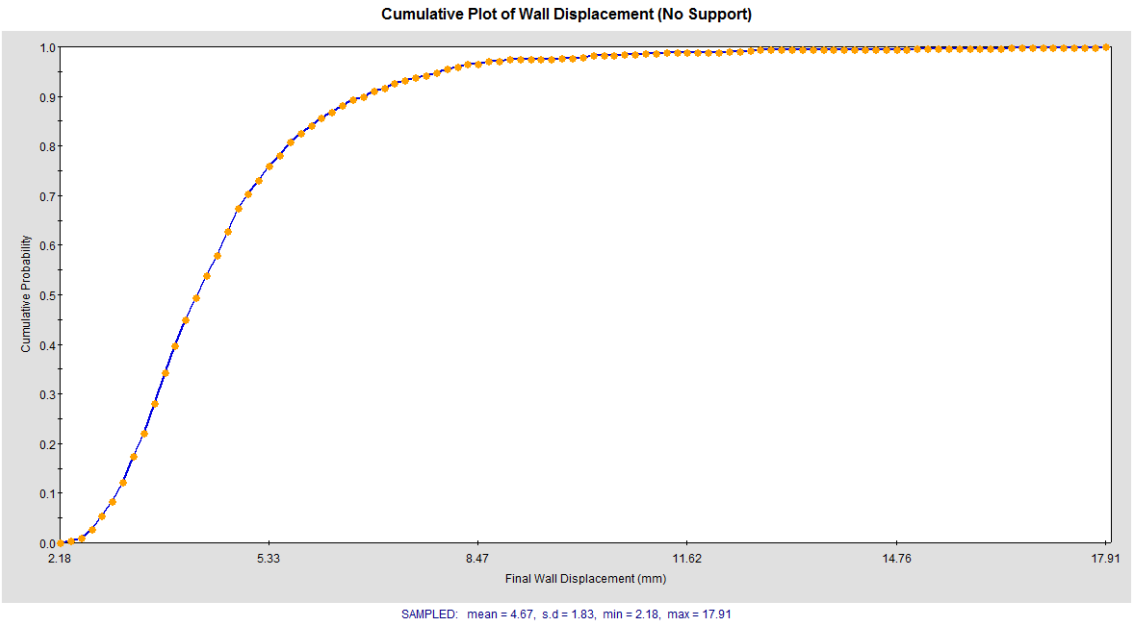


Figura 9-22: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]" – Sezione 5: 200 metri

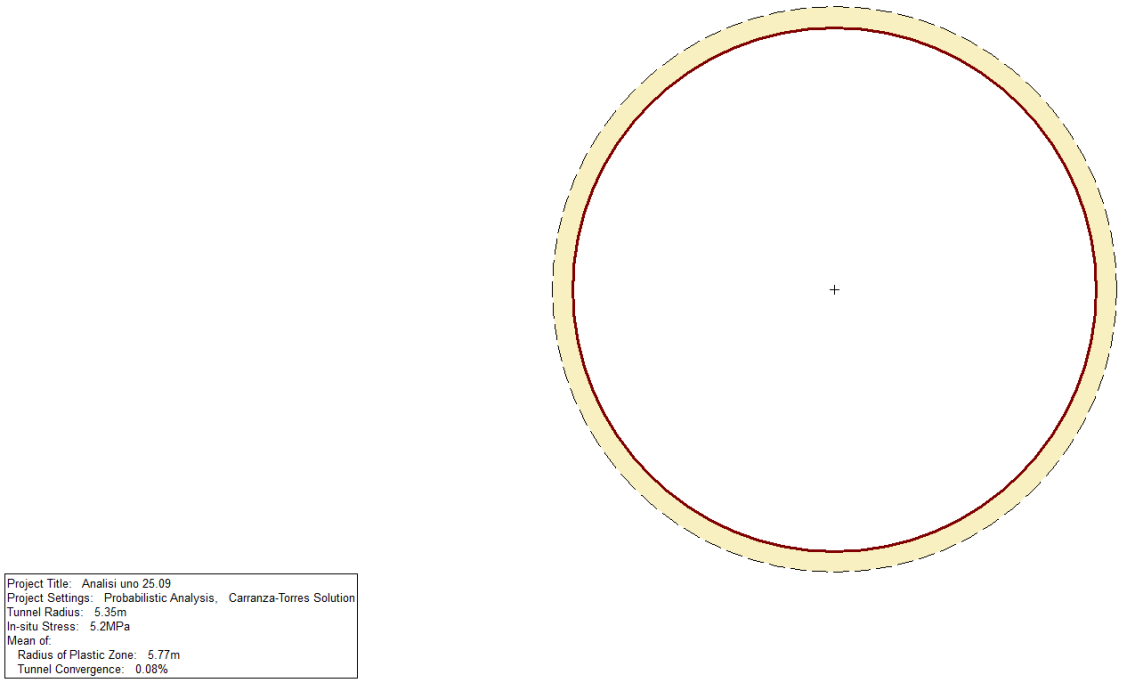


Figura 9-23: Raggio plastico– Sezione 5: 200 metri

Sezione 6 –Copertura 260 metri

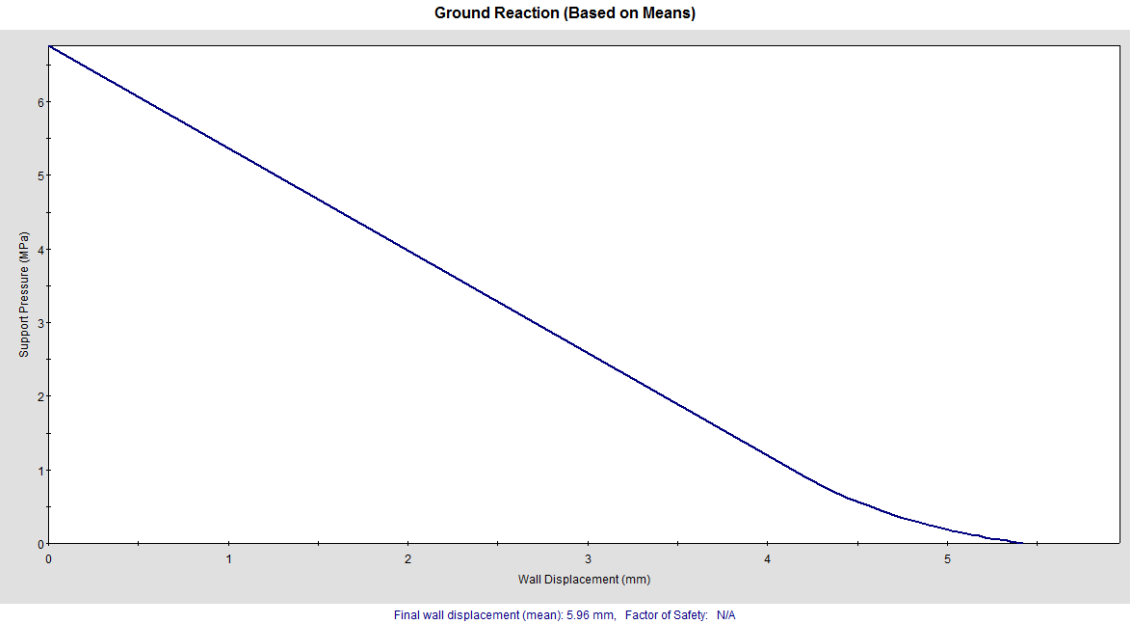


Figura 9-24: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione 6: 260 metri

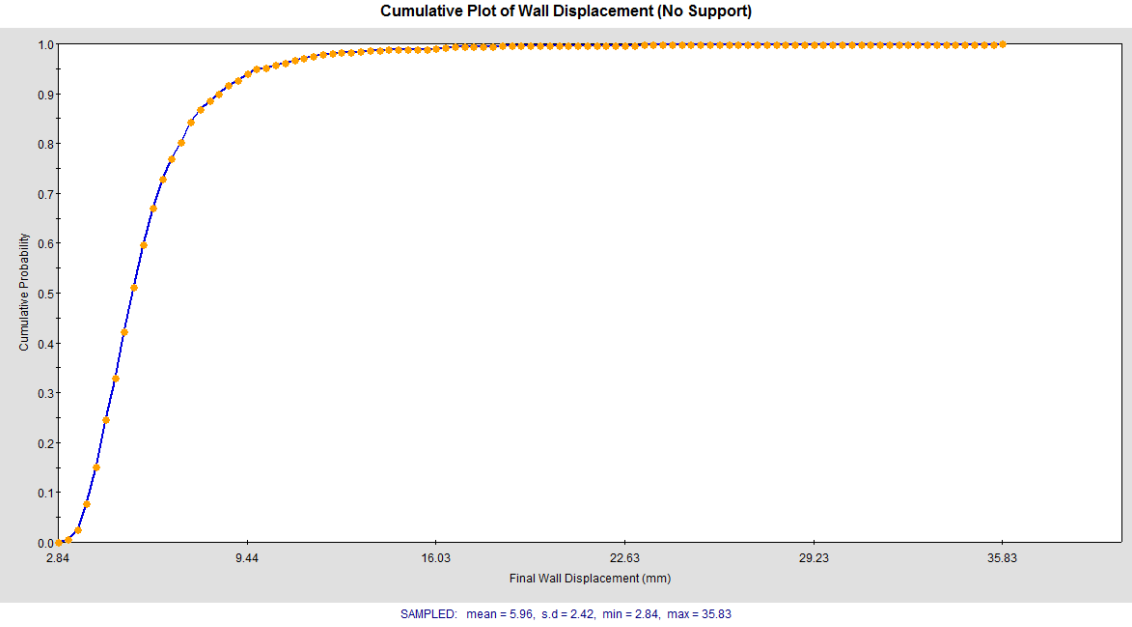


Figura 9-25: "Cumulativ probability [%] – Final wall displacement [mm]" – Sezione 6: 260 metri

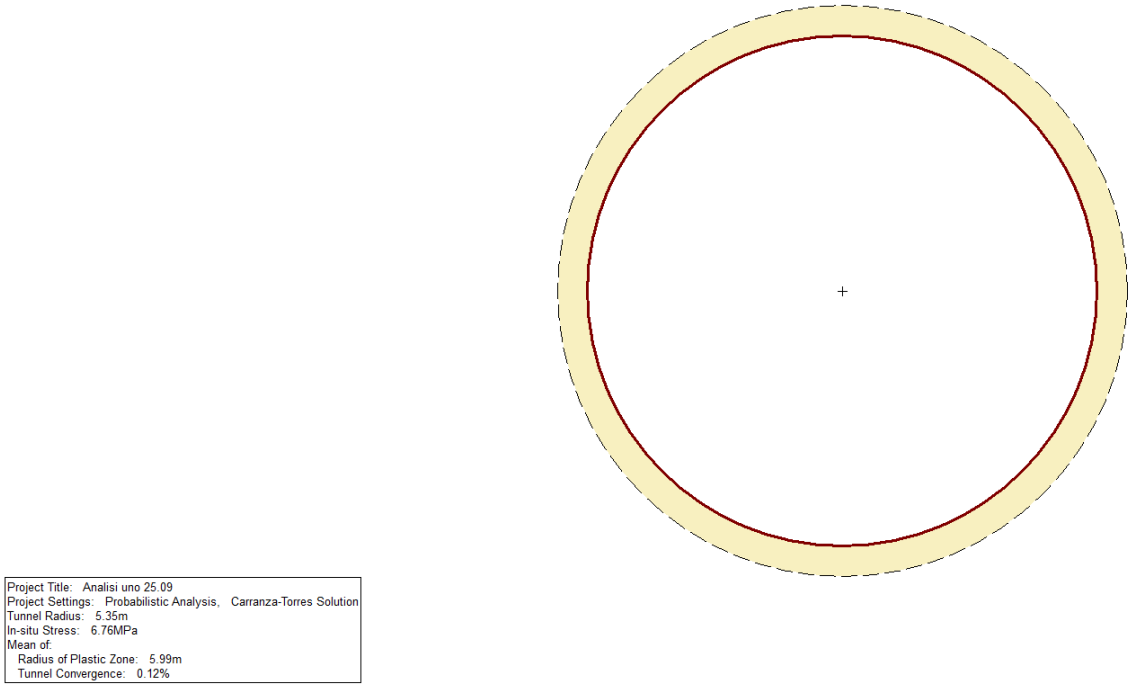


Figura 9-26: Raggio plastico– Sezione 6: 260 metri

Sezione di Faglia – formazione FMA : 150 metri

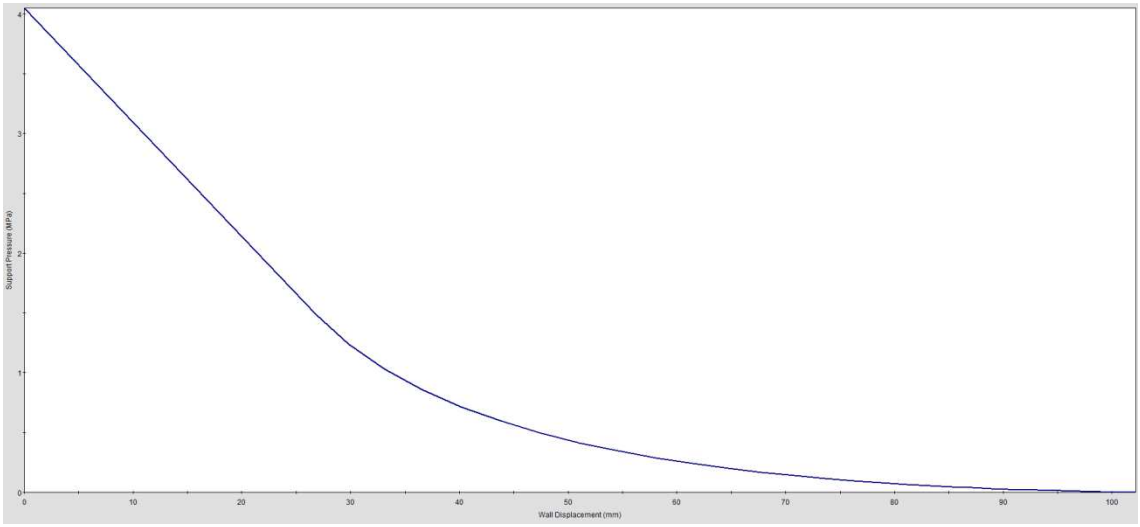
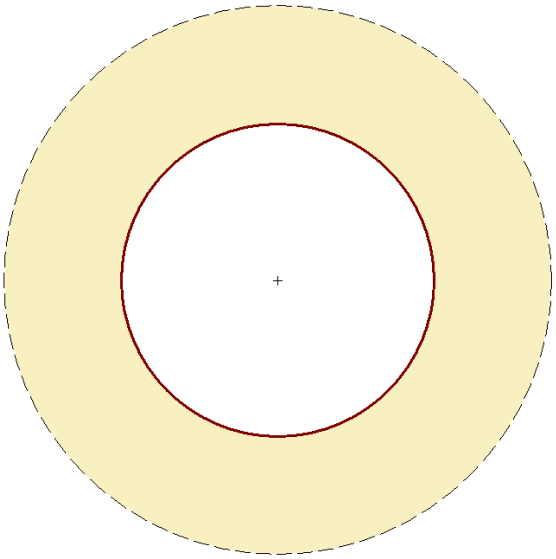


Figura 9-27: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione di Faglia in FMA



Project Title: Analisi uno 25.09
Project Settings: Deterministic Analysis, Carranza-Torres Solution
Tunnel Radius: 5.45m
In-situ Stress: 4.05MPa
Radius of Plastic Zone: 9.54m
Tunnel Convergence: 1.88%

Figura 9-28: Raggio plastico – Sezione di Faglia in FMA

Sezione di Attraversamento Formazione AM

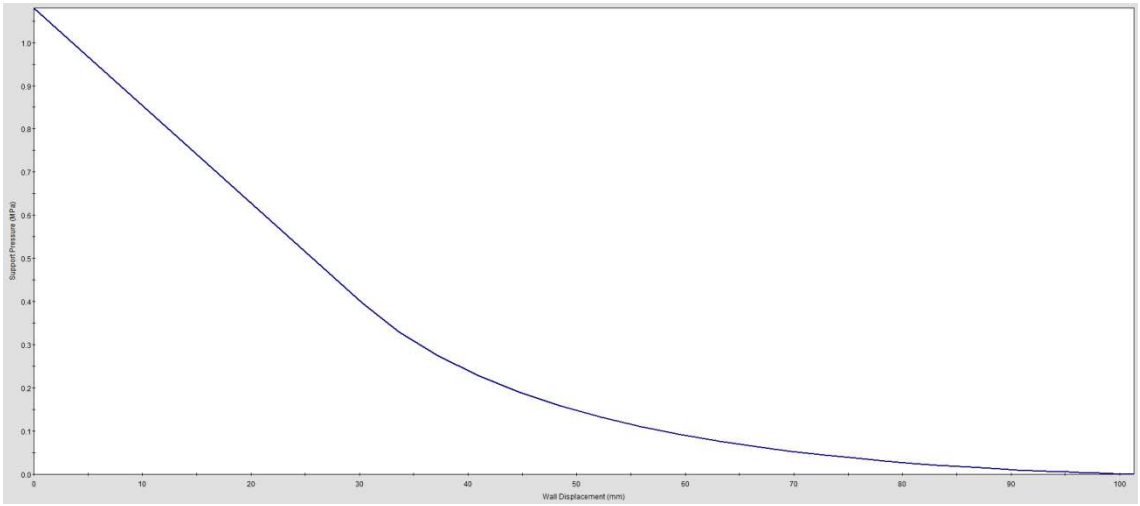
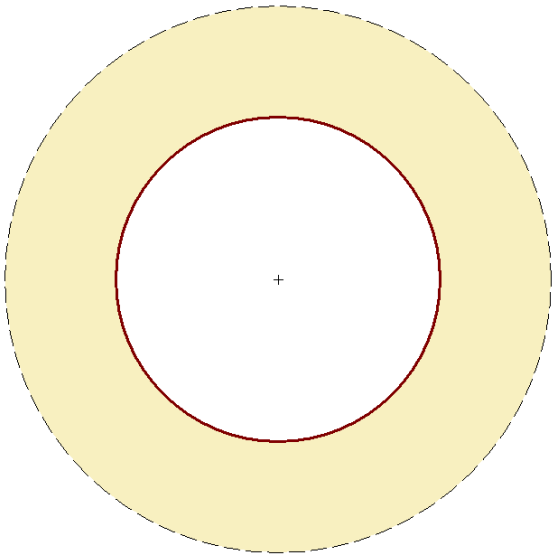


Figura 9-29: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione di attraversamento Formazione AM



Project Title: Analisi uno 25.09
Project Settings: Deterministic Analysis, Carranza-Torres Solution
Tunnel Radius: 5.45m
In-situ Stress: 1.08MPa
Radius of Plastic Zone: 9.19m
Tunnel Convergence: 1.86%

Figura 9-30: Raggio plastico– Sezione di attraversamento Formazione AM

Sezione di Faglia nella Formazione AM

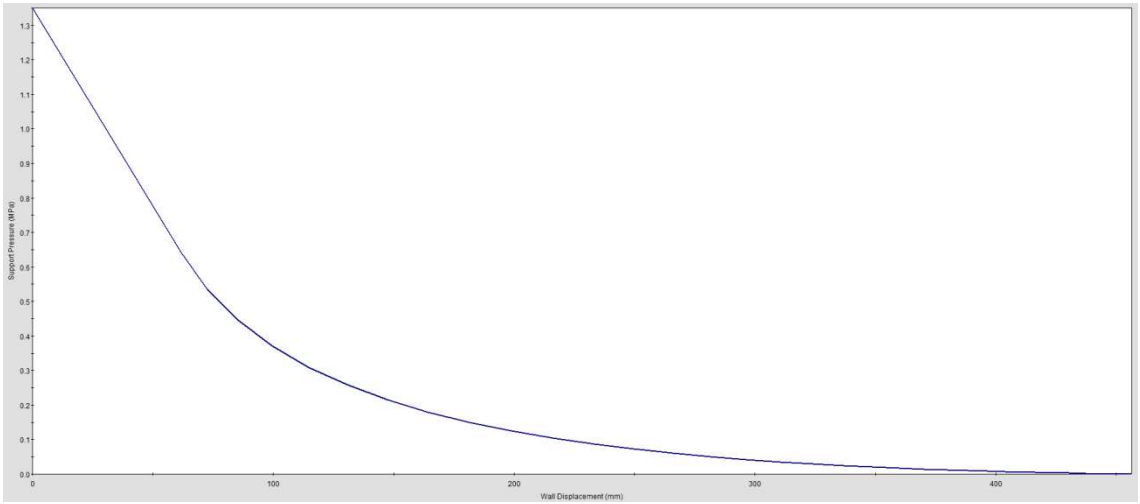
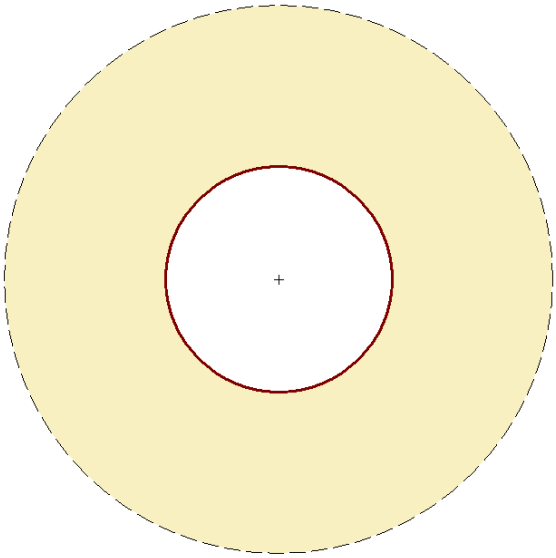


Figura 9-31: "Support pressure [MPa] – Wall Displacement [mm]" – Sezione di Faglia nella Formazione AM



Project Title: Analisi uno 25.09
Project Settings: Deterministic Analysis, Carranza-Torres Solution
Tunnel Radius: 5.45m
In-situ Stress: 1.35MPa
Radius of Plastic Zone: 13.17m
Tunnel Convergence: 8.37%

Figura 9-32: Raggio plastico– Sezione di Faglia nella Formazione AM

9.2.3 *Quadro di sintesi delle classi di comportamento dell'ammasso all'apertura del cavo*

Nella tabella che segue sono esplicitate, per ogni sezione, le classi di comportamento allo scavo identificate sulla scorta delle analisi tenso-deformative dell'ammasso al contorno del cavo. Per i criteri di attribuzione delle classi di scavo si rimanda a quanto già descritto in precedenza. I risultati esplicitati sono riferiti all'esito delle analisi di convergenza basate sui parametri medi delle distribuzioni statistiche elaborate.

Sezione	Copertura	Raggio tunnel	Spostamento radiale (fronte)	Convergenza (fronte)	Raggio plastico (cavo)	Classe di comportamento media
[-]	[m]	[m]	[mm]	[%]	[m]	[-]
1	30	5.35	0.2	0.01	5.35	A
2	50	5.35	0.3	0.01	5.35	A
3	100	5.35	0.6	0.01	5.4	A
4	150	5.35	0.9	0.02	5.59	A
5	200	5.35	1.3	0.02	5.78	A
6	260	5.35	1.7	0.03	5.99	A

Figura 9-33: Attribuzione Classe di comportamento Sezioni da 1 a 6

Si osserva che il comportamento medio dell'ammasso a livello del fronte è stabile (classe A), in tutti i casi di analisi considerati.

Per quanto riguarda le sezioni di faglia in FMA e di attraversamento della formazione AM, la classificazione fornisce i seguenti risultati

Sezione	Copertura	Raggio tunnel	Spostamento radiale (fronte)	Convergenza (fronte)	Raggio plastico (cavo)	Classe di comportamento media
[-]	[m]	[m]	[mm]	[%]	[m]	[-]
Faglia in FMA	150	5.45	31.45	0.58	9.54	B
Montoggio	40	5.45	30.6	0.57	9.02	B
Faglia Montoggio	50	5.45	140.5	2.58	13.17	C

Figura 9-34: Attribuzione Classe di comportamento Sezioni in faglia e AM

Nei suddetti contesti di analisi si attendono quindi risposte tenso-deformative del fronte riconducibili alle classi di comportamento B (faglia FMA, Montoggio) e C (faglia Montoggio).

10 FASE DI TERAPIA

In fase di Terapia vengono associati alla categoria di comportamento individuata gli interventi di consolidamento, preconsolidamento e rivestimento più adatti, che definiscono la sezione tipo "media", in funzione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso.

Nel seguito si i 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.

Per la distribuzione lungo il tracciato delle varie sezioni tipo d'avanzamento si faccia riferimento ai profili geomeccanici.

10.1 Sezione tipo MAb1

10.1.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 2,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

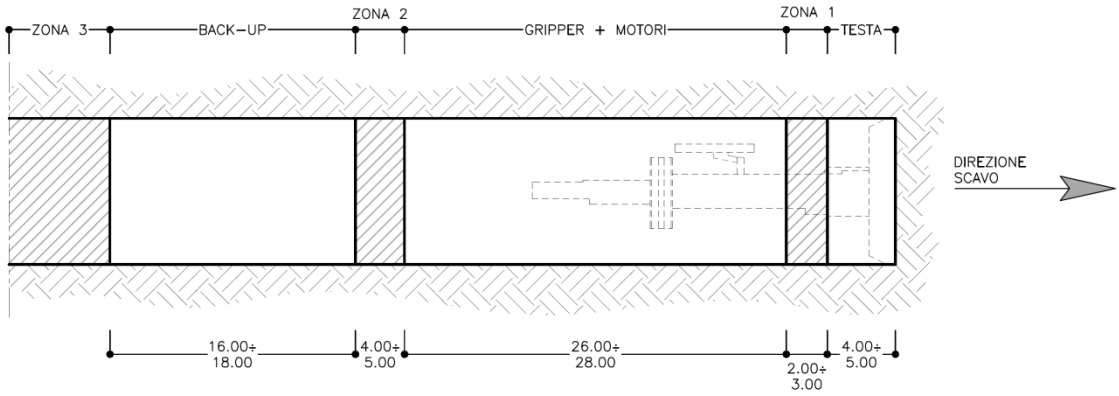


Figura 10-1 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 7÷8 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,50 m (ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,50 m).

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=10,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=10,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.1.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAb1 è costituita dai seguenti interventi:

- 7/8 bulloni radiali superswellex Pm24 (N_y ≥ 200 KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.);
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 10,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,50 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.2 Sezione tipo MAb2

10.2.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 2,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

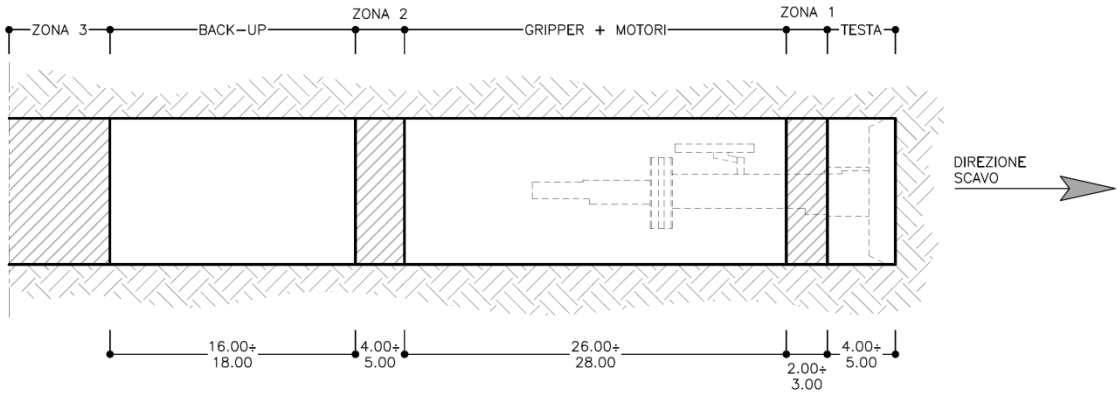


Figura 10-2 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 11÷12 bulloni radiali superswellex Pm24 (N_y ≥ 200 KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,50 m (ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,50 m).

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=10,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=10,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.2.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAb2 è costituita dai seguenti interventi:

- 11/12 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.);
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 10,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,50 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.3 Sezione tipo MAb3

10.3.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 2,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

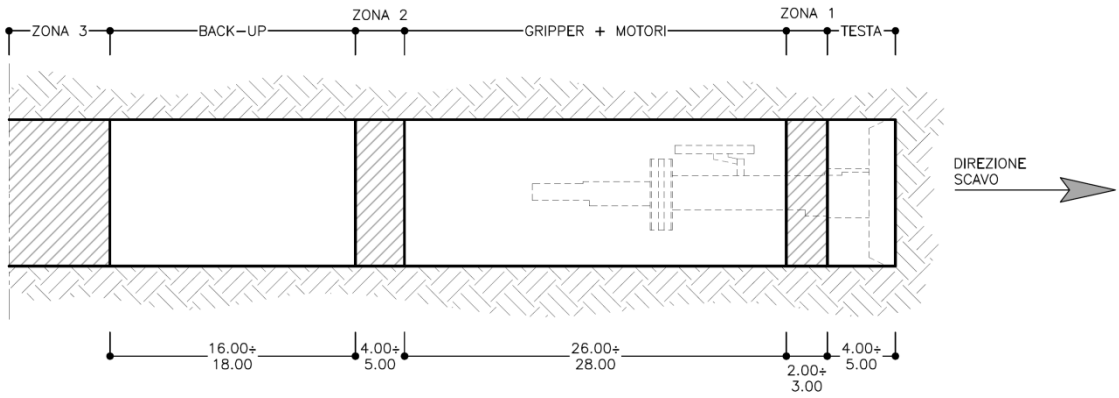


Figura 10-3 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 15÷16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,50 m (ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,50 m).

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=10,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=10,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.3.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAb3 è costituita dai seguenti interventi:

- 15/16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.);
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 10,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,50 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.4 Sezione tipo MAc1

10.4.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,5 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

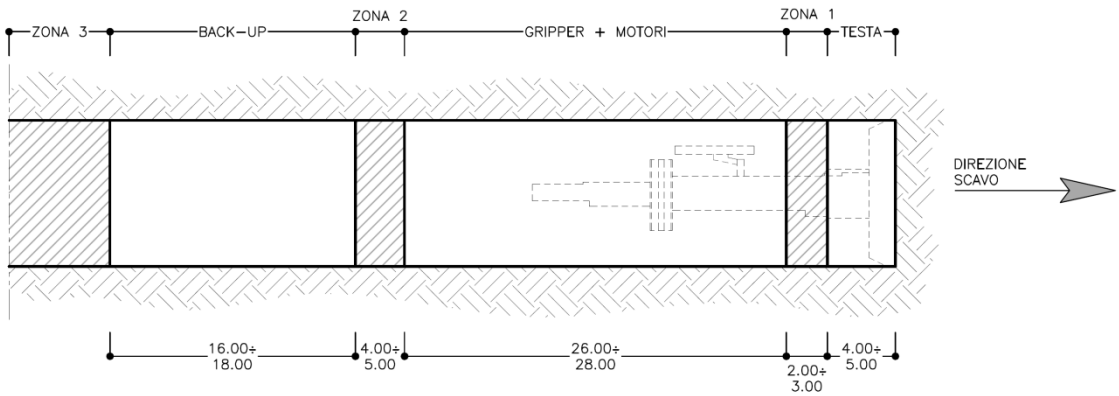


Figura 10-4 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 15÷16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,50 m (ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,00 m). Contestualmente si prevedrà la posa in opera,

nello spazio tra due interventi di chiodatura successivi, di centine metalliche 1 HEB 140 a passo 1,50 m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.4.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAc1 è costituita dai seguenti interventi:

- 15/16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,50 m (long.);
- Centine metalliche 1 HEB 140, passo 1,50 m;
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.5 Sezione tipo MAc2

10.5.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

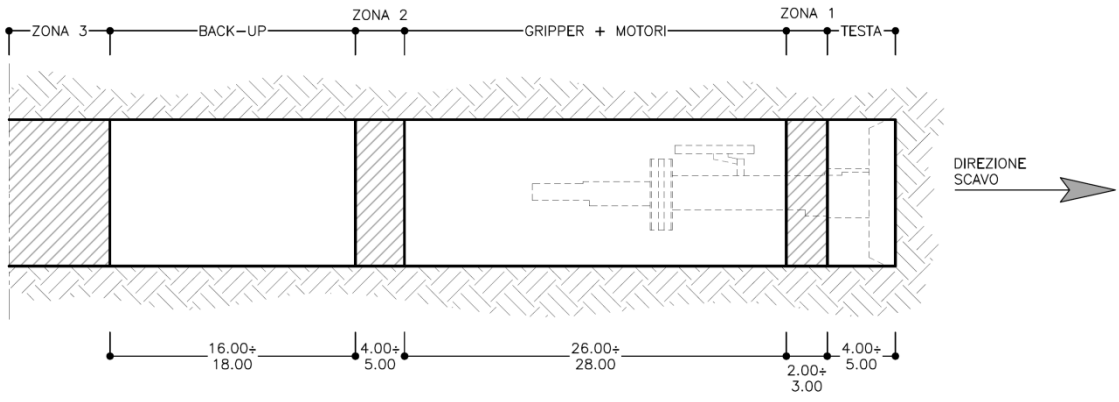


Figura 10-5 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 15÷16 bulloni radiali superswellex Pm24 (N_y ≥ 200 KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,00 m (ad una distanza massima dalla coda dello testa pari a 1,00 m). Contestualmente si prevedrà la posa in opera, nello spazio tra due interventi di chiodatura successivi, di centine metalliche 1 HEB 140 a passo 1,00 m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.5.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAc2 è costituita dai seguenti interventi:

- 15/16 bulloni radiali superswellex Pm24 (N_y ≥ 200 KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,00 m (long.);
- Centine metalliche 1 HEB 140, passo 1,00 m;
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in CLS di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.6 Sezione tipo MAc2v

10.6.1 Fasi Esecutive

A partire dalla zona 1 di lavoro verrà eseguito un intervento di presostegnoin calotta mediante la posa in opera di 16 tubi metallici Ø 114/7mm, attrezzati mediante 2 vlv/m iniettate ad alta pressione, di lunghezza pari a 12,0 m e con sovrapposizione pari a 4,0 m. Il campo di avanzamento è quindi di 8,0 m.

Successivamente lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

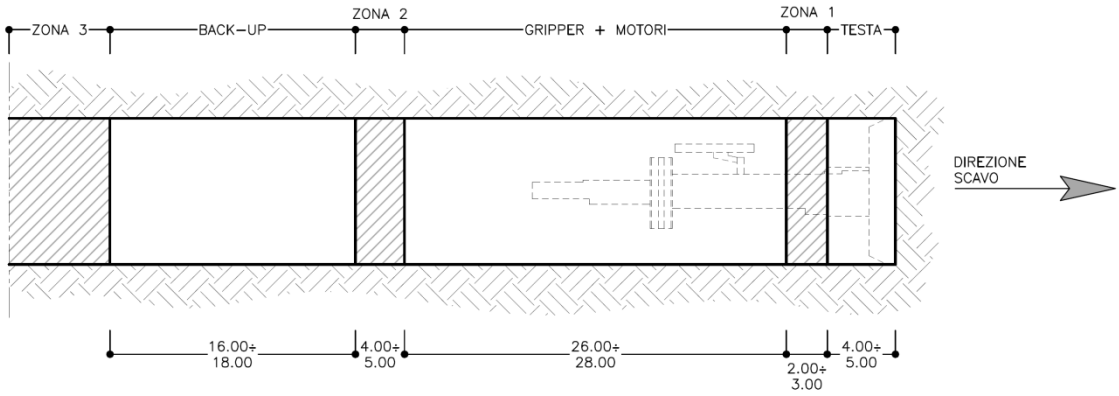


Figura 10-6 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà alla perforazione propedeutica all'intervento di bullonatura al contorno, al posizionamento di una rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) e infine alla posa in opera di 15÷16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, disposti a maglia 1,50 x 1,00 m (ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,00 m). Contestualmente si prevedrà la posa in opera, nello spazio tra due interventi di chiodatura successivi, di centine metalliche 1 HEB 140 a passo 1,00 m, collegate alle altre mediante apposite catene.

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.6.2 Interventi previsti

La sezione tipo MAc2v è costituita dai seguenti interventi:

- Presostegno al contorno con n°16 tubi metallici Ø114,0 mm, sp.=7,0mmvalvolati (2 vlv/m) e iniettati, L=12,0 m sovrapposizione 4,0 m;
- 15/16 bulloni radiali superswellex Pm24 ($N_y \geq 200$ KN), di lunghezza L≥4,50 m, maglia 1,50 m (trasv.) x 1,00 m (long.);
- Centine metalliche 1 HEB 140, passo 1,00 m;
- Rete elettrosaldata Ø6mm (maglia 10,0x10,0 cm) in acciaio B450 C;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in C.A. di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.7 Sezione tipo MB0

10.7.1 Fasi Esecutive

Lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

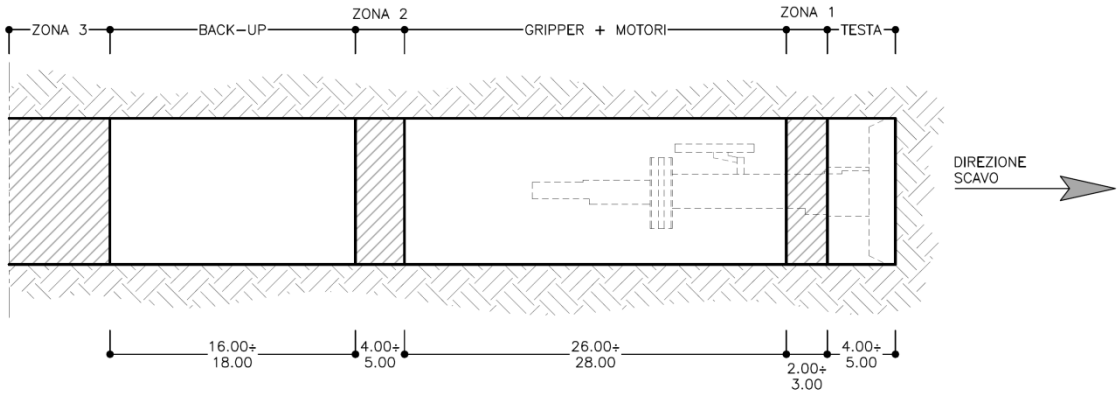


Figura 10-7 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà al posizionamento lungo il profilo di scavo di *linerplates*costituiti da 2 profilati UPN 140 laterali e 1 profilato HEB 140 centrali chiusi superiormente da una lastra metallica di spessore 5,0 mm, per uno sviluppo longitudinale di ciascun elemento pari a 1,0 m. I linerplates saranno disposti a passo 1,0 m, in affiancamento l'uno con l'altro, ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,00 m.

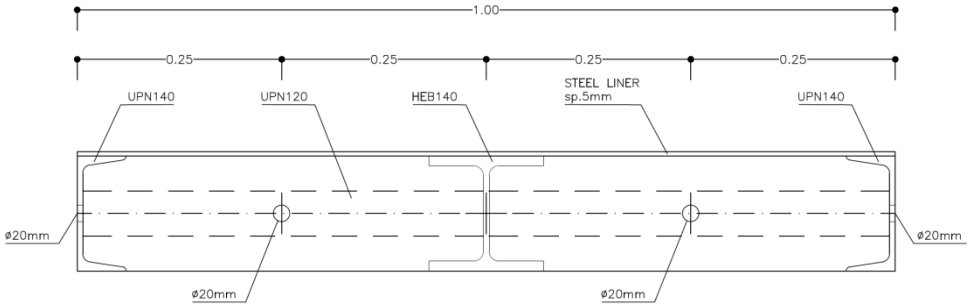


Figura 10-8 – Linerplates

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.7.2 Interventi previsti

La sezione tipo MB0 è costituita dai seguenti interventi:

- *Linerplates* costituiti da 2 profilati UPN 140 + 1 profilato HEB 140 + piastra metallica di spessore sp.=5,0 mm disposti a passo 1,0 m;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in C.A. di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.8 Sezione tipo MC1

10.8.1 Fasi Esecutive

A partire dalla zona 1 di lavoro verrà eseguito un intervento di preconsolidamento in calotta mediante la posa in opera di 16 tubi in PVC Ø 60/10mm, attrezzati mediante 2 vlv/m iniettate ad alta pressione, di lunghezza pari a 20,0 m e con sovrapposizione pari a 12,0 m. Il campo di avanzamento è quindi di 8,0 m.

Successivamente lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

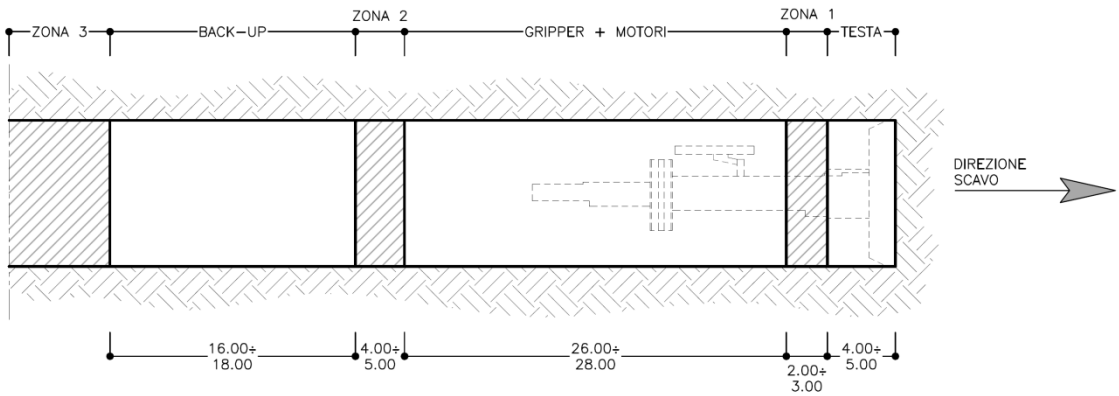


Figura 10-9 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà al posizionamento lungo il profilo di scavo di *linerplates*costituiti da 2 profilati UPN 140 laterali e 1 profilato HEB 140 centrali chiusi superiormente da una lastra metallica di spessore 5,0 mm, per uno sviluppo longitudinale di ciascun elemento pari a 1,0 m. I linerplates saranno disposti a passo 1,0 m, in affiancamento l'uno con l'altro, ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,00 m.

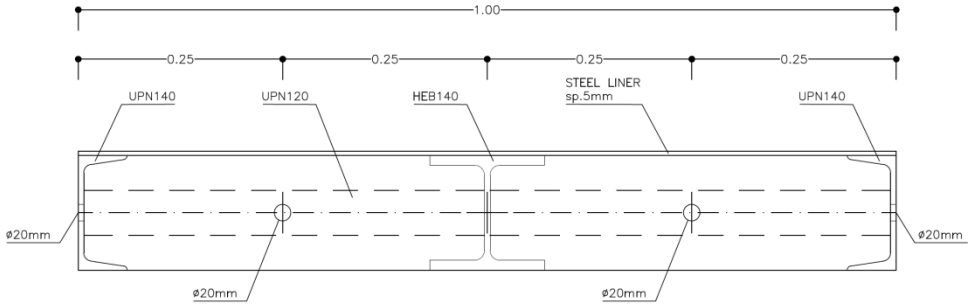


Figura 10-10 – Linerplates

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.8.2 Interventi previsti

La sezione tipo MC1 è costituita dai seguenti interventi:

- Preconsolidamento al contorno con n°16 tubi in PVC Ø60,0 mm, sp.=10,0mmvalvolati (2 vlv/m) e iniettati, L=20,0 m sovrapposizione 12,0 m;
- *Linerplates* costituiti da 2 profilati UPN 140 + 1 profilato HEB 140 + piastra metallica di spessore sp.=5,0 mm disposti a passo 1,0 m;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in C.A. di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

10.9 Sezione tipo MC2

10.9.1 Fasi Esecutive

A partire dalla zona 1 di lavoro verrà eseguito un intervento di preconsolidamento in calotta mediante la posa in opera di 32 tubi in PVC Ø 60/10mm, attrezzati mediante 2 vlv/m iniettate ad alta pressione, di lunghezza pari a 20,0 m e con sovrapposizione pari a 12,0 m. Il campo di avanzamento è quindi di 8,0 m.

Successivamente lo scavo verrà effettuato in meccanizzato con l'utilizzo di una fresa aperta, prevedendo avanzamenti massimi di lunghezza pari a 1,0 m (eventualmente riducibili qualora nel corso degli scavi si riscontrino condizioni geomeccaniche peggiori rispetto alle previsioni).

La TBM prevede differenti zone di lavoro, ubicate a distanze differenti dal fronte di scavo, come indicato schematicamente nella seguente figura:

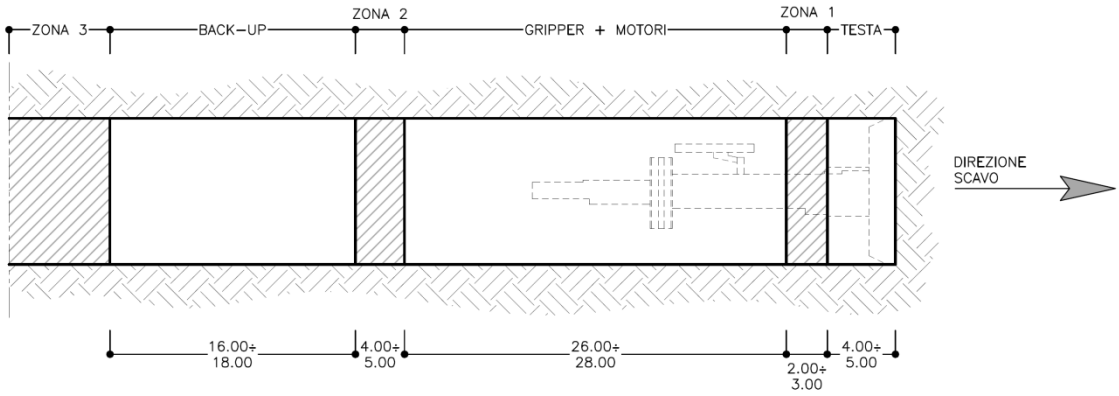


Figura 10-11 – Schema indicativo zone di lavoro per scavo con fresa aperta

Nella zona 1, ubicata a tergo della testa a circa 4,0÷5,0 m di distanza dal fronte di scavo, si provvederà al posizionamento lungo il profilo di scavo di *linerplates*costituiti da 2 profilati UPN 140 laterali e 1 profilato HEB 140 centrali chiusi superiormente da una lastra metallica di spessore 5,0 mm, per uno sviluppo longitudinale di ciascun elemento pari a 1,0 m. I linerplates saranno disposti a passo 1,0 m, in affiancamento l'uno con l'altro, ad una distanza massima dalla coda della testa pari a 1,00 m.

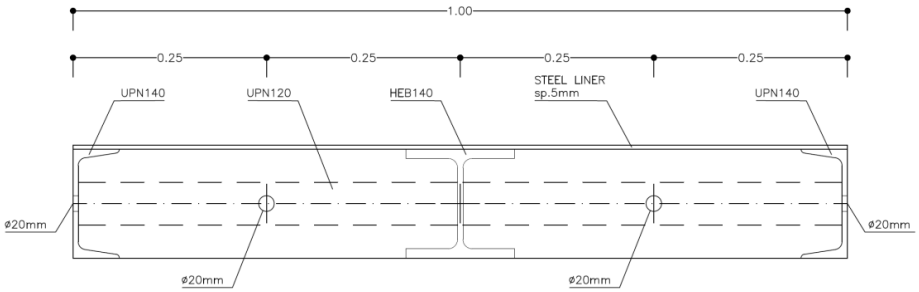


Figura 10-12 – Linerplates

Nella zona 2, a circa 35,0 m dal fronte dietro alla TBM, si provvederà alla posa in opera del concio prefabbricato di base, appoggiato su uno strato di malta di allettamento di spessore sp=20,0 cm, mentre nella zona 3 retrostante (dietro al back-up) si realizzerà uno strato di spritz-beton di spessore sp=15,0 cm.

Da ultimo verrà posta in opera l'impermeabilizzazione e si provvederà al getto del rivestimento definitivo.

10.9.2 Interventi previsti

La sezione tipo MC2 è costituita dai seguenti interventi:

- Preconsolidamento al contorno con n°32 tubi in PVC Ø60,0 mm, sp.=10,0mmvalvolati (2 vlv/m) e iniettati, L=20,0 m sovrapposizione 12,0 m;
- *Linerplates* costituiti da 2 profilati UPN 140 + 1 profilato HEB 140 + piastra metallica di spessore sp.=5,0 mm disposti a passo 1,0 m;
- Spritz-beton al contorno sp. 15,0 cm;
- Concio di base in C.A.;
- Rivestimento definitivo in C.A. di spessore 0,55 m;
- Impermeabilizzazione con teli in PVC.

11 ANALISI NUMERICHEAGLI ELEMENTI FINITI

Dopo una presentazione delle sezioni di calcolo ritenute rappresentative per fornire un riscontro delle scelte progettuali adottate, in questo capitolo vengono descritti alcuni aspetti comuni a tutte le analisi, posticipando ai capitoli seguenti la descrizione dettagliata dei modelli e delle fasi di calcolo.

11.1 Individuazione delle sezioni di calcolo

Ai fini del dimensionamento e della verifica degli interventi di sostegno provvisorio e definitivo da porsi in opera nell'ambito della realizzazione dello Scolmatore del Bisagno, si sono individuate le seguenti sezioni di analisi, rappresentative nel complesso della variabilità possibile dei seguenti elementi geomeccanici / morfologici, lungo lo sviluppo dell'opera.

Sezione 1– pk indicativa 5+387 -Montoggio – sezione tipo MB0

La sezione di analisi 1 è caratterizzata dall'attraversamento della formazione dell'Argillite del Montoggio (GSI 40). La sezione di scavo e consolidamento prevista è MB0 (definita in ragione delle risultanze della fase di Diagnosi).

Sezione 2– pk indicativa 5+450– MontoggioFaglia – sezione tipo MC3

La sezione 2 di analisisi colloca in corrispondenza della faglia prevista alla pk 5+450 all'interno della formazione dell'Argillite del Montoggio, secondo quanto riportato nel profilo geologico di previsione. Nella fascia tettonizzata si prevede un avanzamento con sezione tipo MC3. La qualità geomeccanica dell'ammasso è identificata da GSI 30.

Sezione 3– pkindicativa4+660– MaxCopertura -sezione tipo MAb2

La sezione di analisi è in corrispondenza delle massime coperture (circa 275m dalla calotta della sezione). Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola (GSI 60, medio del range risultato durante la fase di caratterizzazione dell'ammasso). Il dimensionamento e la verifica sono condotti nei riguardi degli interventi previsti nella sezione di scavo e consolidamento tipo MAb2 (definita in ragione delle risultanze della fase di Diagnosi).

Sezione 4 – pkindicativa5+800 – FagliaCopertura150m - sezione tipo MC2

La sezione di analisi si caratterizza l'attraversamento della zona di faglia alle massime coperture (150mdalla calotta della sezione). La qualità dell'ammasso roccioso è caratterizzato da GSI 30 associato per tale formazione alle zone di faglia. Il dimensionamento e la verifica sono condotti nei riguardi degli interventi previsti nella sezione di scavo e consolidamento tipo MC2 (definita in ragione delle risultanze della fase di Diagnosi).

11.2 Procedura operativa di analisi

Le sezioni sopra individuate come rappresentative del tratto in esame sono state analizzate mediante un modello ad elementi finiti. L'analisi numerica su modelli bidimensionali è articolata secondo stage successivi di calcolo, a simulare le fasi di scavo e posa in opera degli interventi di sostegno provvisorio e definitivo del cavo.

Si sono introdotte, secondo la consueta procedura operativa, un sistema di forze fittizie di scavo agenti in direzione ortogonale al profilo di scavo medesimo, di entità progressivamente ridotta secondo una legge di taratura basata su modelli numerici assial-simmetrici specificatamente sviluppati per le sezioni di analisi che prevedevano coperture maggiori o uguali a 3 diametri.

Gli elementi strutturali che costituiscono rivestimenti definitivi e prerivestimenti sono stati modellati coerentemente alle loro reali caratteristiche geometriche.

Nel seguito dopo una presentazione del procedimento di taratura del rilascio tensionale sono descritte le fasi di calcolo e le modalità di schematizzazione dei vari elementi strutturali.

11.2.1 Procedimento operativo per la taratura del rilascio tensionale progressivo dell'ammasso nei modelli di calcolo bidimensionali

La procedura operativa per la taratura è nello specifico consistita nei seguentistep operativi:

1. Sviluppo di modello assial-simmetrico specifico per la sezione di calcolo, tramite software FEM Phase 2 – v 8.0. Sono stati riprodotti i differenti sfondi di scavo, corrispondentemente alla massima lunghezza di sfondo prevista dal Progetto. Le analisi sono state implementate modellando l'ammasso roccioso come continuo isotropo con legame costitutivo elasto plastico perfetto. Si è in particolare considerato un modello costitutivo del tipo elasto-plastico perfetto per ammassi tettonizzati. Si propongono a seguire, a solo titolo esemplificativo, le immagini del modello assial-simmetrico implementatoper la sezioni di calcolo num. 2 (MAb2).

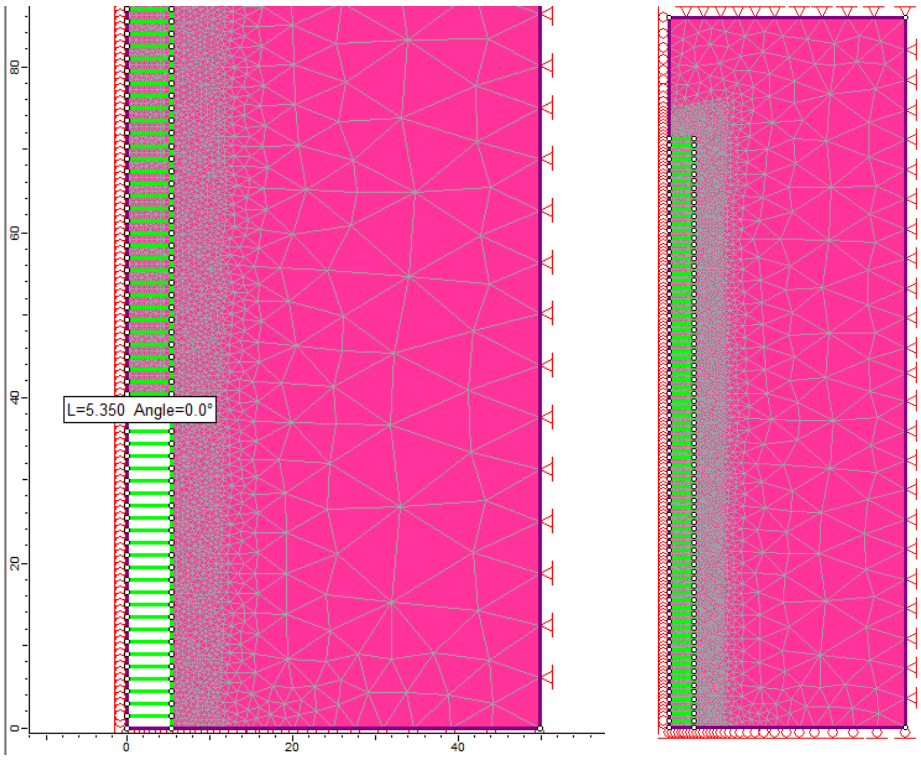


Figura 11-1 Immagini dei modelli assial-simmetrici implementati per le sezioni di calcolo num. 3 (MAb2)

Nei casi in cui l'avanzamento preveda un preconsolidamento al contorno del cavo questo è stato riprodotto numericamente mediante la modellazionedello stessoall'intorno del cavo, ovvero con l'attribuzione di parametri geomeccanici specifici dell'ammasso interessato dall'intervento di preconsolidamento: si è considerata una fascia della lunghezza dell'intervento in avanzamentoe di spessore pari a quello minimo previsto dai documenti di progetto. In particolare, nelle fasi di avanzamento si è tenuto conto delle fasi di realizzazione previste, rispettando quindi la lunghezza di sovrapposizione minima.Non è stato riprodotto – con approccio conservativo - il consolidamento al fronte.

Dai suddetti modelli assial-simmetrici si è ottenuto il profilo longitudinale di spostamento (LoadDisplacementProfile- LDP), per galleria non rivestita, funzionale alla taratura delle forze fittizie di scavo dei modelli numerici bidimensionali.

Si proponeil profilo longitudinale di spostamento derivato dal modello assial-simmetrico delle sezioni di calcolo num.1 (MB0), 2(MC3),3(MAb2) e 4(MC2) .

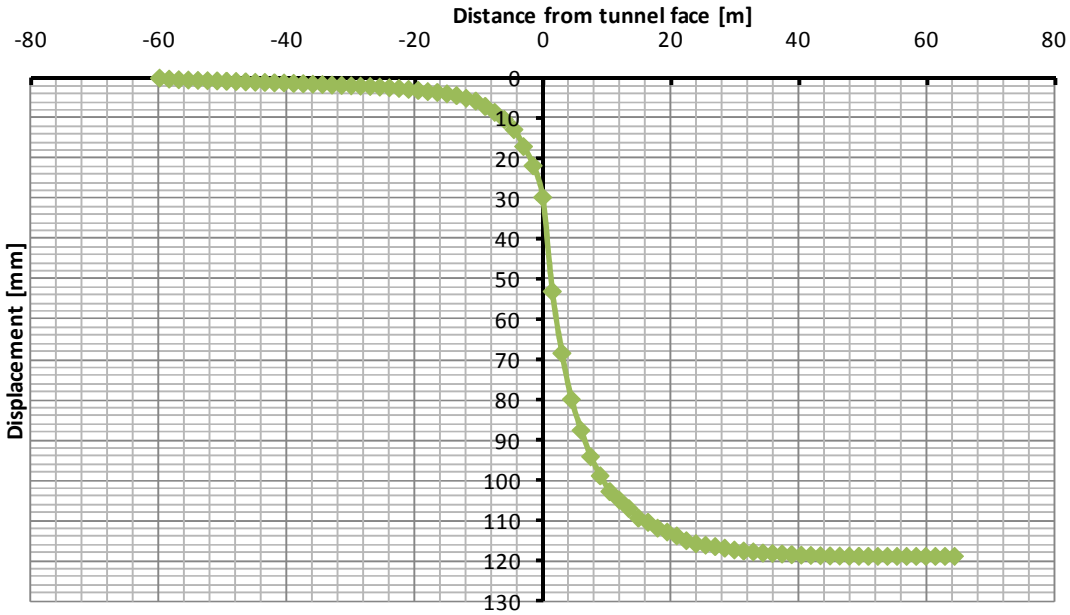


Figura 11-2- Profilo longitudinale di spostamento - sezione di calcolo num. 1 (MB0)

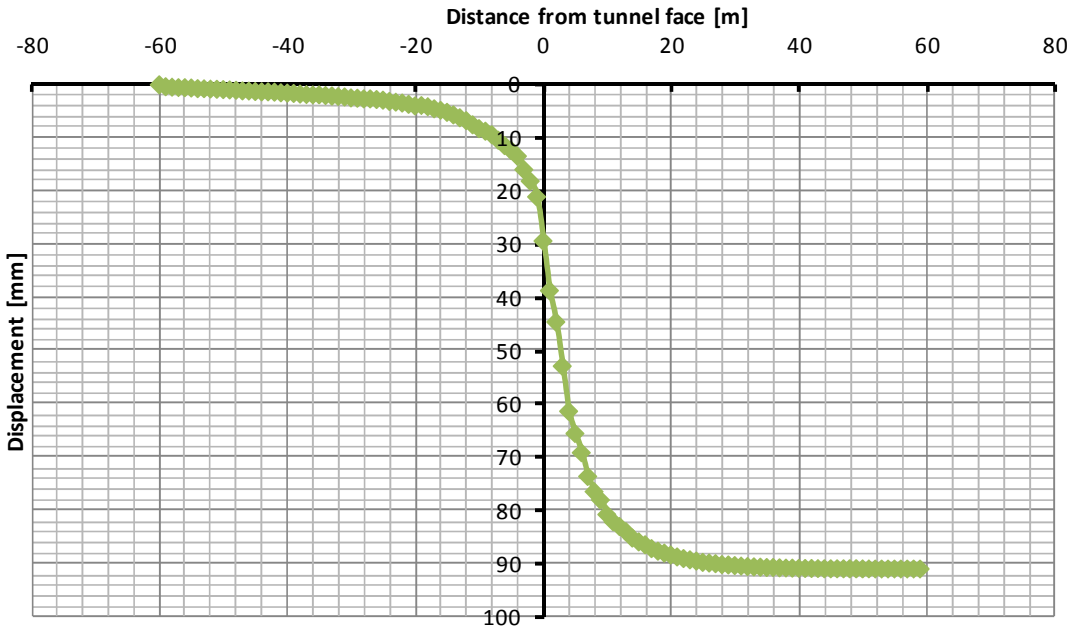


Figura 11-3 - Profilo longitudinale di spostamento - sezione di calcolo num. 2 (MC3)

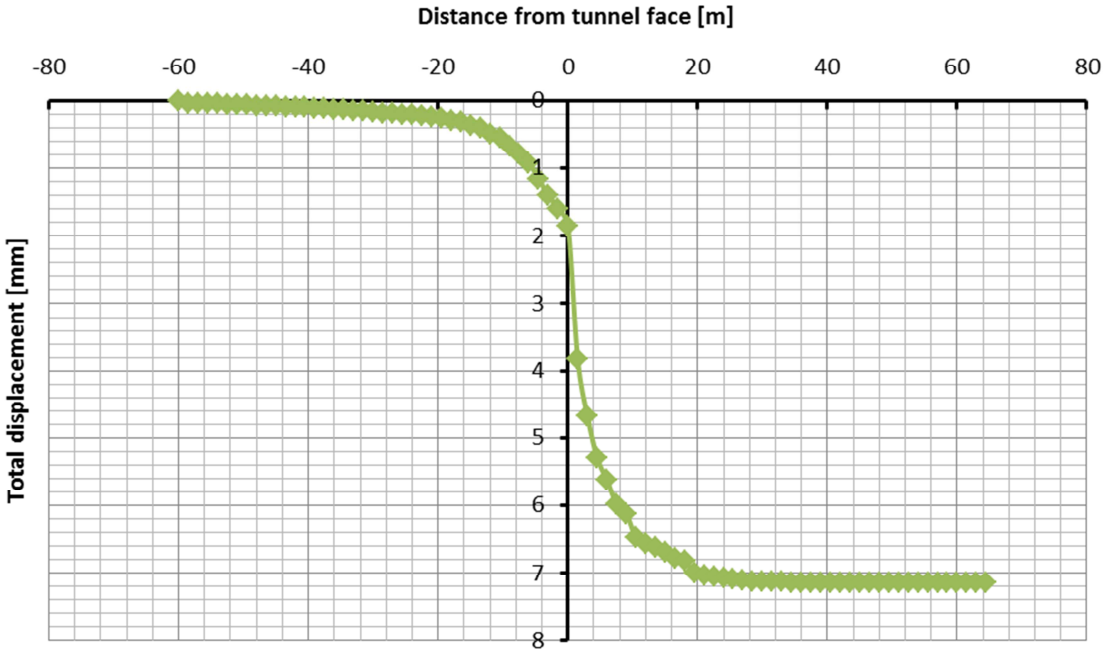


Figura 11-4 - Profilo longitudinale di spostamento - sezione di calcolo num. 3 (MAb2)

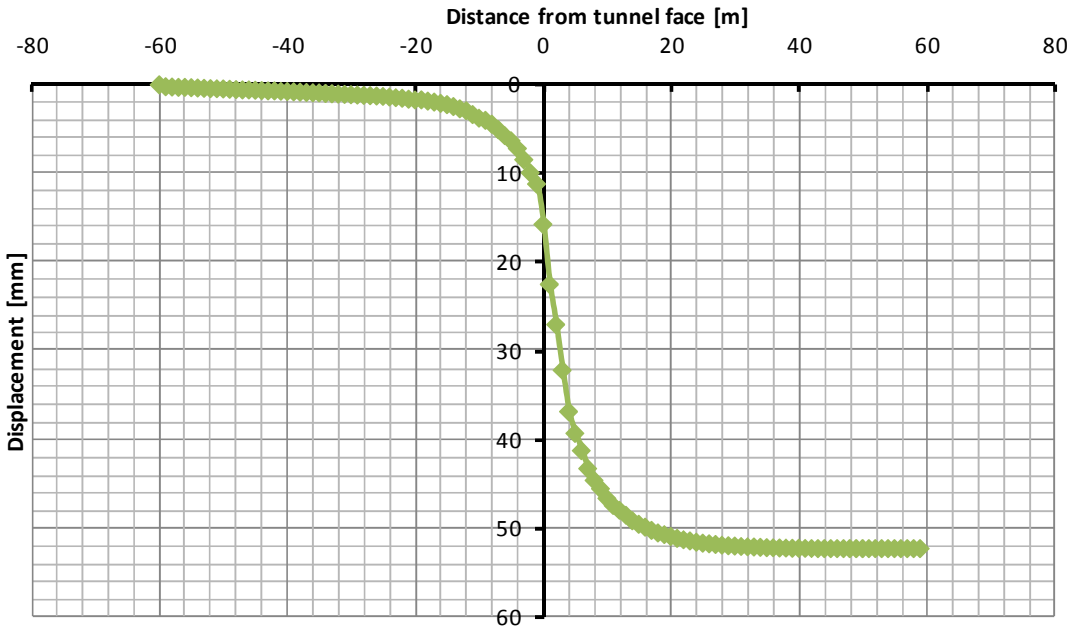


Figura 11-5 - Profilo longitudinale di spostamento - sezione di calcolo num. 4 (MC2)

2. Sviluppo, per ogni sezione di calcolo, del corrispondente modello numerico bidimensionale ad elementi finiti. Si è quindi derivata dal suddetto modello la curva caratteristica del cavo non rivestito, introducendo un sistema di forze fittizie di scavo (applicate sul profilo di scavo medesimo, implementando la specifica funzionalità del software Phase 2 – Stress Field Vector), uguali e contrarie allo stato tensionale originario, entro l'ammasso, in corrispondenza del profilo di scavo, progressivamente ridotte a 0, attraverso successivi step di calcolo.

   Le analisi sono state implementate modellando l'ammasso roccioso come continuo isotropo con legame costitutivo elastoplastico perfetto.L'analisi considera l'intervento di preconsolidamento al contorno nelle sezioni in cui è previsto.

   Si propongono, le curve caratteristiche del cavo derivate per via numerica dai modelli di calcolo FEM, per le sezioni di calcolo num. 1 (MB0), 2(MC3),3 (MAb2) e 4(MC2).

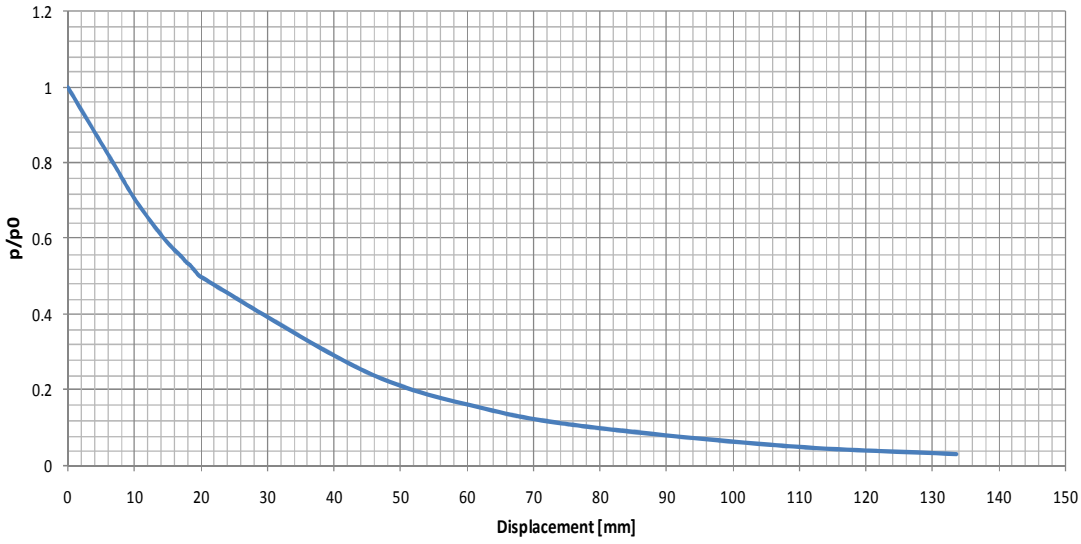


Figura 11-6 - Curva caratteristica (spostamento medio del cavo) - sezione di calcolo num. 1 (MB0)

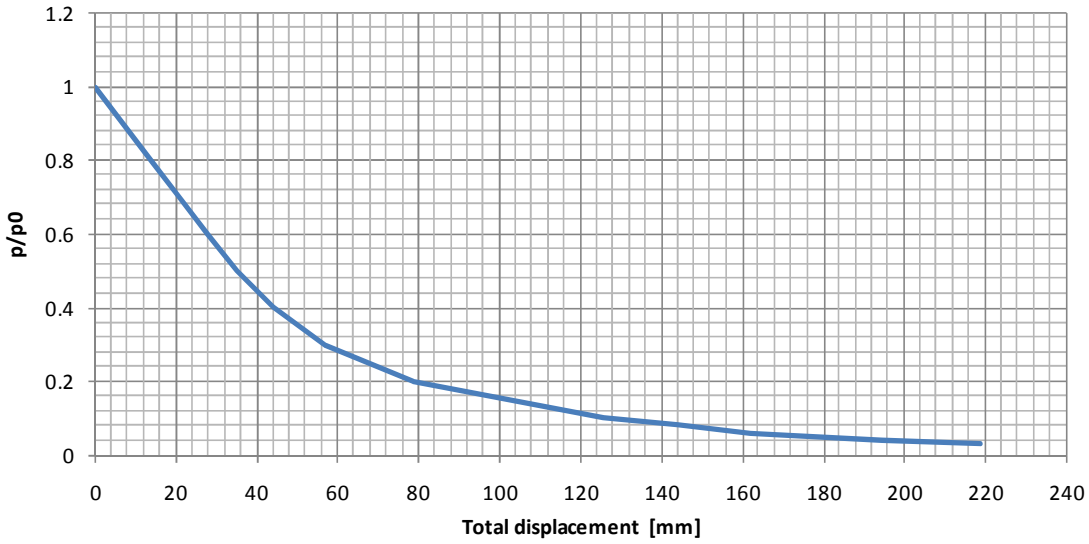


Figura 11-7 - Curva caratteristica (spostamento medio del cavo) - sezione di calcolo num. 2 (MC3)

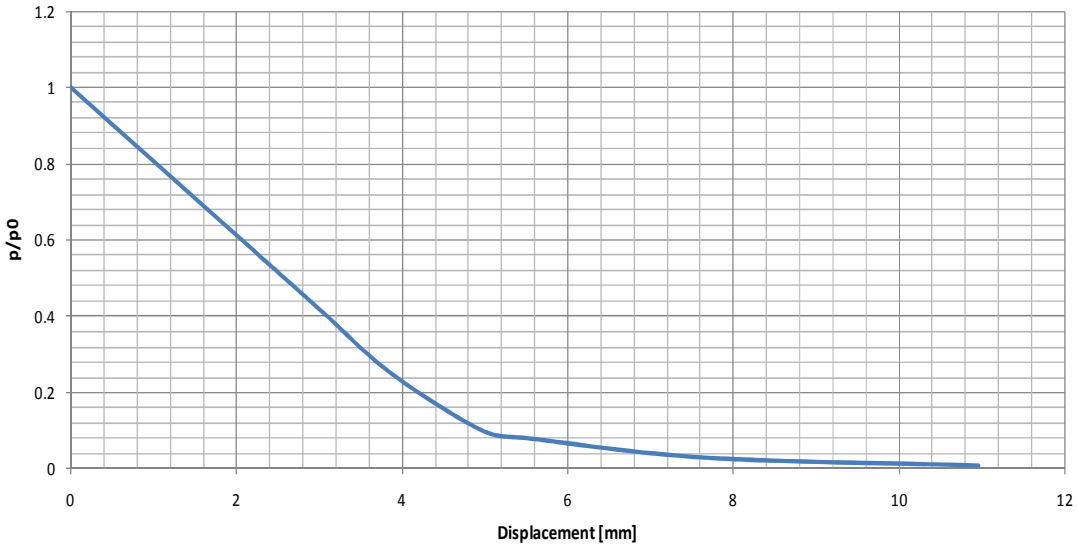


Figura 11-8 - Curva caratteristica (spostamento medio del cavo) -sezione di calcolo num. 3 (MAb2)

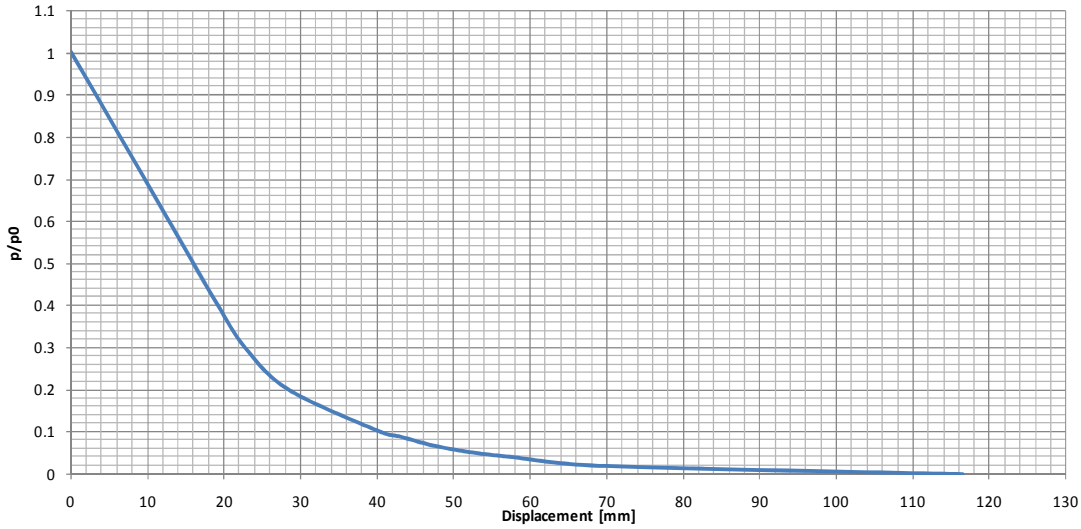


Figura 11-9 - Curva caratteristica (spostamento medio del cavo) - sezione di calcolo num. 4 (MC2)

3. Definizione dello spostamento radiale corrispondente (tramite LDP) all'apertura del cavo (fronte) ed alla distanza dal fronte di scavo all'atto dell'installazione dei rivestimenti provvisionali successivi ad ogni singolo sfondo/volata (in relazione alla metodologia di scavo adottata per le differenti sezioni tipo) ed attribuzione della corrispondente riduzione percentuale applicata alle forze fittizie di scavo (determinata attraverso la curva caratteristica) rispetto allo stato tensionale inziale in situ (Relax).

11.2.2 Fasi di calcolo

Definiti i Relax percentuali corrispondenti ai fenomeni di rilascio tensionale entro l'ammasso, all'altezza del fronte e, a distanza da esso variabile, per i singoli successivi sfondi/volati, si è proceduto all'implementazione dei modelli di calcolo bidimensionali, articolati su più stage successivi. Si propone a seguire la sequenza tipica degli step di calcolo per le sezioni di scavo meccanizzato:

1. Inizializzazione dello stato tensionale entro l'ammasso.
2. Rimozione degli elementi shell all'interno del profilo di scavo e contestuale applicazione, sul contorno, delle forze fittizie di scavo (pressioni), di entità pari allo stato tensionale locale in situ, in corrispondenza del profilo di scavo medesimo – al termine di tale step di calcolo è imposto il reset del campo di spostamento entro l'ammasso, definendo pertanto il tasso tenso-deformativo all'interno dell'ammasso di riferimento per il dimensionamento degli interventi di sostegno provvisorio e definitivo.
3. Apertura del fronte di scavo, con relativa riduzione delle forze fittizie di scavo, secondo la procedura di taratura già descritta.
4. Effettuazione del primo sfondo/volata ed installazione dei rivestimenti provvisori;
5. Effettuazione dei successivi sfondi/volate con opportuno adeguamento delle caratteristiche meccaniche dei pre-rivestimenti, per effetto della maturazione dello spritz beton.

   Nei casi specifici relativi allo scavo meccanizzato trattato nella presente relazione, la macchina prevede l'installazione dello spritz a circa 57 m dal fronte di scavo. Alla fase di installazione lo spritz presenta caratteristiche di rigidezza nulle pertanto non risulta caricato dalle forze al

contorno. La maturazione sino alla sua massima rigidezza avviene quando la pressioneal contorno del cavo è nulla(Relax 100%).

6. Installazione dei rivestimenti definitivi. Disattivazione rivestimenti provvisori.
7. Inserimento del battente idraulico presente in situ mediante carico applicato alle pareti del cavo.
8. Applicazione del sisma

Al fine di valutare l'influenza della falda e del sisma separatamente è stata effettuata un'analisi parallela nella quale non è stato applicato il battente idraulico.

11.2.3 Modellazione dei bulloni

I bulloni sono stati modellati come elementi monodimensionali ad attrito del tipo fullybonded. Il software Phase 2 implementa nello specifico la tipologia Shear Bolt (Swellex/Split Sets), basata sull'equazione di equilibrio del bullone da roccia completamente ancorato di Farmer (1975) e Hyett (1996).

$$AE_b \frac{d^2 u_x}{dx^2} + F_s = 0$$

Farmer, I.W. (1975), Stress distribution along a resin grouted rock anchor, Int. J. of Rock Mech. And Mining Sci&Geomech. Abst., 12, 347-351. Hyett A.J. Moosavi M. and Bawden W.F. (1996), Load distribution along fully grouted bolts, with emphasis on cable bolt reinforcement, Int. J. Numer and Analytical meth. In Geomech, 20, 517-544

DoveFs è la forza di taglio per unità di lunghezza, A è l'area del bullone e Eb è il modulo elastico del bullone.

11.2.4 Modellazione dei prerivestimenti

I pre-rivestimenti del cavo costituiti da uno o più strati di spritz beton inglobanti, eventualmente, le centine, sono modellati come elementi beam solidali al profilo di scavo e, pertanto, agli elementi shell riproducenti l'ammasso al contorno dello scavo medesimo. In presenza di rivestimenti costituiti da spritz e centine, il software di calcolo Phase 2 calcola autonomamente le caratteristiche di rigidezza equivalenti del rivestimento così composto, considerando in particolare il passo di installazione delle centine metalliche e l'evoluzione temporale delle proprietà meccaniche dello spritz beton. Il software calcola altresì l'aliquota di carico tramessa dall'ammasso, nei differenti step di calcolo, ai singoli componenti del rivestimento provvisorio (centine / spritz), corrispondentemente ai rapporti di rigidezza dei medesimi.

11.2.5 Modellazione dei rivestimenti definitivi gettati in opera

I rivestimenti definitivi, ai fini della valutazione dei fenomeni di interazione con l'ammasso, sono stati modellati con elementi shell, secondo l'effettivo spessore previsto. Allo scopo di derivare le caratteristiche di sollecitazione, sono stati introdotti degli elementi beam monodimensionali in posizione baricentrica rispetto ai rivestimenti stessi. A tali elementi beam sono state attribuite caratteristiche inerziali proprie dei rivestimenti (spessori) e moduli elastici inferiori di 6 ordini di grandezza rispetto a quello che compete al calcestruzzo giunto a maturazione. La rigidezza flessionale di tali elementi beam risulta pertanto irrisoria rispetto alla rigidezza dei rivestimenti definitivi modellati come elementi shell ai quali essi risultano, comunque, perfettamente solidali. Il campo di deformazione sugli elementi beam è pertanto quello reale, pertanto, tramite amplificazione delle caratteristiche di sollecitazione (N, M, V) restituite dal software di calcolo, in misura di 6 ordini di grandezza, si perviene agli effettivi valori dello sforzo assiale, momento flettente e taglio con i quali condurre le verifiche sezionali. Si propone a seguire uno stralcio grafico di quanto sopra descritto.

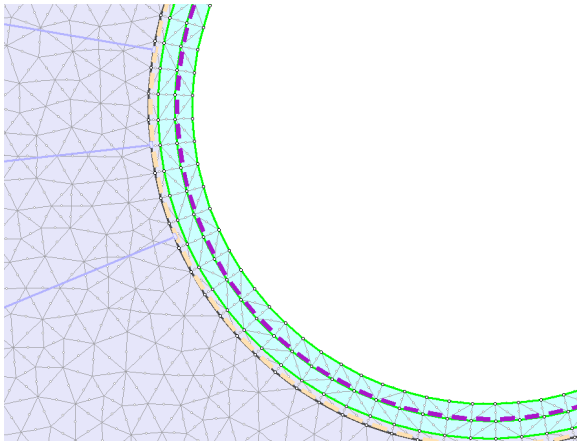


Figura 11-10 - Particolare modellazione rivestimenti definitivi

11.3 Analisi numeriche: descrizione dei modelli e presentazione dei risultati

Nel presente paragrafo si propongono, per ogni sezione di analisi, la descrizione del modello di calcolo implementato (geometria modello, sezione tipo di scavo, materiali) e l'illustrazione dei principali risultati in termini di evoluzione del regime tenso-deformativo nell'ammasso e di caratteristiche di sollecitazione nei rivestimenti provvisori e definitivi.

Lo stato tenso-deformativo nell'ammasso si riferiscono allo step di calcolo cui corrisponde il massimo rilascio tensionale dell'ammasso. I diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione nei rivestimenti definitivi competono allo stage di calcolo caratterizzato dalle massime azioni, pertanto dimensionante ai fini progettuali.

11.3.1 Sezione 1 –Montoggio

La sezione in analisi è caratterizzata dall'attraversamento della formazione dell'Argillite del Montoggio. Il modello implementato mediante il software Phase riproduce il profilo originario del terreno per tutta l'estensione del modello, funzionale al calcolo dello stato tensionale iniziale nell'ammasso prima dello scavo, quanto più aderente al regime di sforzo reale. La copertura in chiave calotta è di 35.3 metri.

Il modello di calcolo ha dimensioni 100m*215m discretizzato con una mesh triangolare di 6 nodi per elemento (n° nodi: 11148, n° elementi 5539).

In ragione delle risultanze della fase di Diagnosi, la sezione di scavo e consolidamento prevista è la MB0 (Figura 11-11). Per tutti i dettagli della sezione si veda il Capitolo 10, di seguito vengono riportate le caratteristiche e gli spessori degli interventi inseriti nel modello di calcolo:

Spritz beton		
Classe	C28/35	
Rck	35	MPa
Spessore	0.15	m
fctk	2.33	MPa
E	32588	MPa

Linerplate		
HEB140		
J	1.51E-05	m^4
Area	0.004296	m^2
UPN140		
J	6.05E-06	m^4
Area	0.00204	m^2
HEB140+2UPN140		
J_tot	2.72E-05	m^4
Area_tot	0.008376	m^2
Section depth	0.14	m
Compressive Strength	275	MPa
Tensile Strength	275	MPa
passo	1	m
E	210000	MPa

Rivestimento definitivo		
Classe	C35/45	
Rck	45	MPa
Spessore	0.55	m
fctk	2.66	MPa
E	34500	MPa
v	0.2	-

Tabella 11-1 - Tabelle riassuntive interventi sezione 1 (Montoggio)

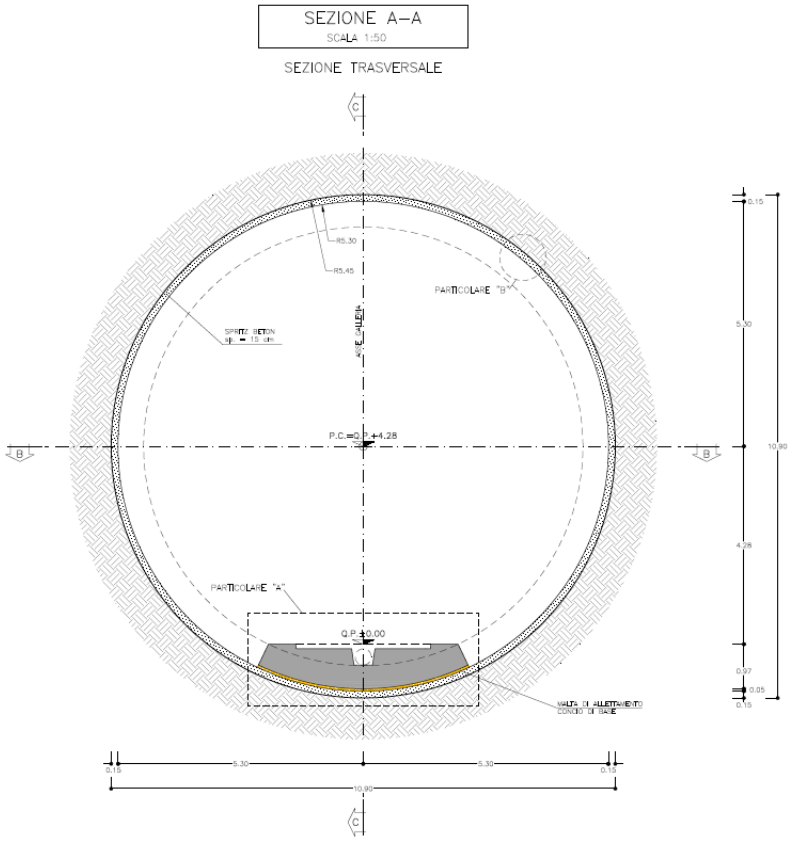


Figura 11-12 – Sezione tipo MB0 (scavi)

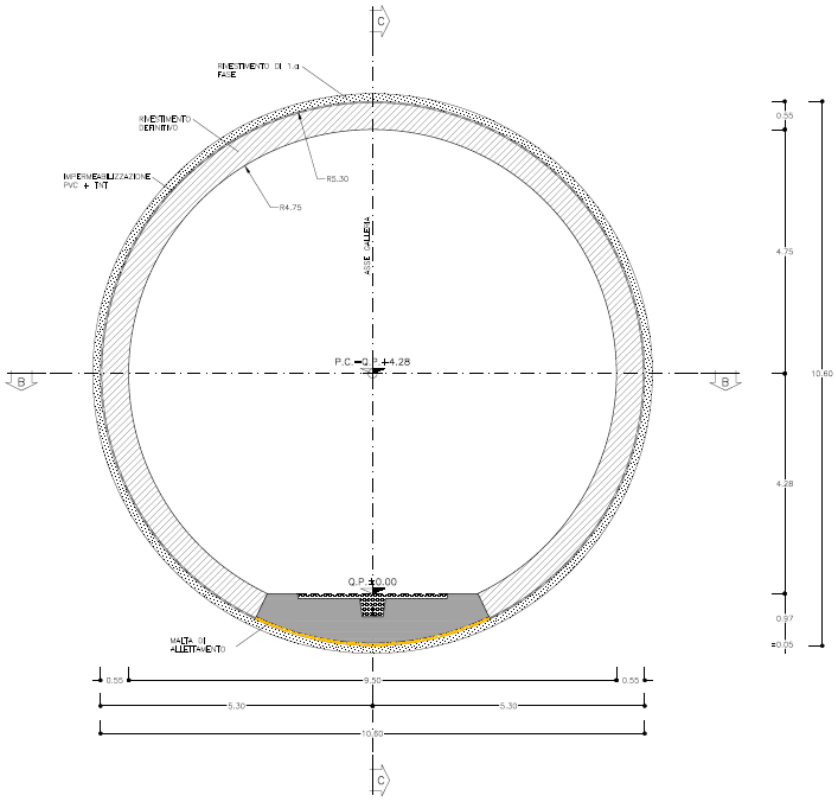


Figura 11-13 – Sezione tipo MB0 (carpenteria)

Si considera uno strato omogeneo di materiale al quale sono stati attribuiti i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso dell'Argillite del Montoggio, risultati dall'analisi geomeccanica:

Montoggio-Argillite del Montoggio		
γ	26.4	kN/m3
v	0.25	
UCS	5	MPa
GSI	40	
MR	200	
Erm	160	MPa
mi	8.4	
mb	0.9855	
D	0	
s	0.001273	
mb_res	0.49275	
s_res	0	
k0	0.5	

Tabella 11-2 - Tabella riassuntiva materiali sezione 1 (Montoggio)

Si precisa come si siano adottati parametri geomeccanici conservativi nell'ambito dei range di variabilità individuati in fase di caratterizzazione; in tal modo si è verificato staticamente l'intervento di prerivestimento con liner plates rispetto ad una condizione tenso-deformativa limite, in assenza dei consolidamenti al contorno che caratterizzano la sezione di avanzamento applicata per l'attraversamento delle faglie (si veda sezione num. 2 successiva). L'esito dell'analisi assume pertanto significato quale condizione di verifica strutturale degli elementi di rivestimento provvisorio, piuttosto che quale risposta deformativa del cavo e dell'ammasso interagente con lo scavo (compresi risentimenti e subsidenze a piano campagna). Il battente idraulico agente in questa sezione è pari a 30 m misurato dalla chiave calotta del cavo. In accordo a quanto riportato nella relazione idrogeologica nella formazione dell'Argillite del Montoggio l'altezza di falda non è stata ridotta in fase di calcolo.

Qui di seguito si propongono le immagini significative del modello di calcolo nel suo complesso ed in corrispondenza del cavo. Si considerino in particolare gli aspetti connessi alla riproduzione del profilo originario del terreno per tutta l'estensione del modello, funzionale al calcolo dello stato tensionale iniziale nell'ammasso prima dello scavo, quanto più aderente al regime di sforzo reale.

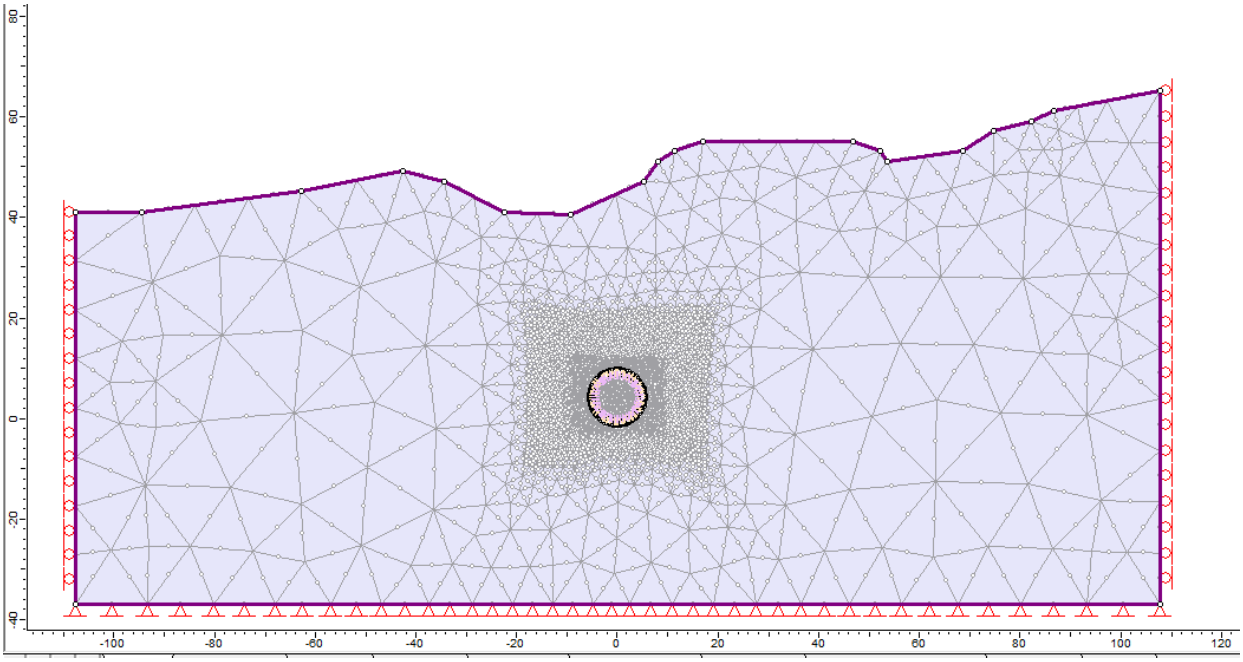


Figura 11-14 – Modellosezione 1- vista d'insieme

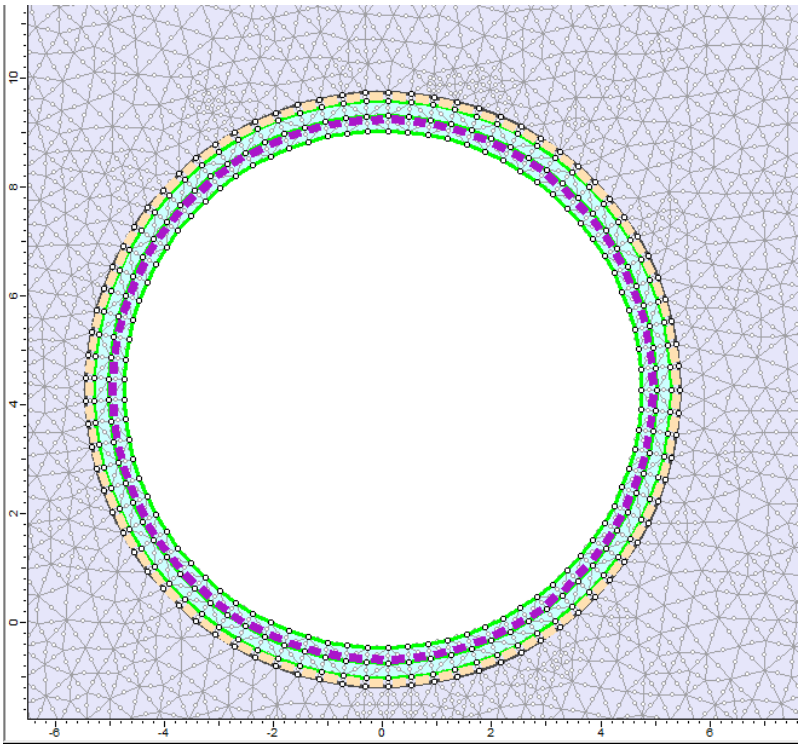


Figura 11-15 – Modello sezione 1- particolare della galleria

Si riporta nella tabella seguente una descrizione sintetica dellefasi di calcolo considerate nell'analisi della sezione in oggetto:

n FASI	DESCRIZIONE	p/p0
1	Inizializzazione sforzi	0.000
2	p=1+ reset spostamenti	1.000
3	(intermedio)	0.700
4	Fronte	0.402
5	6°sfondo	0.086
6	LinerPlate	0.079
7	Getto Spritz	0.061
8	Maturazione Spritz	0
9	Rivestimento Definitivo	0
10	Falda	0
11	Falda+Sisma	0

Tabella 11-3 - Fasi di calcolo

Per valutare gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento definitivo disaccoppiati dall'azione del carico idraulico è stata svolta un'analisi analoga a quella sopra descritta in cui alla Fase 10 è stato imposta la sola accelerazione sismica.

Si riportano i risultati dell'analisi in termini di spostamenti massimi (in corrispondenza della fase di relax 100%).

L'estensione delle plasticizzazioni al contorno del cavo è contenuta per effetto dell'installazione dei linerplates. Si rileva come i fenomeni di plasticizzazione, essenzialmente connessi al superamento del limite di resistenza a taglio dell'ammasso, sono limitati ai settori laterali del cavo.

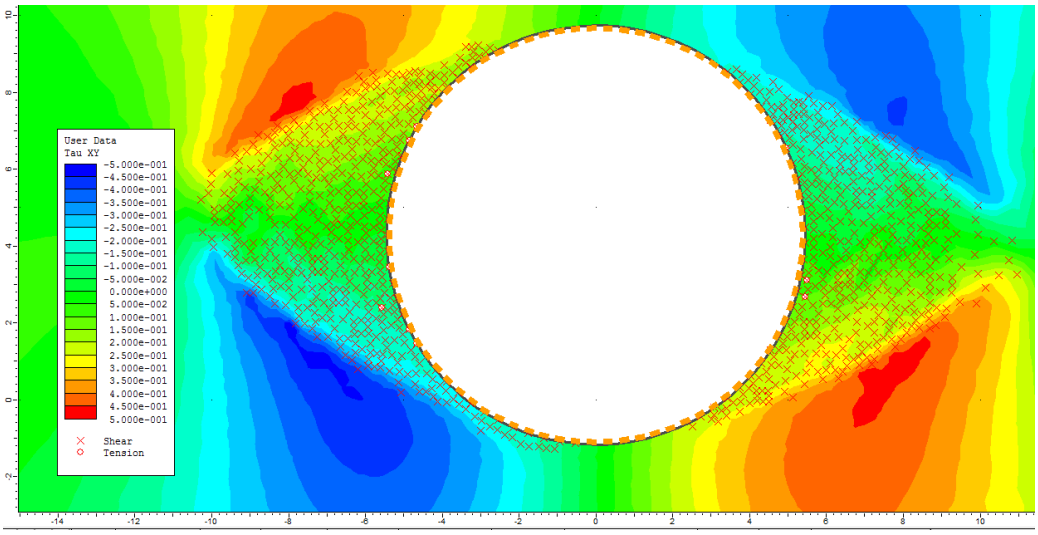


Figura 11-16: Sforzi di taglio con indicazione dei punti plasticizzati

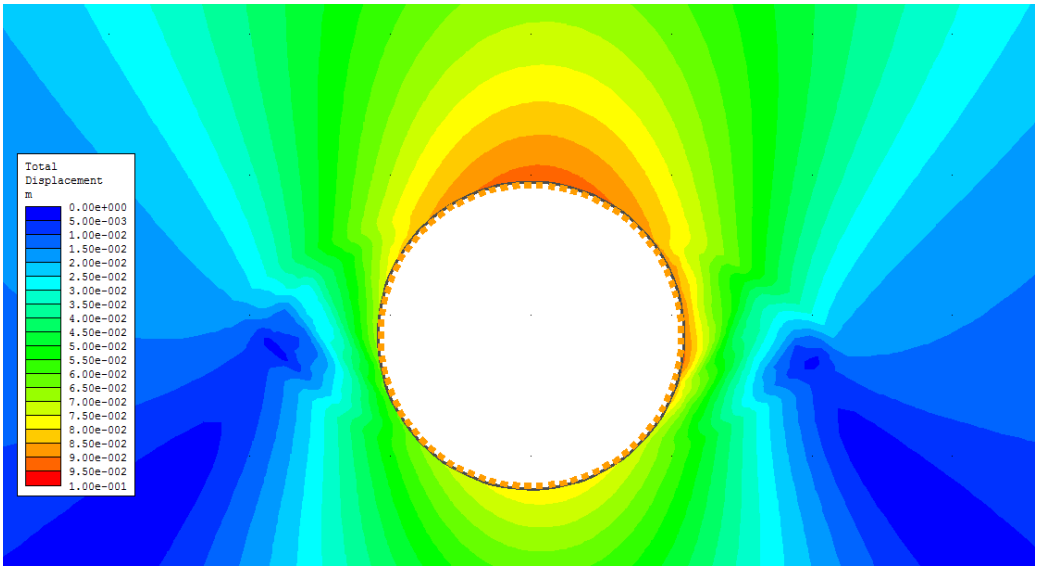


Figura 11-17 -Total displacement

Si riportano nel seguito i diagrammi delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio dei rivestimenti definitivi nella fase di applicazione del rivestimento definitivo e nell' applicazione della sola sollecitazione falda. Per quanto riguarda le azioni allo stato limite ultimo si è riportato anche la fase della sola applicazione del sisma e la fase dell'azione combinata di sisma più falda.

Si riportano le indicazioni sulla posizione della chiave calotta e della mezzeria dell'arco rovescio della galleria con delle linee tratteggiate nei grafici.

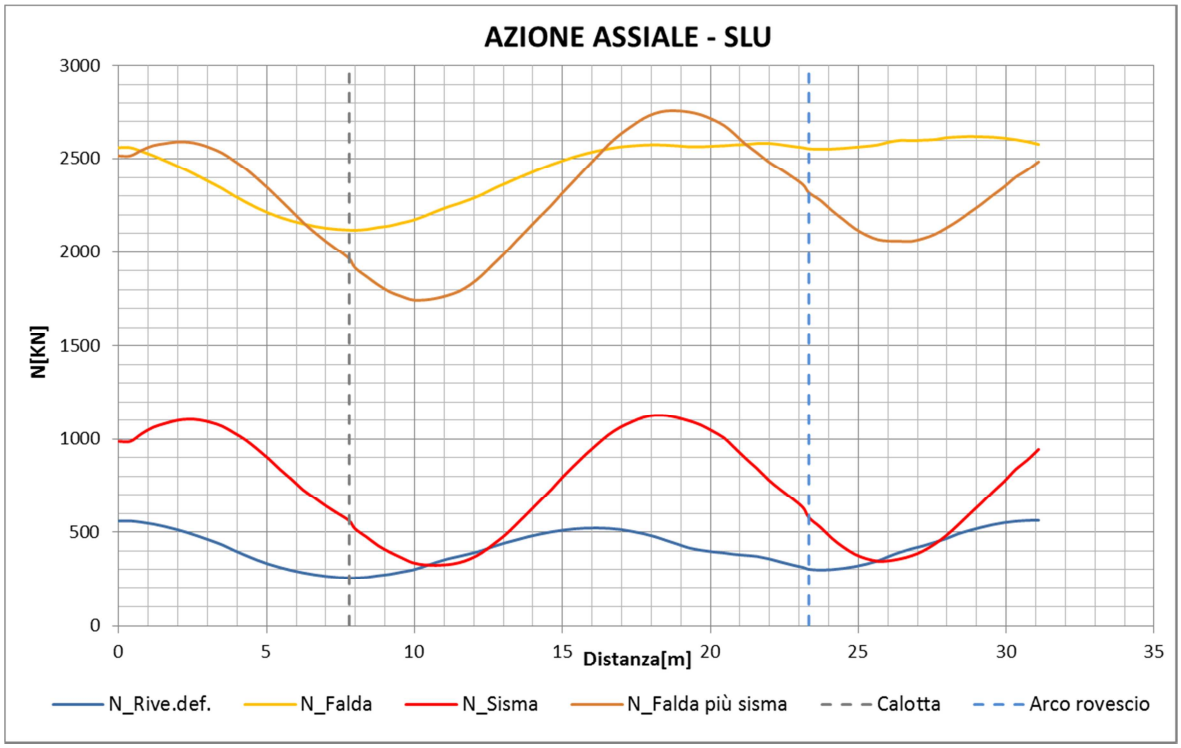


Figura 11-18 - Sollecitazione assiale – SLU

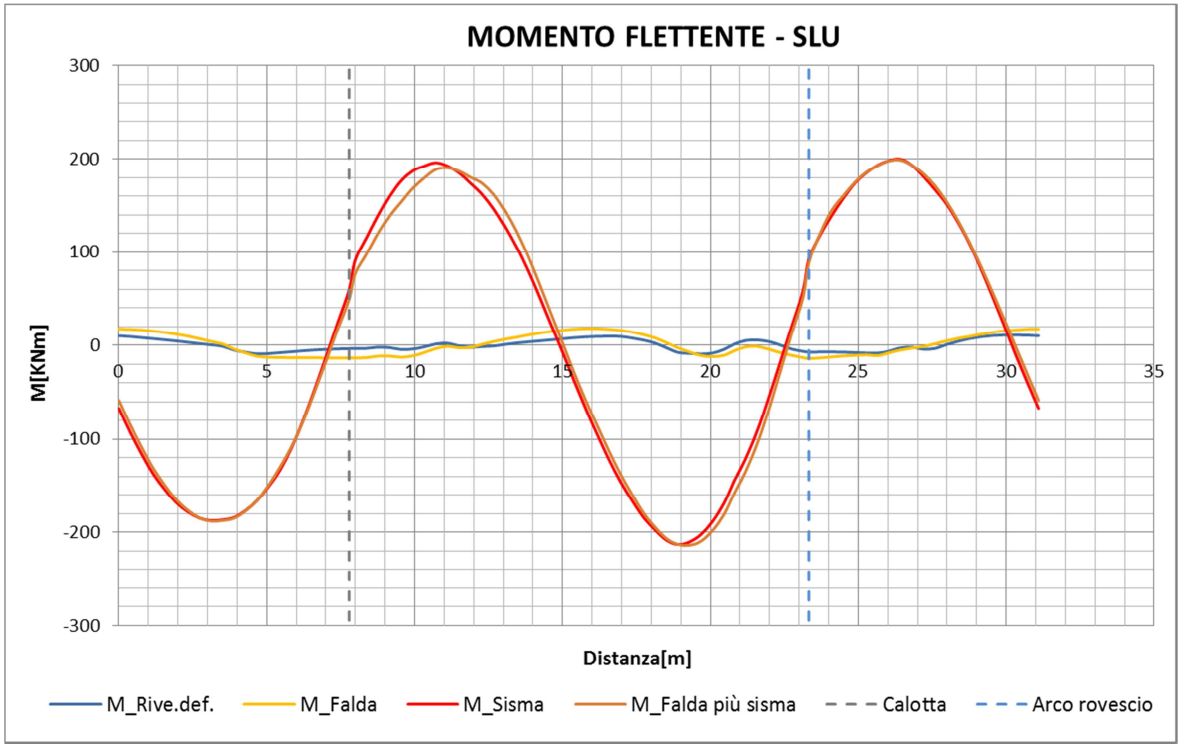


Figura 11-19 – Sollecitazione flettente– SLU

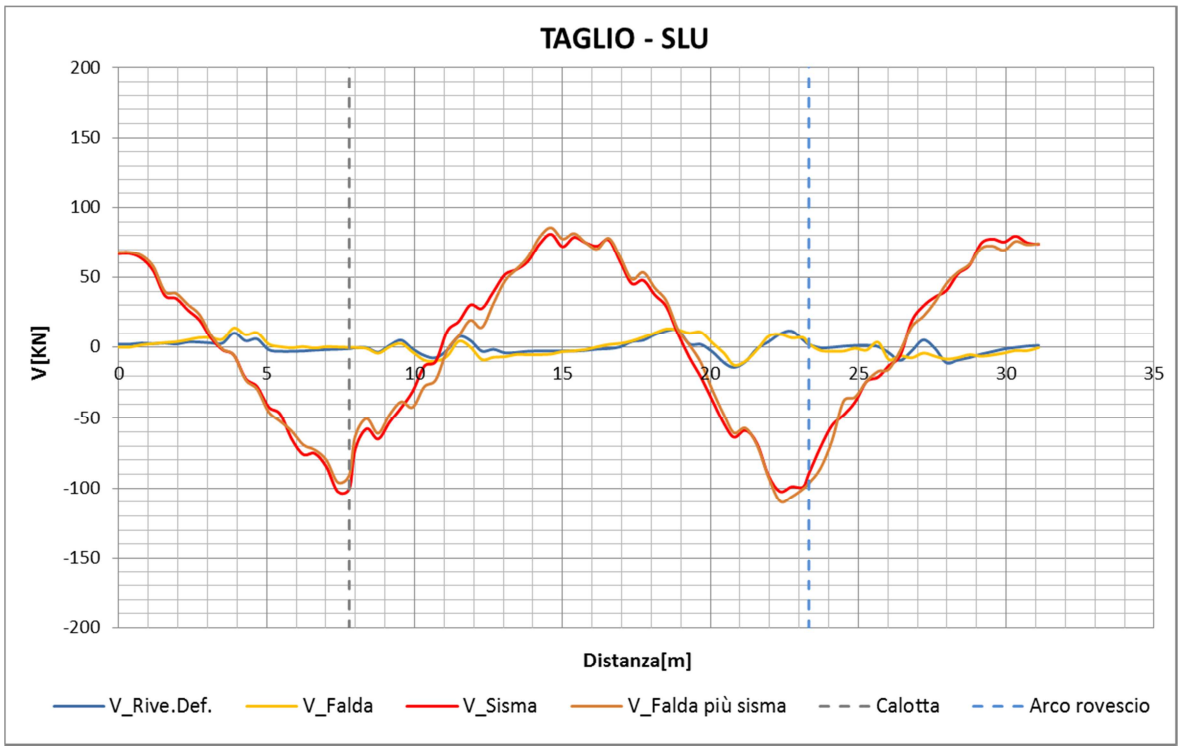


Figura 11-20 - Sollecitazione di taglio– SLU

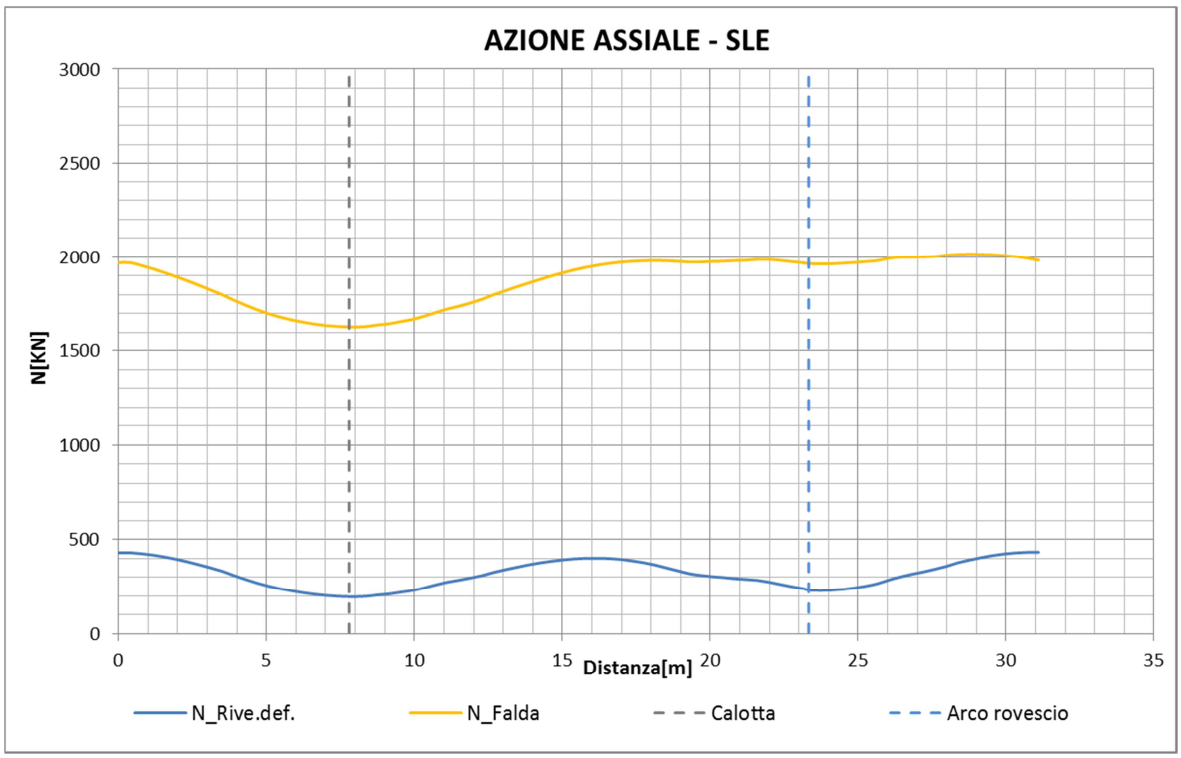


Figura 11-21: Sollecitazione normale–SLE

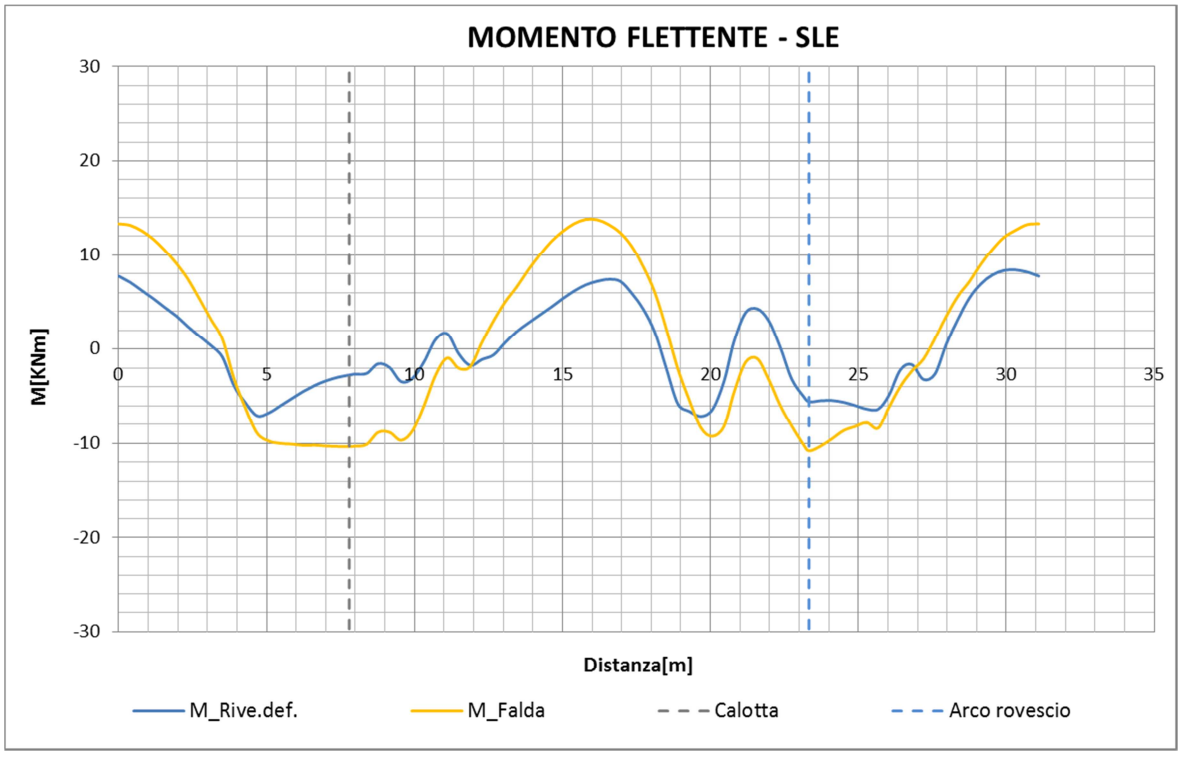


Figura 11-22: Sollecitazione flettente – SLE

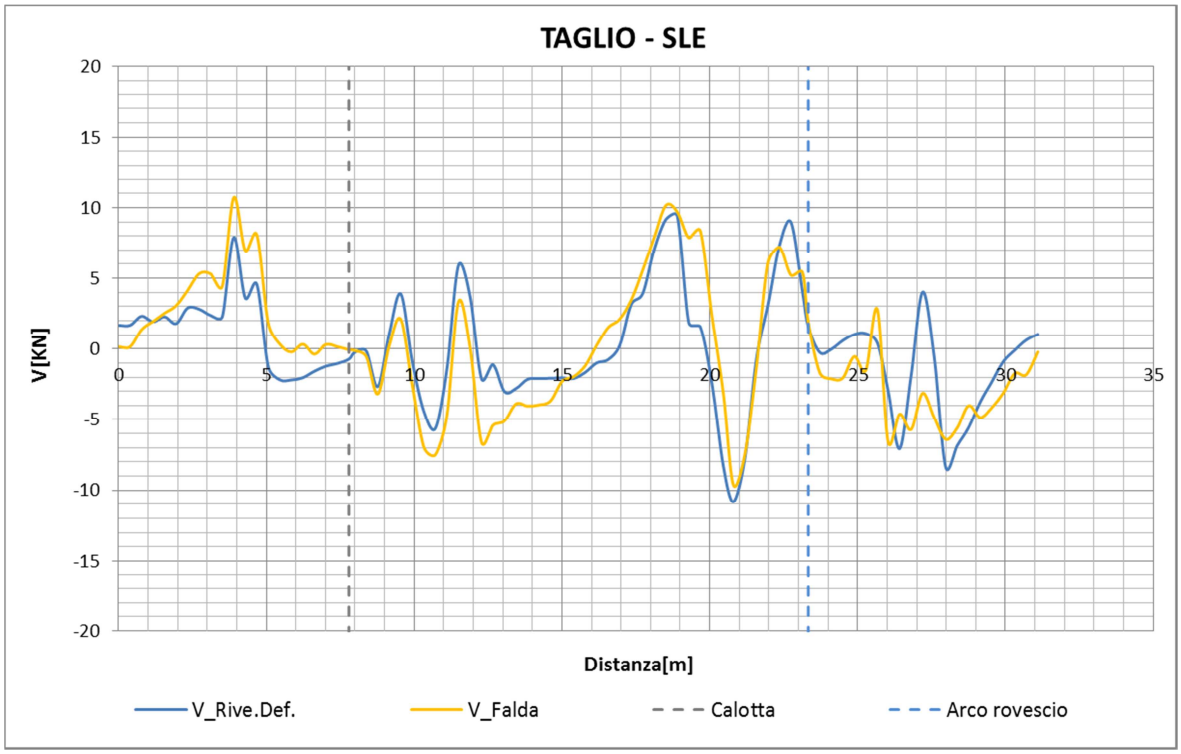


Figura 11-23 - Sollecitazione di taglio –SLE

Per la sezione in esame si è scelta come combinazione dimensionante quella corrispondente allo stage falda più sisma, mentre per la valutazione dell'adeguatezza strutturale della galleria allo SLE si fa riferimento allo stage Falda.

11.3.2 Sezione2 –MontoggioFaglia

La sezione in analisi è corrispondenza della faglia prevista alla pk 5.+450 all'interno della formazione dell'Argillite del Montoggio, secondo quanto riportato nel profilo geologico di previsione. Il modello implementato mediante il software Phase riproduce il profilo originario del terreno per tutta l'estensione del modello, funzionale al calcolo dello stato tensionale iniziale nell'ammasso prima dello scavo, quanto più aderente al regime di sforzo reale. La copertura in chiave calotta è di 50.3 metri.

Il modello di calcolo ha dimensioni 105m*195m discretizzato con una mesh triangolare di 6 nodi per elemento (n° nodi: 11975, n° elementi 5896).

In ragione delle risultanze della fase di Diagnosi, la sezione di scavo e consolidamento prevista è la MC3 (Figura 11-24). Per tutti i dettagli della sezione si veda il Capitolo 10, di seguito vengono riportate le caratteristiche e gli spessori degli interventi inseriti nel modello di calcolo:

Spritz beton		
Classe	c28/35	
Rck	35	MPa

Spessore	0.15	m
fctk	2.33	MPa
E	32588	MPa

Linerplate		
HEB140		
J	1.51E-05	m^4
Area	0.004296	m^2
UPN140		
J	6.05E-06	m^4
Area	0.00204	m^2
HEB140+2UPN140		
J_tot	2.72E-05	m^4
Area_tot	0.008376	m^2
Section depth	0.14	m
Compressive Strength	275	MPa
Tensile Strength	275	MPa
passo	1	m
E	210000	MPa

Rivestimento definitivo		
Classe	c35/45	
Rck	45	MPa
Spessore	0.55	m
fctk	2.66	MPa
E	34500	MPa
v	0.2	-

Tabella 11-4 - Tabelle riassuntive interventi sezione 2 (MontoggioFaglia)

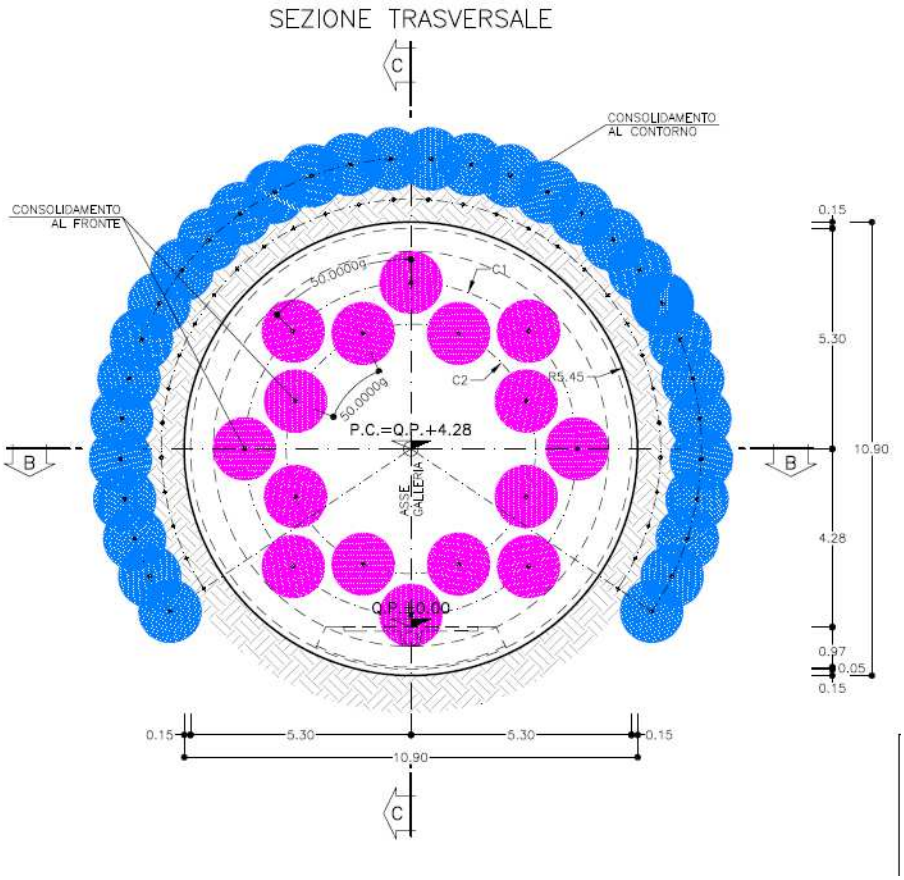


Figura 11-25 – Sezione tipo MC3 (Scavo e consolidamenti)

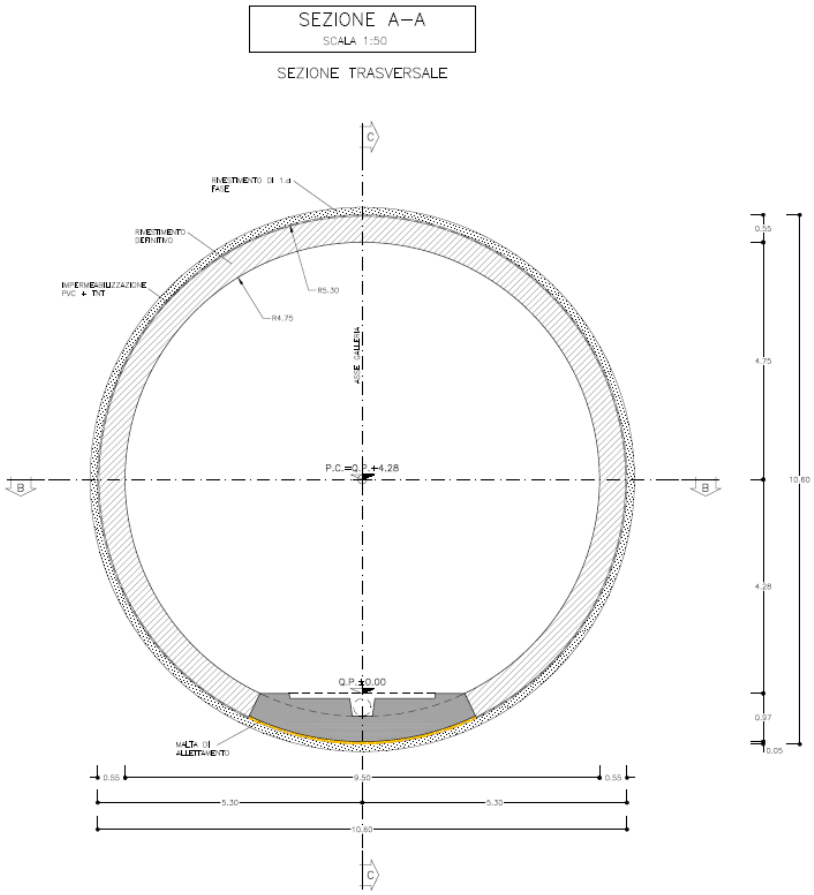


Figura 11-26 – Sezione tipo MC3 (carpenteria)

Si considera uno strato omogeneo di materiale al quale sono stati attribuiti i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso dell'Argillite del Montoggio in faglia, risultati dall'analisi geomeccanica, sono i seguenti:

Montoggio-Argillite del Montoggio		
γ	26.4	kN/m3
v	0.25	
UCS	5	MPa
GSI	30	
MR	200	
Erm	81.4	MPa
mi	8.4	
mb	0.69	
D	0	
s	0.0004	
mb_res	0.69	
s_res	0.0004	
k0	1	

Tabella 11-5 - Tabella riassuntiva materiali sezione 2 (MontoggioFaglia)

Gli effetti del preconsolidamento al contorno, costituito da una coronella di iniezioni operata da tubi in PVC valvolati, sono stati modellati assegnando parametri meccanici migliorativi alla fascia consolidata di spessore pari a 1.50 m (congruentemente con la resa prevista dei preconsolidamenti), nello specifico calcolati assumendo un incremento di 10 p.ti del GSI (associabile all'intasamento dei vuoti/giunti da parte delle iniezioni e, pertanto, ad una corrispondente riduzione dell'indice di fratturazione dell'ammasso) ed un sensibile aumento della resistenza a compressione rappresentativa della matrice (quantificato – in questa fase - in 5 MPa, stante l'iniezione dei vuoti e dei sistemi di giunto con miscele a base Cemento 32.5R-42.5R)

Preconsolidamento al contorno		
γ	26.4	kN/m3
v	0.25	
UCS	10	MPa
GSI	40	
MR	350	
Erm	559	MPa
mi	21	
mb	2.4637	
D	0	
s	0.001273	
mb_res	2.4637	
s_res	0.001273	

Tabella 11-6– Preconsolidamento al contorno sezione 2 (MontoggioFaglia)

Il battente idraulico agente in questa sezione è pari a 42 m misurato dalla chiave calotta del cavo. In accordo a quanto riportato nella relazione idrogeologica nella formazione dell'Argillite del Montoggio l'altezza di falda non è stata ridotta in fase di calcolo.

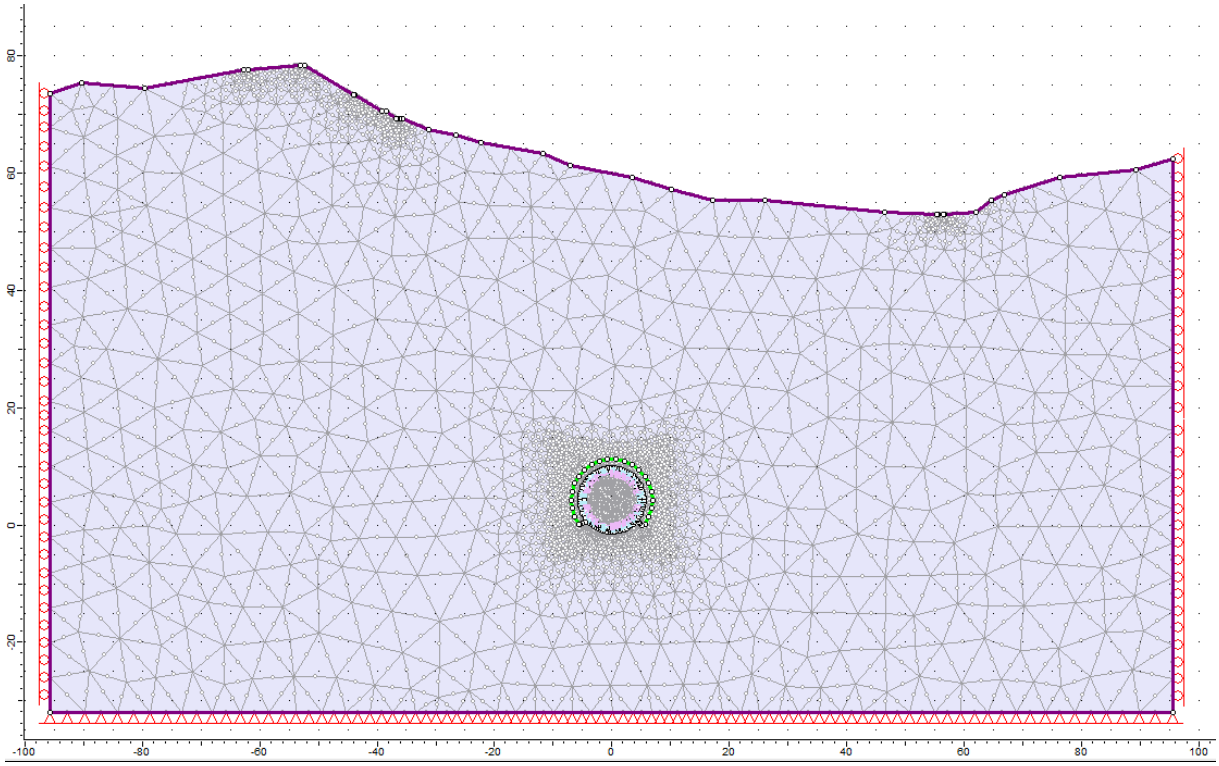


Figura 11-27 – Modellosezione2- vista d'insieme

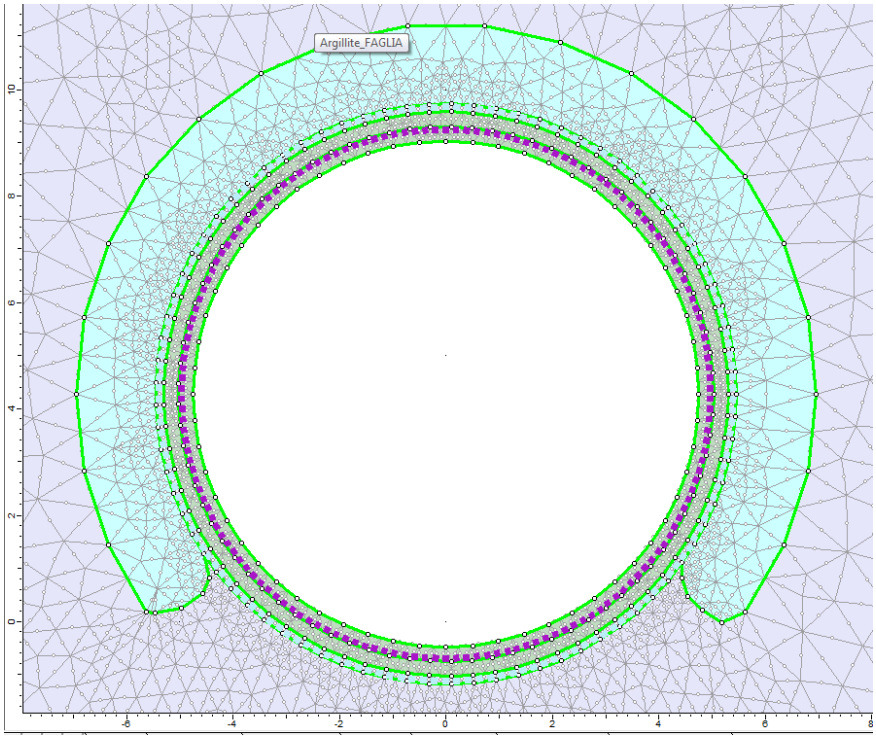


Figura 11-28 – Modellosezione 2- particolare della galleria

Si riporta nella tabella seguente una descrizione sintetica dellefasi di calcolo considerate nell'analisi della sezione in oggetto:

n FASI	DESCRIZIONE	p/p0
1	Inizializzazione sforzi	0.0
2	p=1+ reset spostamenti	1.0
3	(intermedio)	0.70
4	Fronte	0.58
5	6°sfondo	0.24
6	LinerPlate	0.22
7	(Intermedio)	0.17
8	Getto Spritz	0.10
9	Maturazione Spritz	0
10	Rivestimento Definitivo	0
11	Falda	0
12	Falda+Sisma	0

Tabella 11-7 - Fasi di calcolo

Per valutare gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento definitivo disaccoppiati dall'azione del carico idraulico è stata svolta un'analisi analoga a quella sopra descritta in cui alla Fase 11 è stato imposta la sola accelerazione sismica.

Si riportano i risultati dell'analisi in termini di spostamenti massimi (in corrispondenza della fase di relax 100%).

L'estensione delle plasticizzazioni al contorno del cavo è contenuta principalmente per effetto del preconsolidamento al contorno. Queste, infatti, , essenzialmente connessi al superamento del limite di resistenza a taglio dell'ammasso si concentrano nella porzione di cavo in cui non è previsto l'intervento di consolidamento. Nella stessa zona, si riportano locali plasticizzazioni per raggiungimento di limite resistenza a trazione all'interfaccia del materiale roccioso e quello consolidato.

Come è mostrato dalle Figure seguenti l'ampiezza del raggio plastico è dimezzata rispetto alla fase di Diagnosi e l'installazione dei prerivestimenti limita sensibilmente la convergenza del cavo: in calotta gli spostamenti totali aumentano di 1-2 mm dalla fase di installazione dei liner plate fino alla fase di totale rilassamento del cavo. E' da precisare che gli elevati valori di convergenza in arco rovescio restituiti dall'analisi numerica in arco rovescio sono attribuibili al legame costitutivo adottato per l'analisi in oggetto che prevede un modulo in scarico analogo al modulo in carico. La reale risposta dell'ammasso determinerà sollevamenti in arco rovescio significativamente inferiori rispetto a quanto restituito dal calcolo numerico; in questa sede si è scelto di conservare il suddetto legame costituivo (con associato valore del modulo elastico) per cogliere con approccio conservativo l'estensione degli eventuali fenomeni di plasticizzazione dell'ammasso roccioso al di sotto dell'arco rovescio.

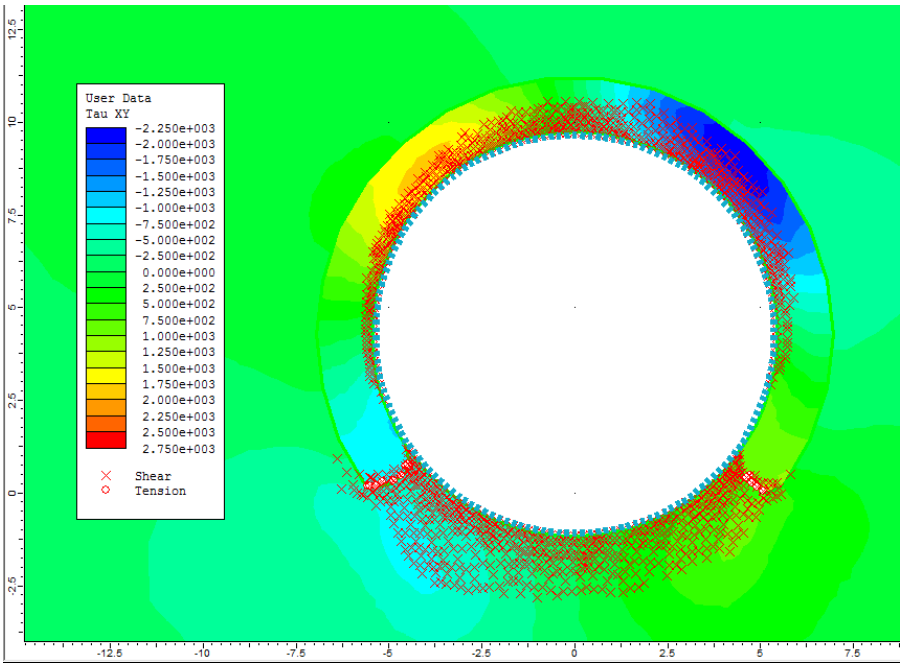


Figura 11-29: Sforzi di taglio con indicazione dei punti elasticizzati

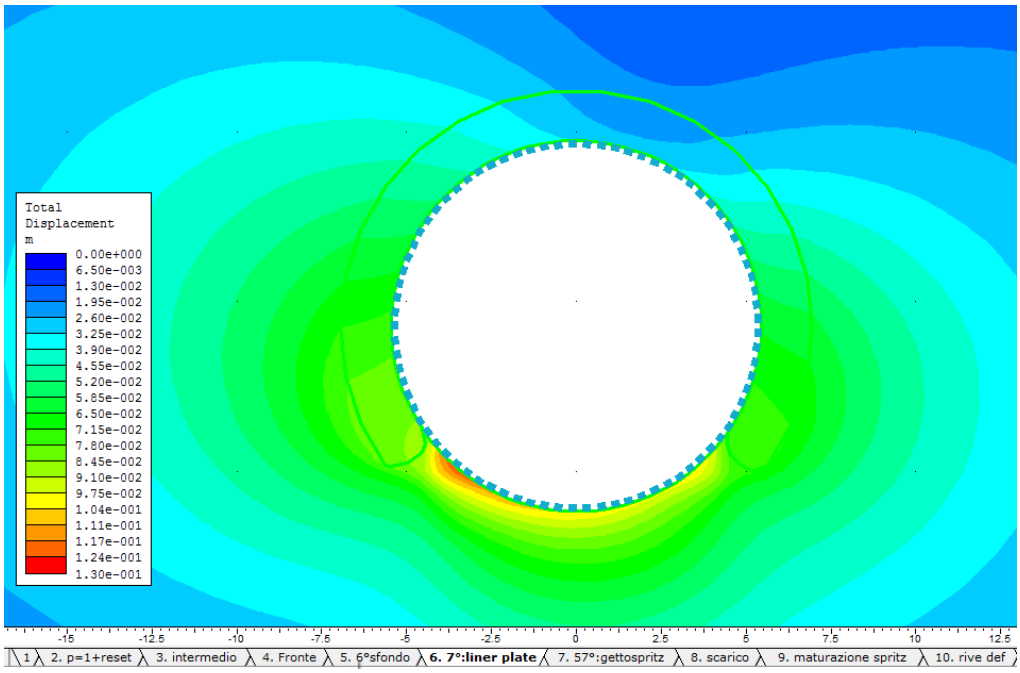


Figura 11-30 -Total displacement (installazione prerivestimenti)

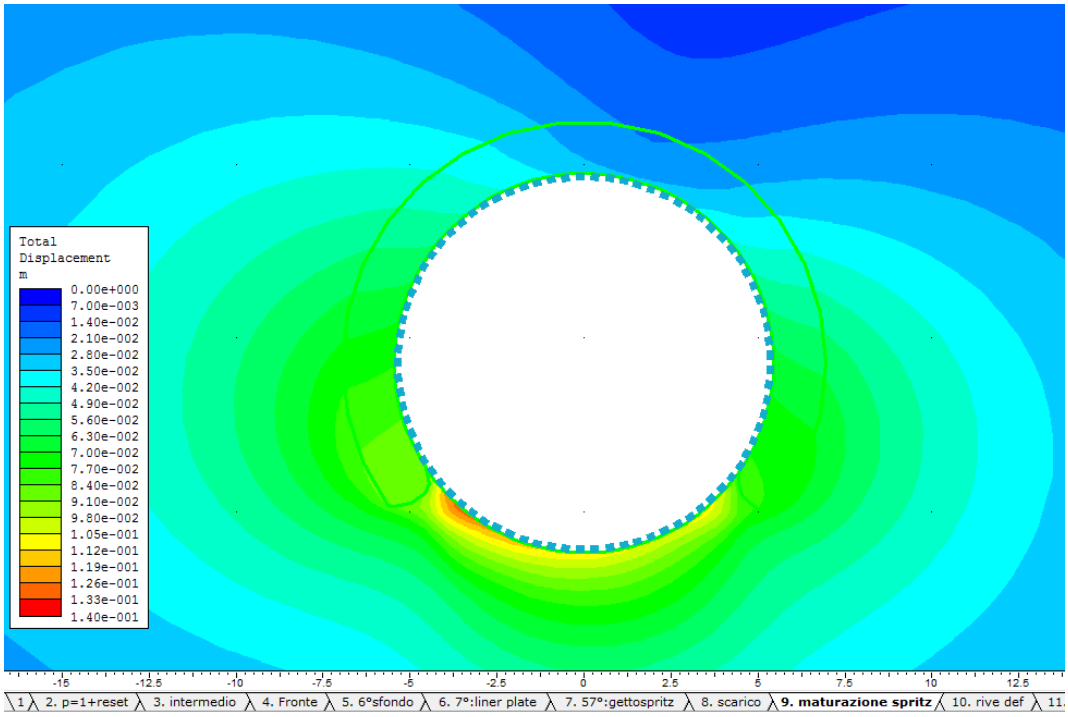


Figura 11-31 -Total displacement (relax 100%)

Si riportano nel seguito i diagrammi delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio dei rivestimenti definitivi nella fase di applicazione delrivestimento definitivo e nell' applicazione della solasollecitazione falda.

Per quanto riguarda le azioni allo stato limite ultimo si è riportato anche la fase della sola applicazione del sisma e la fase dell'azione combinata di sisma più falda.Si riportano le indicazioni sulla posizione della chiave calotta e della mezzeria dell'arco rovescio della galleria con delle linee tratteggiate nei grafici.

Per la sezione in esame si è scelta come combinazione dimensionante quella corrispondente allo stage falda più sisma, mentre per la valutazione dell'adeguatezza strutturale della galleria allo SLE si fa riferimento allo stage Falda.

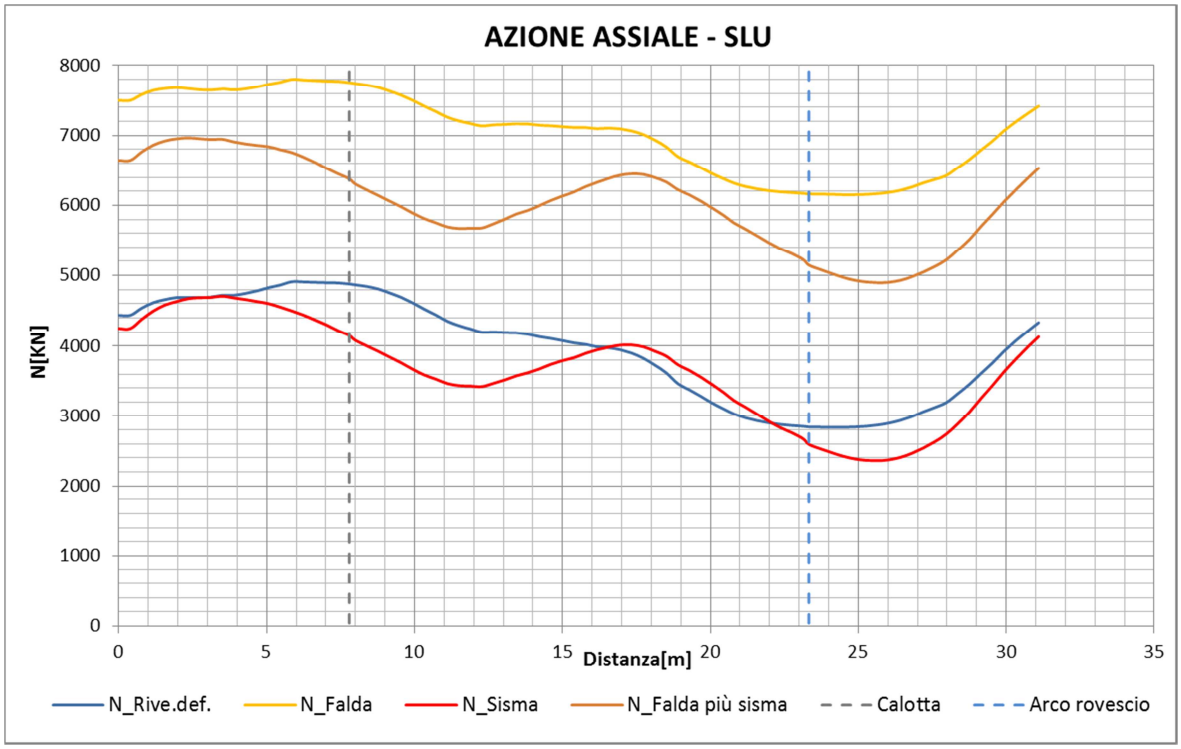


Figura 11-32 - Sollecitazione azione assiale –SLU

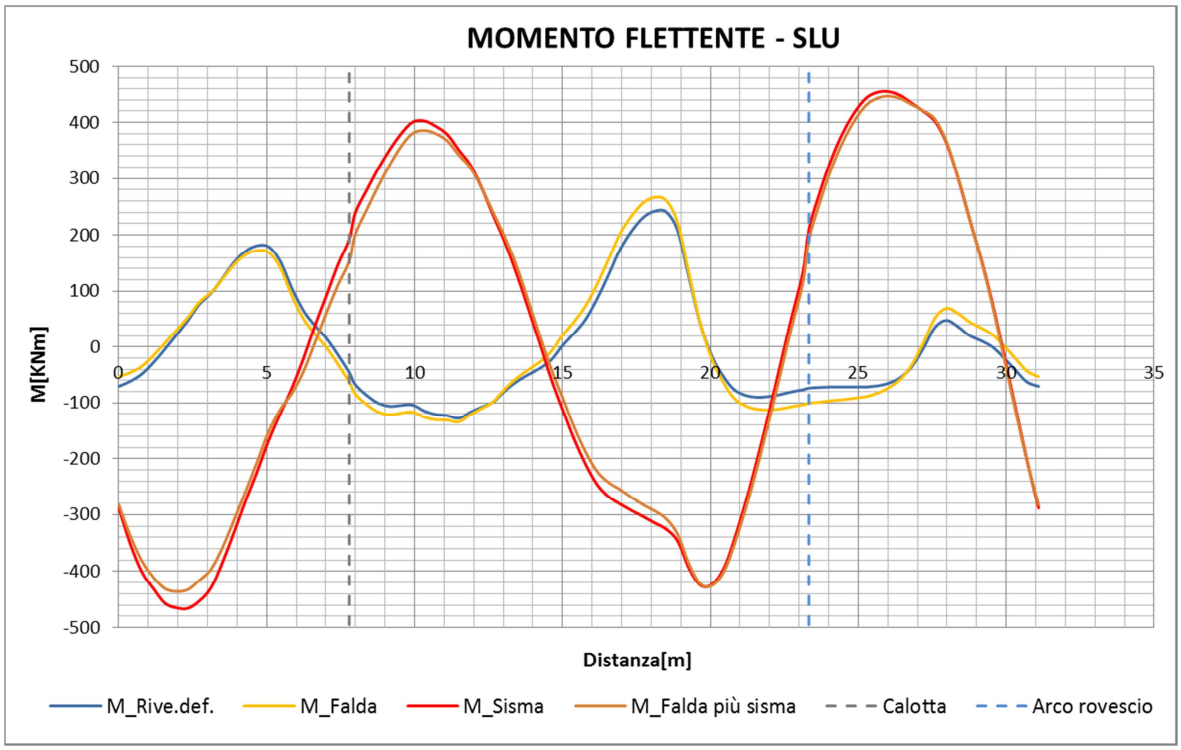


Figura 11-33 - Sollecitazione flettente –SLU

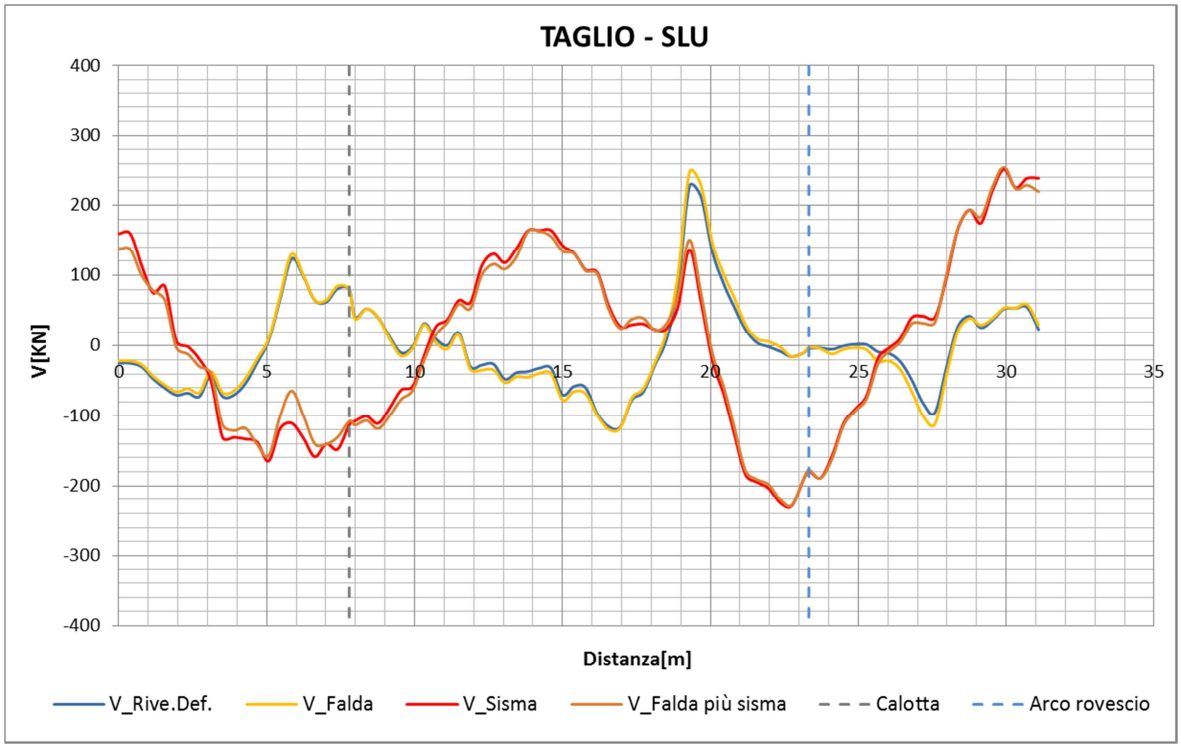


Figura 11-34 - Sollecitazione di taglio– SLU

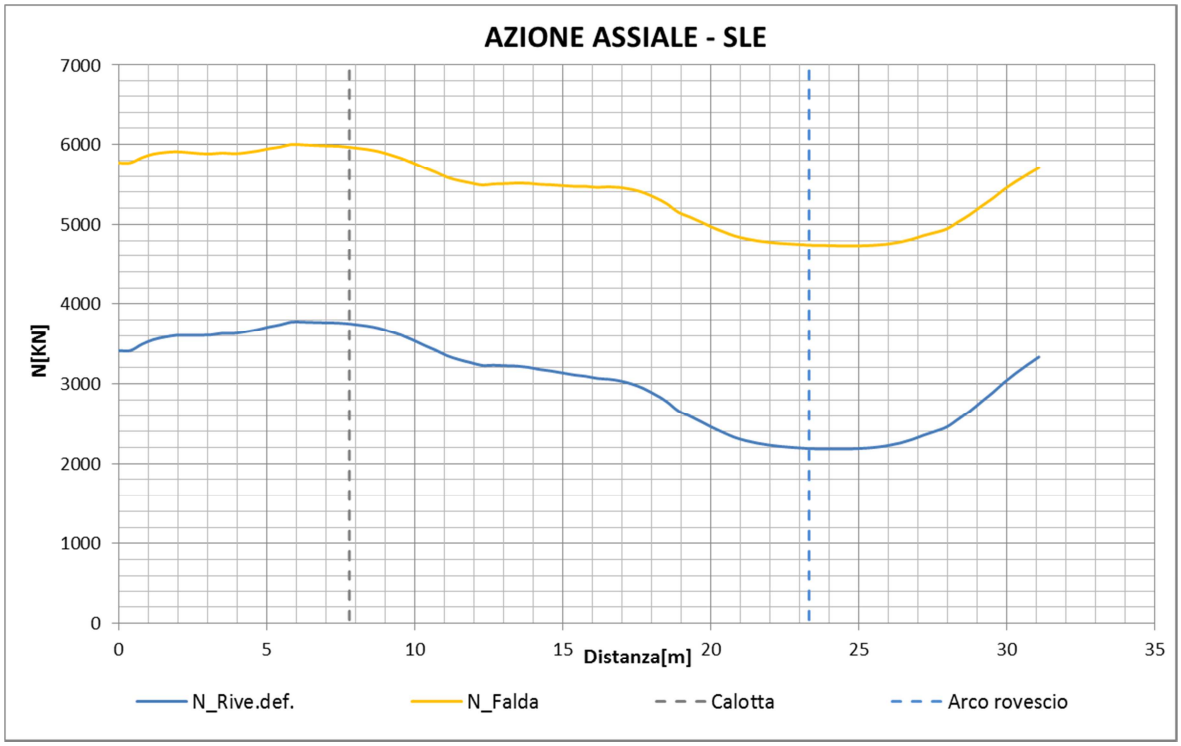


Figura 11-35: Sollecitazione normale–SLE

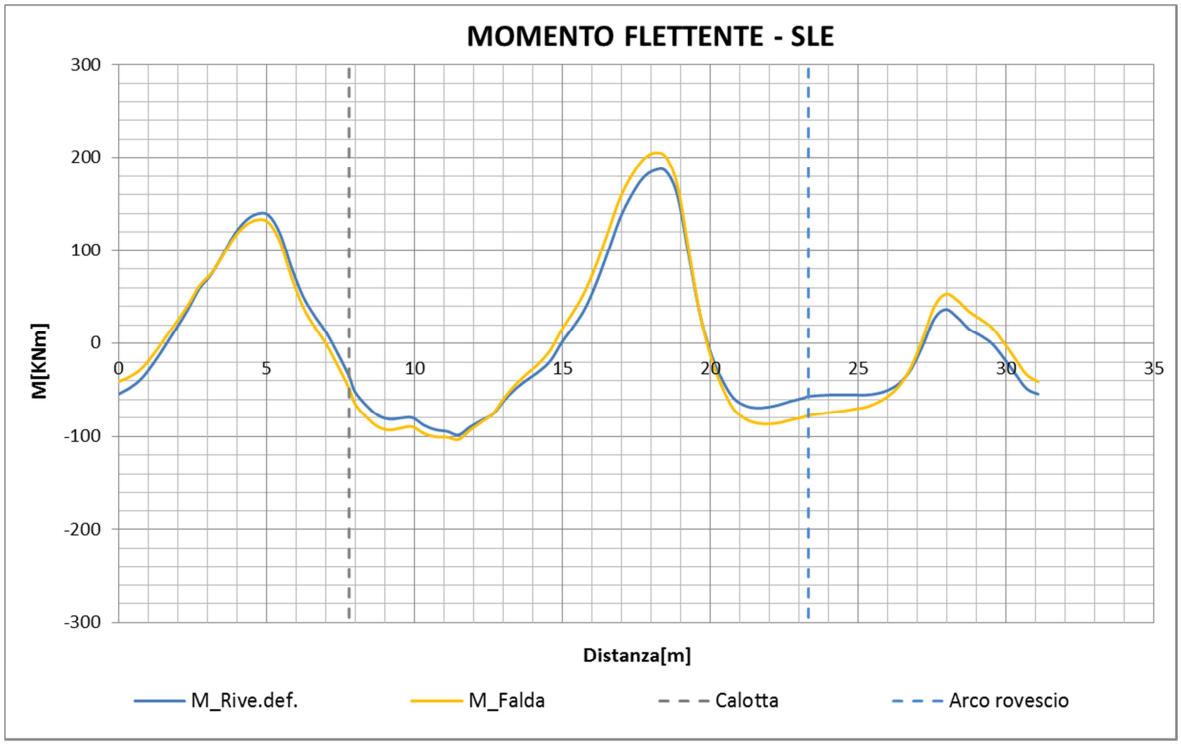


Figura 11-36: Sollecitazione flettente – SLE

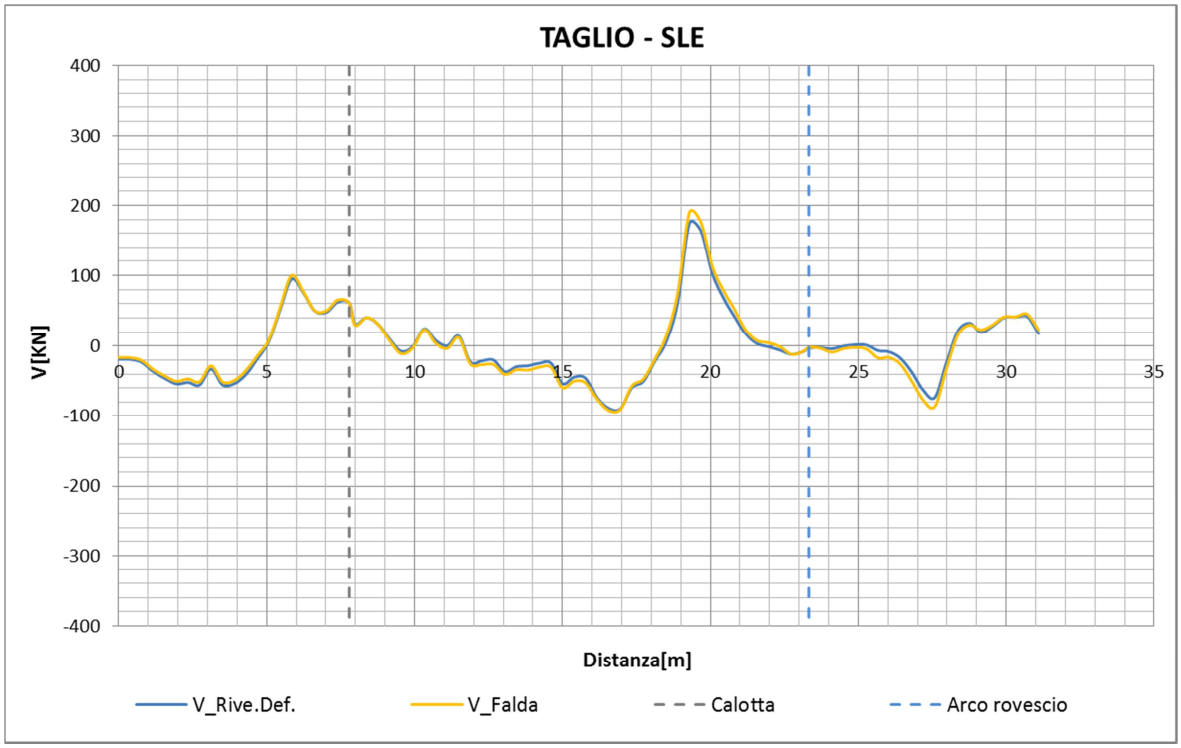


Figura 11-37 - Sollecitazione di taglio– SLE

11.3.3 Sezione3 –Massima Copertura FMA

La sezione di analisi è in corrispondenza delle massime coperture (275.4 m dalla calotta della sezione). Il substrato roccioso di riferimento è il Flysch del Monte Antola.

Il modello di calcolo ha dimensioni 336m*318m discretizzato con una mesh triangolare di 6 nodi per elemento (n° nodi: 14825, n° elementi 7356).

In ragione delle risultanze della fase di Diagnosi, la sezione di scavo e consolidamento prevista è la MAb2 (Figura 11-38). Per tutti i dettagli della sezione si veda il Capitolo 10, di seguito vengono riportate le caratteristiche e gli spessori degli interventi inseriti nel modello di calcolo:

Spritz beton		
Classe	c28/35	
Rck	35	MPa
Spessore	0.1	m
f_{ctk}	2.33	MPa
E	32588	MPa

Swellex/Split-set bolt		
Tensile capacity	0.2	MN
Residual tensile capacity	0	MN
Area tributary	480.42	mm2
E_bolt	210	GPa
Bond strength	0.3	MN/m
Residual Bond Strength	0.3	MN/m
Bond Shear Stiffness	200	MN/m/m
Out-of-plane spacing	1.5	m
Face plates	attached	
Pre-tensioning	0	
Pre-tensionin force	costant in install stage	
Bolt Model	Plastic	
Allow Joint to shear bolt	yes	
Length	4.5	m

Rivestimento definitivo		
Classe	c35/45	
Rck	45	MPa
Spessore	0.55	m
fctk	2.66	MPa
E	34500	MPa
v	0.2	-

Tabella 11-8 - Tabelle riassuntive interventi sezione 3 (MaxCopertura)

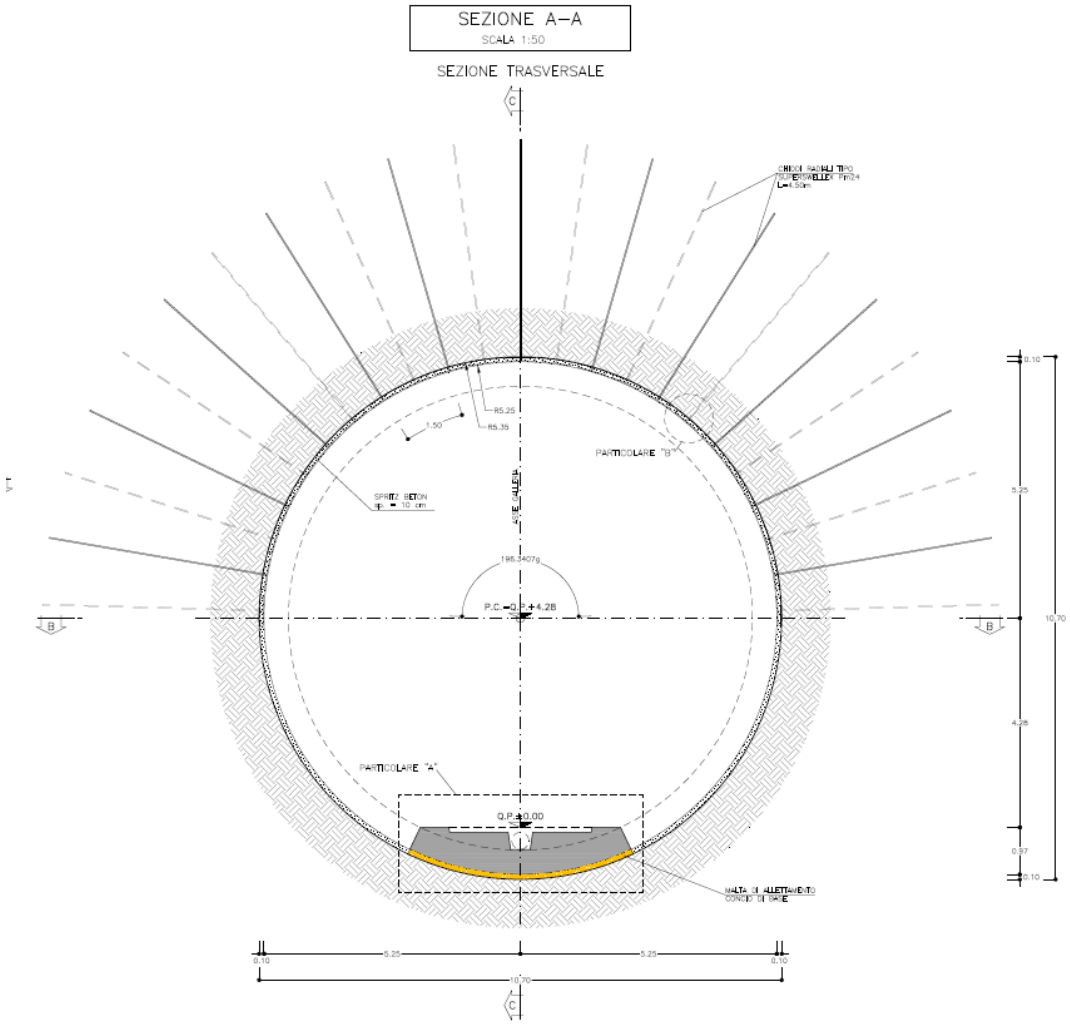


Figura 11-39 – Sezione tipo MAb2 (scavo)

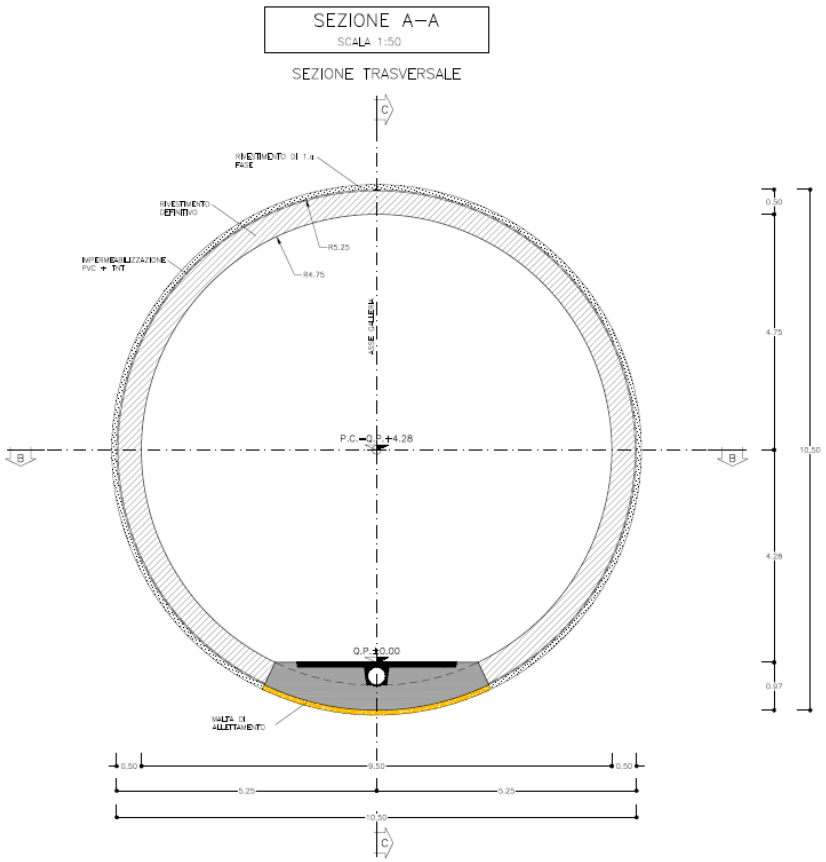


Figura 11-40 – Sezione tipo MAb2 (carpenteria)

Si considera uno strato omogeneo di materiale al quale sono stati attribuiti i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso del Flysch del Monte Antola, risultati dall'analisi geomeccanica, sono i seguenti:

FMA		
γ	26	kN/m3
v	0.25	
UCS	45	MPa
GSI	60	
MR	400	
Erm	9360	MPa
mi	12	
mb	2.8758	
D	0	
s	0.01174	
mb_res	1.44	
s_res	0.0004	
k0	1	

Tabella 11-9 - Tabella riassuntiva materiali sezione 3 (MaxCopertura)

Il battente idraulico agente in questa sezione è pari a 160 m misurato dalla chiave calotta del cavo. In accordo a quanto riportato nella relazione idrogeologica nella formazione del Flysch del Monte Antola si è considerato un abbattimento del 70% del carico idraulico (H=48m).

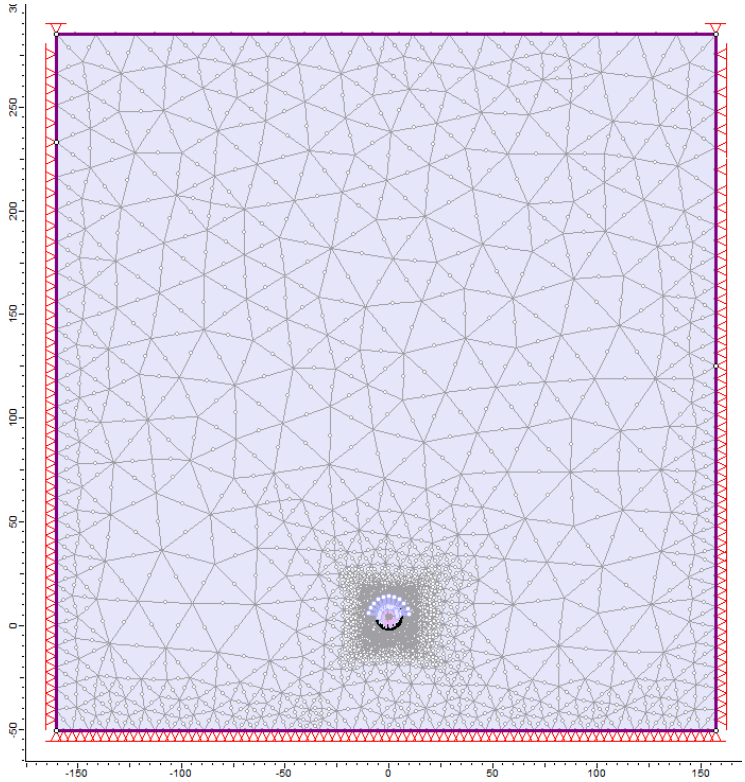


Figura 11-41 – Modellosezione 3 - vista d'insieme

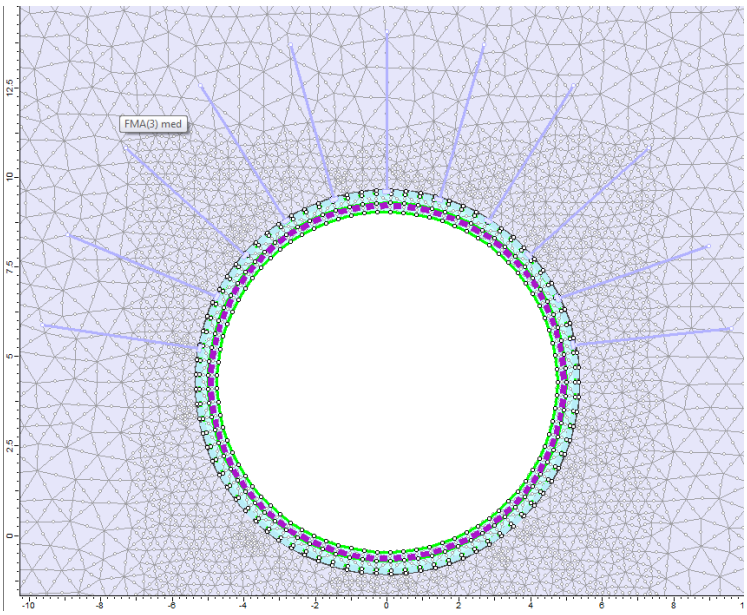


Figura 11-42 – Modello sezione 3- particolare della galleria

Si riporta nella tabella seguente una descrizione sintetica dellefasi di calcolo considerate nell'analisi della sezione in oggetto:

n FASI	DESCRIZIONE	p/p0
1	Inizializzazione sforzi	0.00
2	p=1+ reset spostamenti	1.00
3	(intermedio)	0.80
4	Fronte	0.64
5	(intermedio)	0.30
6	6°sfondo:BulloniSwellex	0.08
7	(intermedio)	0.06
8	Getto Spritz	0.04
9	Maturazione Spritz	0
10	Rivestimento Definitivo	0
11	Falda	0
11	Falda+Sisma	0

Tabella 11-10: Fasi di calcolo

Per valutare gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento definitivo disaccoppiati dall'azione del carico idraulico è stata svolta un'analisi analoga a quella sopra descritta in cui alla Fase 11 è stato imposta la sola accelerazione sismica.

Si riportano i risultati dell'analisi in termini di spostamenti massimi (in corrispondenza della fase di relax 100%).

L'estensione delle plasticizzazioni al contorno del cavo è contenuta per effetto del consolidamento radiale (bulloni superswellex pm24). Si rileva come i fenomeni di plasticizzazione, essenzialmente connessi al superamento del limite di resistenza a taglio dell'ammasso / resistenza a trazione, sono limitati nell'estensione e omogeneamente distribuiti al contorno del cavo. La risposta deformativa del cavo sostenuto dai pre-rivestimenti è inferiore a 1 cm, con valori massimi in calotta, 8.5mm.

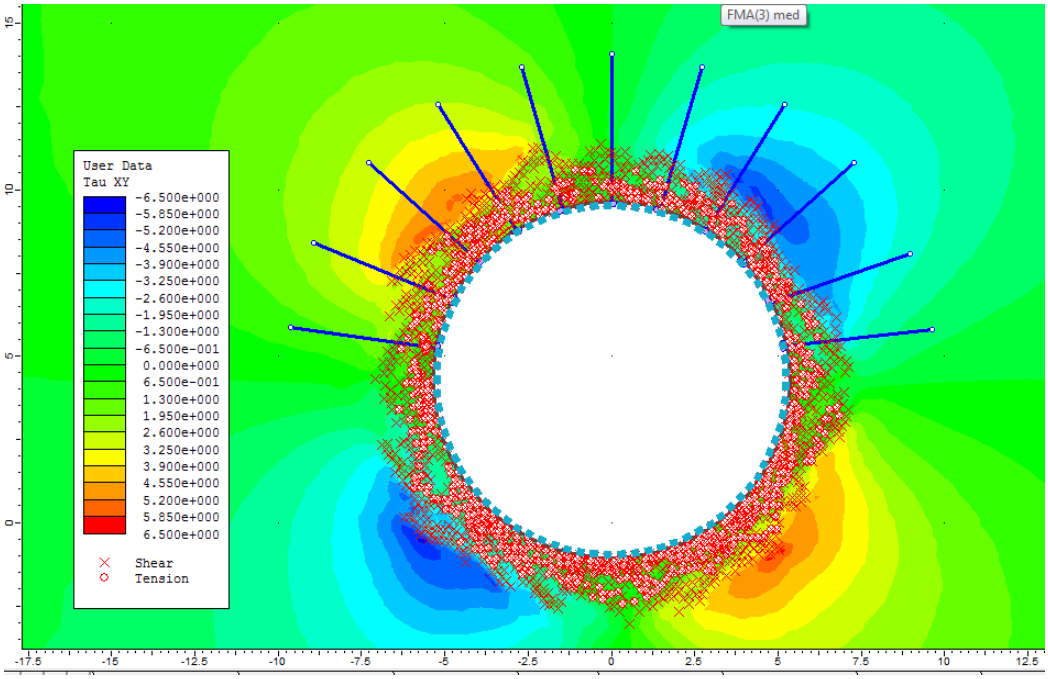


Figura 11-43: Sforzi di taglio con indicazione dei punti plasticizzati

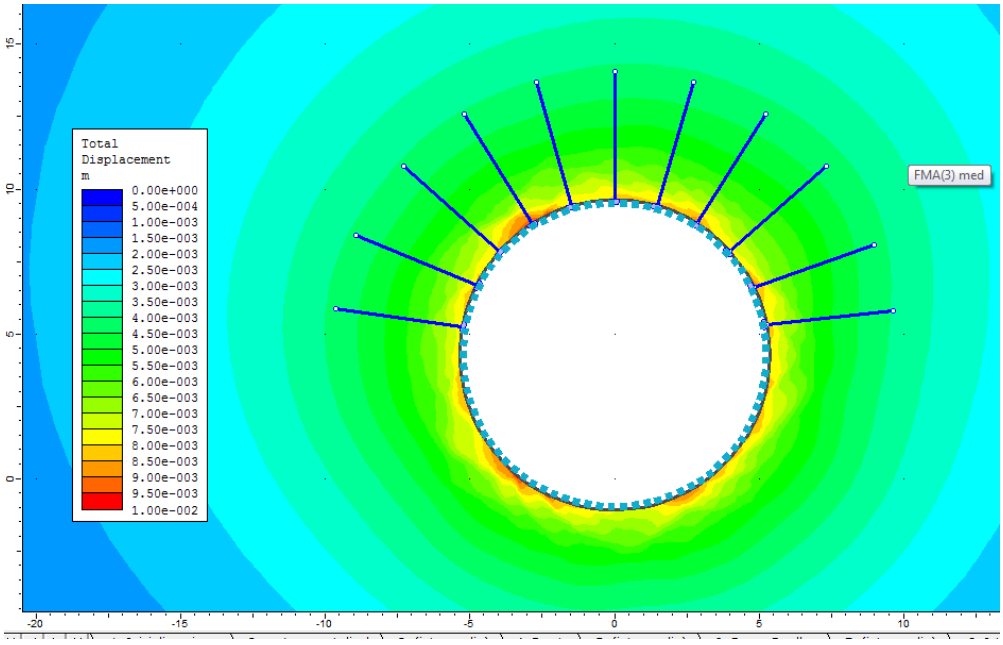


Figura 11-44 -Total displacement

Si riportano nel seguito i diagrammi delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio dei rivestimenti definitivi nella fase di applicazione del rivestimento definitivo e nell' applicazione della sola sollecitazione falda. Per quanto riguarda le azioni allo stato limite ultimo si è riportato anche la fase della sola applicazione del sisma e la fase dell'azione combinata di sisma più falda.

Si riportano le indicazioni sulla posizione della chiave calotta e della mezzeria dell'arco rovescio della galleria con delle linee tratteggiate nei grafici.

Per la sezione in esame si è scelta come combinazione dimensionante sia per lo S.L.U. che per lo S.L.E. quella corrispondente allo stage falda.

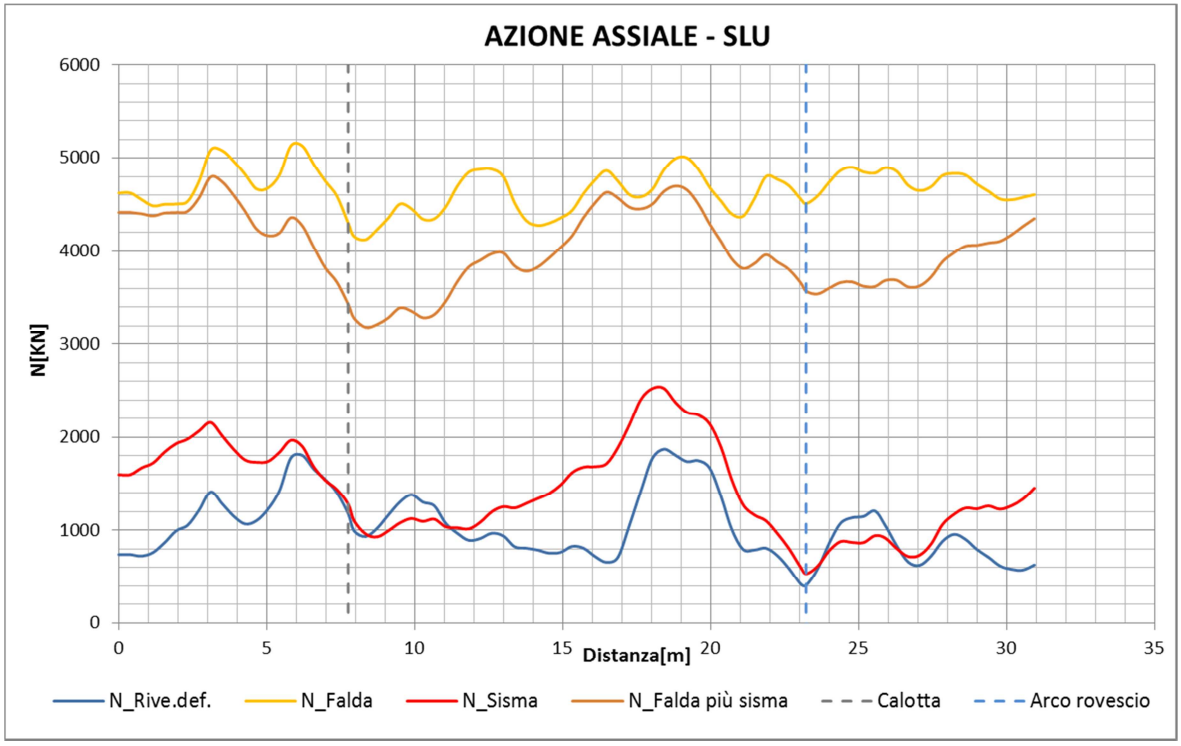


Figura 11-45 -Sollecitazione normale – SLU

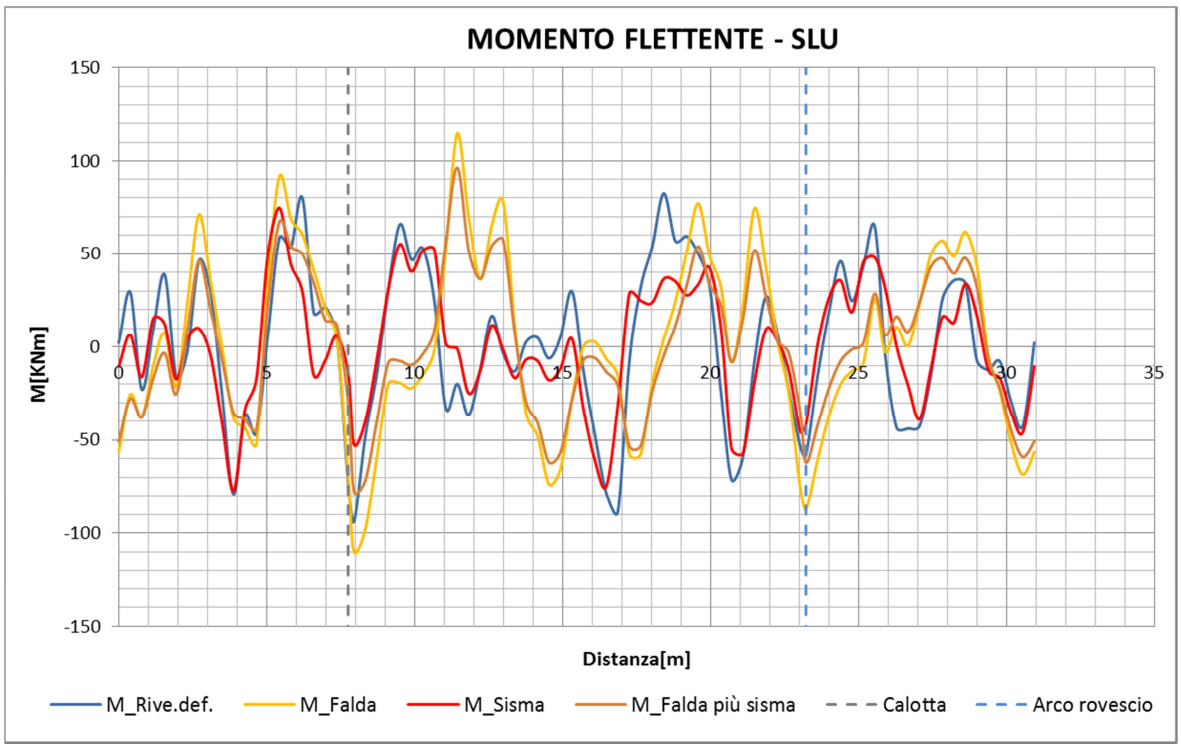


Figura 11-46 - Sollecitazione flettente – SLU

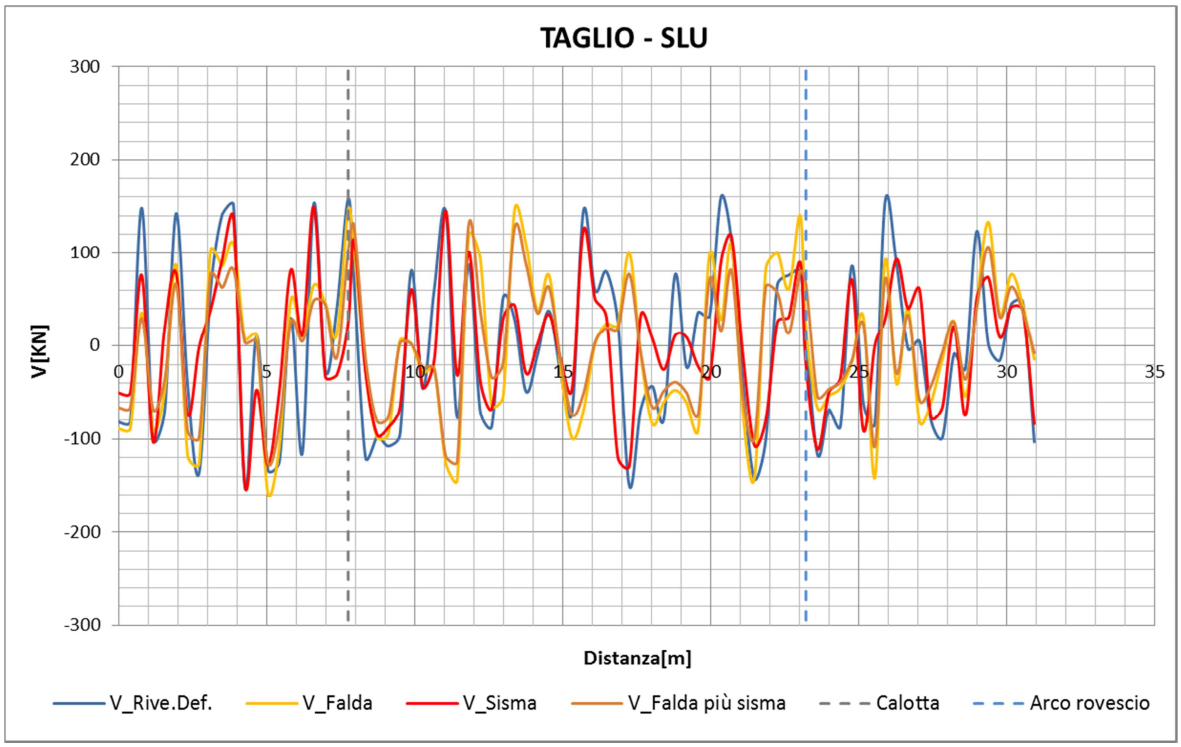


Figura 11-47 - Sollecitazione di taglio– SLU

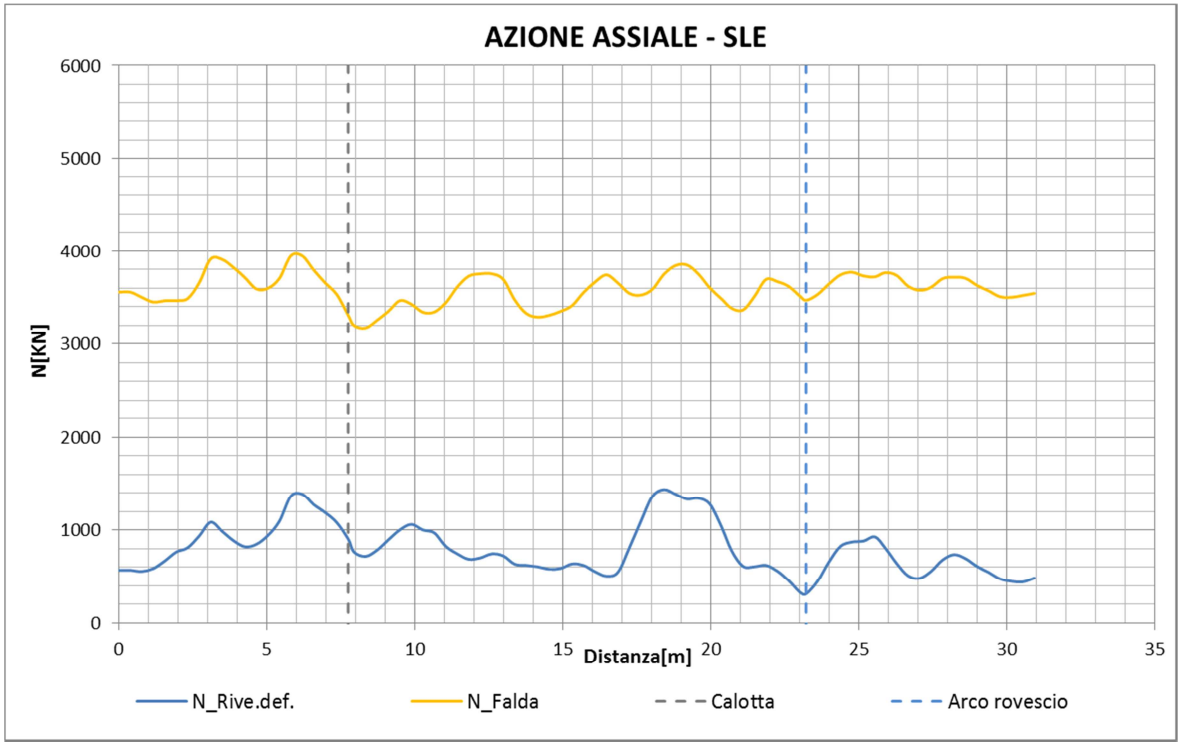


Figura 11-48 -Sollecitazione normale – SLE

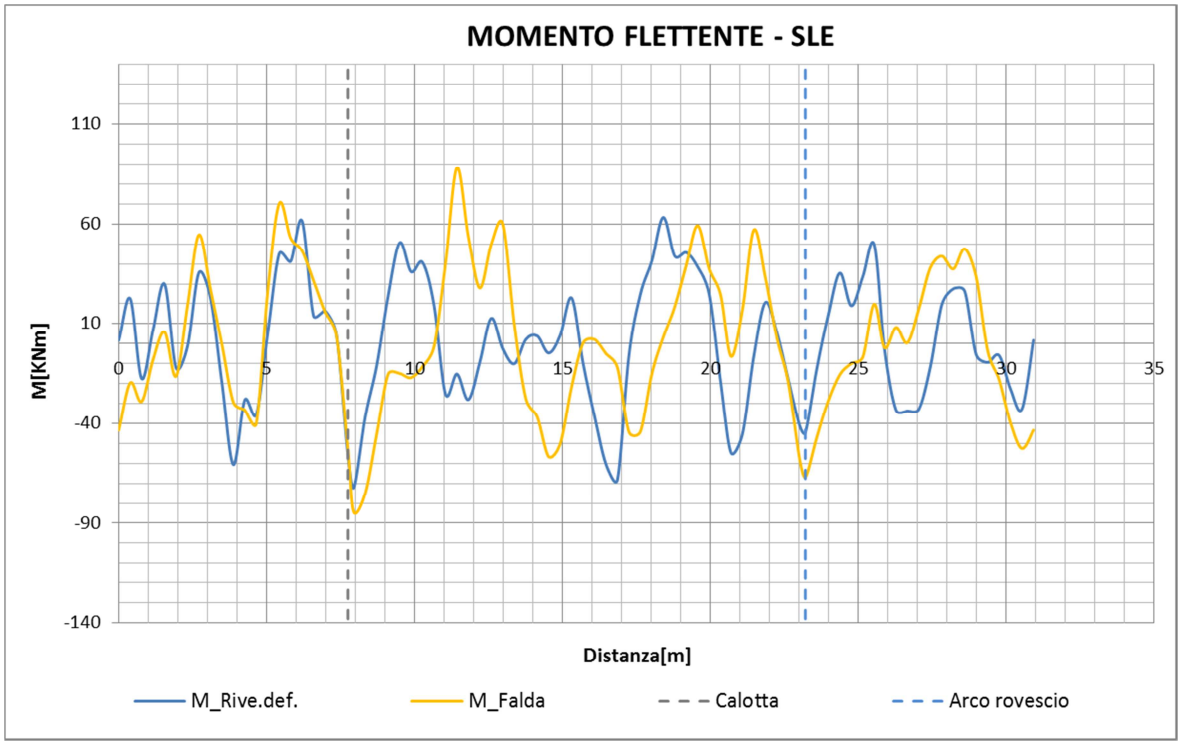


Figura 11-49–Sollecitazione flettente – SLE

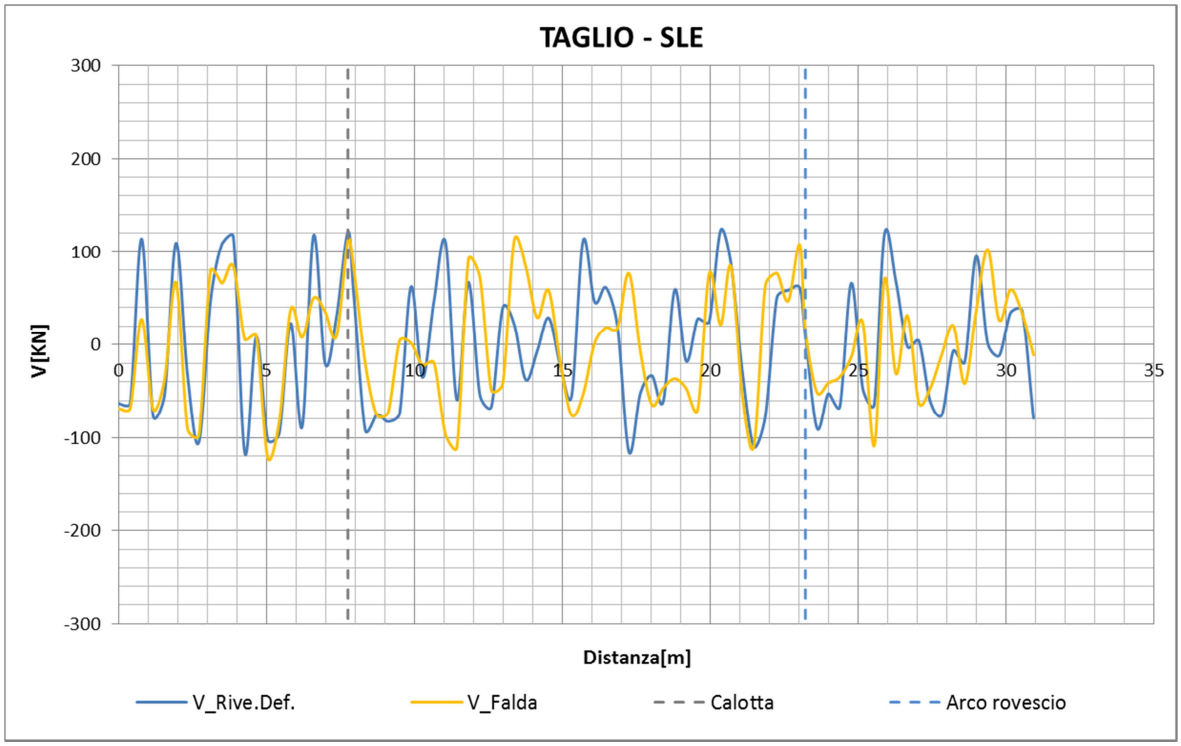


Figura 11-50 - Sollecitazione di taglio– SLE

11.3.4 Sezione4– FagliaCopertura150m (FMA)

La sezione di analisi si caratterizza l'attraversamento della zona di faglia alle massime coperture (150mdalla calotta della sezione). La qualità dell'ammasso roccioso è caratterizzato da GSI 30 associato per tale formazione alle zone di faglia..

Il modello di calcolo ha dimensioni 200m*210m discretizzato con una mesh triangolare di 6 nodi per elemento (n° nodi: 10856, n° elementi 5393).

In ragione delle risultanze della fase di Diagnosi, la sezione di scavo e consolidamento prevista è la MC2 (Figura 11-51). Per tutti i dettagli della sezione si veda il Capitolo 10, di seguito vengono riportate le caratteristiche e gli spessori degli interventi inseriti nel modello di calcolo:

Spritz beton		
Classe	c28/35	
Rck	35	MPa
Spessore	0.15	m
fctk	2.33	MPa
E	32588	MPa

Linerplates		
HEB140		
J	1.51E-05	m^4
Area	0.004296	m^2
UPN140		
J	6.05E-06	m^4
Area	0.00204	m^2
HEB140+2UPN140		
J_tot	2.72E-05	m^4
Area_tot	0.008376	m^2
Section depth	0.14	m
Compressive Strength	275	MPa
Tensile Strength	275	MPa
passo	1	m
E	210000	MPa

Rivestimento definitivo		
Classe	c35/45	
Rck	45	MPa
Spessore	0.55	m
fctk	2.66	MPa
E	34500	MPa
v	0.2	-

Tabella 11-11 - Tabelle riassuntive interventi sezione 4 (Faglia-Copertura150 m)

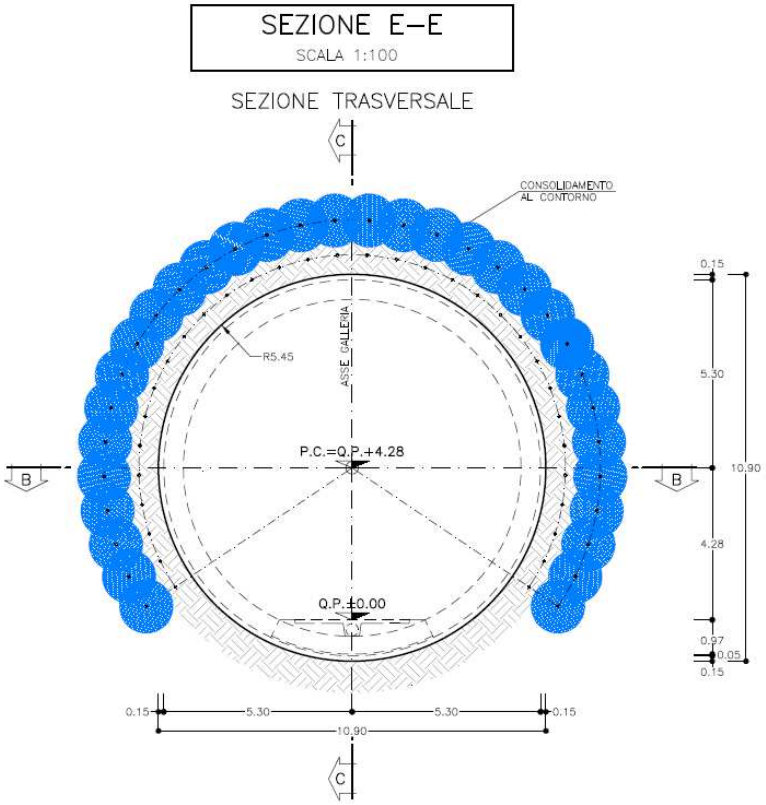


Figura 11-52 – Sezione tipo MC2 (Scavo e consolidamenti)

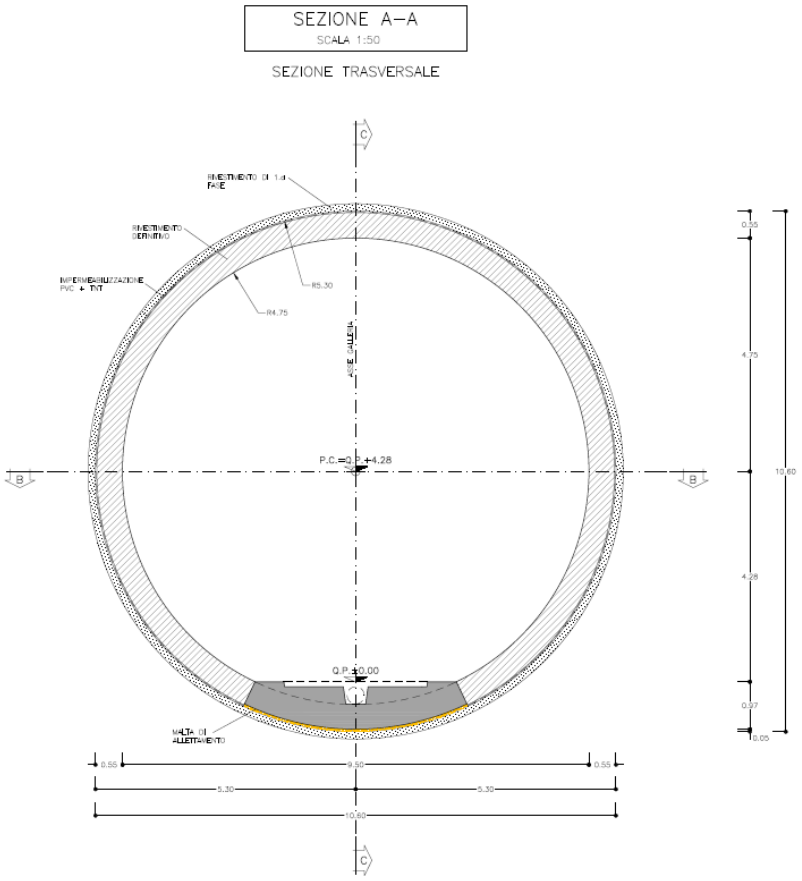


Figura 11-53 – Sezione tipo MC2 (carpenteria)

Si considera uno strato omogeneo di materiale al quale sono stati attribuiti i parametri geotecnici dell'ammasso roccioso del Flysch del Monte Antola in faglia, risultati dall'analisi geomeccanica, sono i seguenti:

FMA		
γ	26	kN/m3
v	0.25	
UCS	20	MPa
GSI	30	
MR	400	
Erm	651	MPa
mi	12	
mb	0.985	
D	0	
s	0.0004	
mb_res	0.985	
s_res	0.0004	
k0	1	

Tabella 11-12 - Tabella riassuntiva materiali sezione 4 (FagliaCopertura150 m)

Gli effetti del preconsolidamento al contorno, costituito da una coronella di iniezioni operata da tubi in PVC valvolati, sono stati modellati assegnando parametri meccanici migliorativi alla fascia consolidata di spessore pari a 1.50 m (congruentemente con la resa prevista dei preconsolidamenti), nello specifico calcolati assumendo un incremento di 10 p.ti del GSI (associabile all'intasamento dei vuoti/giunti da parte delle iniezioni e, pertanto, ad una corrispondente riduzione dell'indice di fratturazione dell'ammasso) ed un sensibile aumento della resistenza a compressione rappresentativa della matrice (quantificato – in questa fase - in 5 MPa, stante l'iniezione dei vuoti e dei sistemi di giunto con miscele a base Cemento 32.5R-42.5R)

Preconsolidamento al contorno		
γ	26	kN/m3
v	0.25	
UCS	25	MPa
GSI	40	
MR	400	
Erm	1600	MPa
mi	12	
mb	1.408	
D	0	
s	0.001273	
mb_res	1.408	
s_res	0.001273	

Tabella 11-13 – Preconsolidamento al contorno sezione 3 (FagliaCopertura150 m)

Il battente idraulico agente in questa sezione è pari a 120 m misurato dalla chiave calotta del cavo. In accordo a quanto riportato nella relazione idrogeologica nella formazione del Flysch del Monte Antola si è considerato un abbattimento del 70% del carico idraulico (H=36m).

Qui di seguito si propongono le immagini significative del modello di calcolo nel suo complesso ed in corrispondenza del cavo.

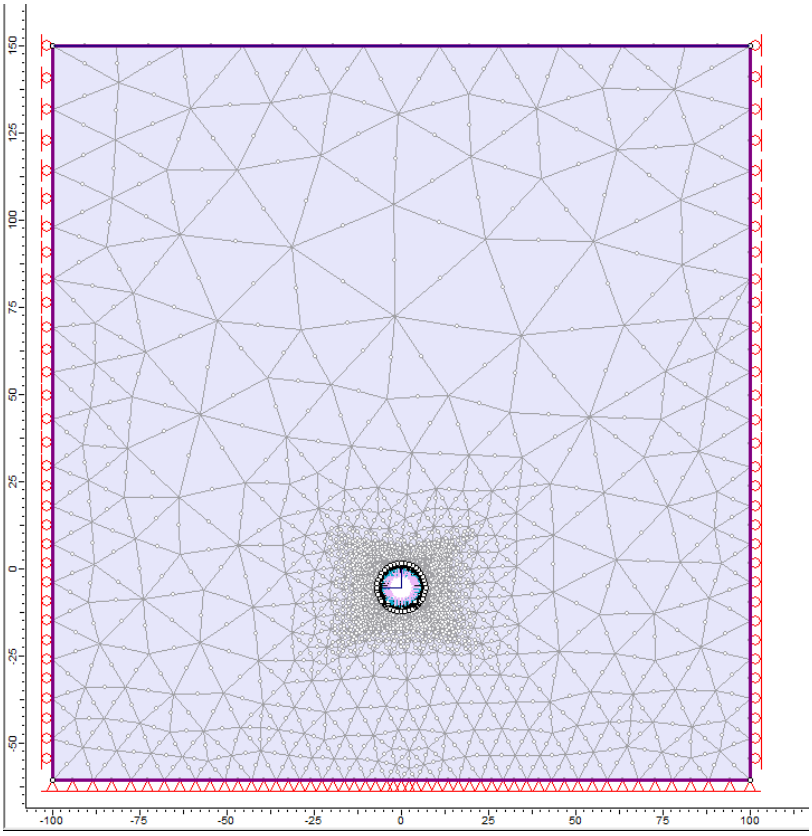


Figura 11-54 – Modello sezione 4- vista d'insieme

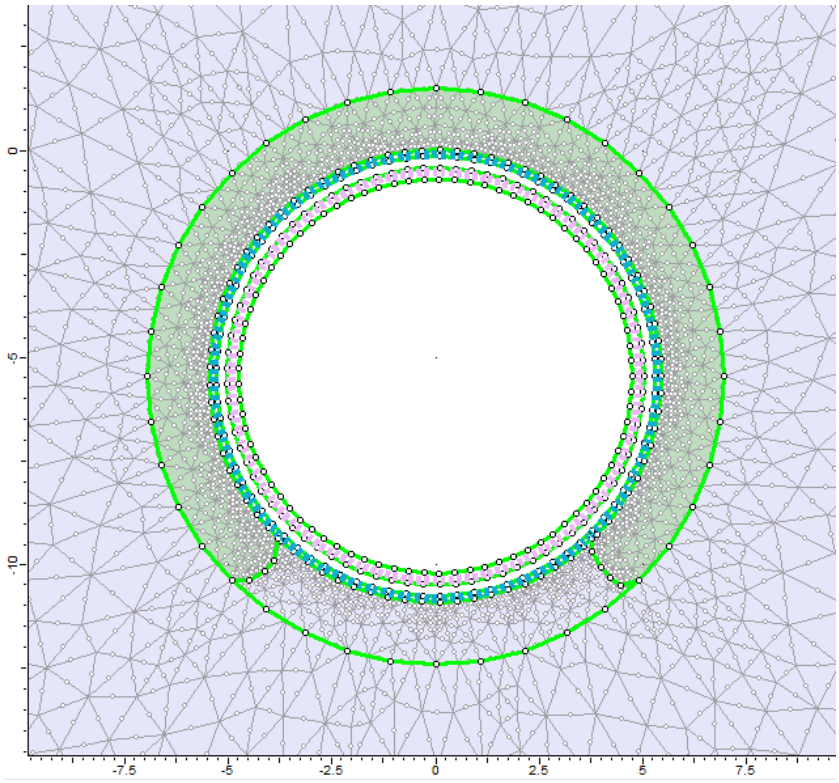


Figura 11-55 – Modello sezione 4- particolare della galleria

Si riporta nella tabella seguente una descrizione sintetica delle due fasi di calcolo considerate nell'analisi della sezione in oggetto:

n FASI	DESCRIZIONE	p/p0
1	Inizializzazione sforzi	0.0
2	p=1+ reset spostamenti	1.0
3	(intermedio)	0.7
4	Fronte	0.5
5	6°sfondo	0.10
6	LinerPlate	0.087
7	Getto Spritz	0.05
8	Maturazione Spritz	0
9	Rivestimento Definitivo	0
10	Falda	0
11	Falda+Sisma	0

Tabella 11-14 - Fasi di calcolo

Per valutare gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento definitivo disaccoppiati dall'azione del carico idraulico è stata svolta un'analisi analoga a quella sopra descritta in cui alla Fase 10 è stato imposta la sola accelerazione sismica.

Si riportano i risultati dell'analisi in termini di plasticizzazioni e spostamenti massimi (in corrispondenza della fase di relax 100%).

L'estensione delle plasticizzazioni al contorno del cavo è sensibilmente contenuta per effetto del preconsolidamento al contorno. Si rileva come i fenomeni di plasticizzazione, essenzialmente connessi al superamento del limite di resistenza a taglio dell'ammasso, sono limitati nell'estensione e si concentrano nella fascia interessata dal preconsolidamento al contorno. Locali plasticizzazioni dovuti al superamentodella resistenza a trazione sono omogeneamente distribuite nell'intorno del cavo.

La risposta deformativa del cavo sostenuto dai pre-rivestimenti è dell'ordine dei 2-3cm. E' da precisare che gli elevati valori di convergenza in arco rovescio restituiti dall'analisi numerica in arco rovescio sono attribuibili al legame costitutivo adottato per l'analisi in oggetto che prevede un modulo in scarico analogo al modulo in carico. La reale risposta dell'ammasso determinerà sollevamenti in arco rovescio significativamente inferiori rispetto a quanto restituito dal calcolo numerico; in questa sede si è scelto di conservare il suddetto legame costituivo (con associato valore del modulo elastico) per cogliere con approccio conservativo l'estensione degli eventuali fenomeni di plasticizzazione dell'ammasso roccioso al di sotto dell'arco rovescio.

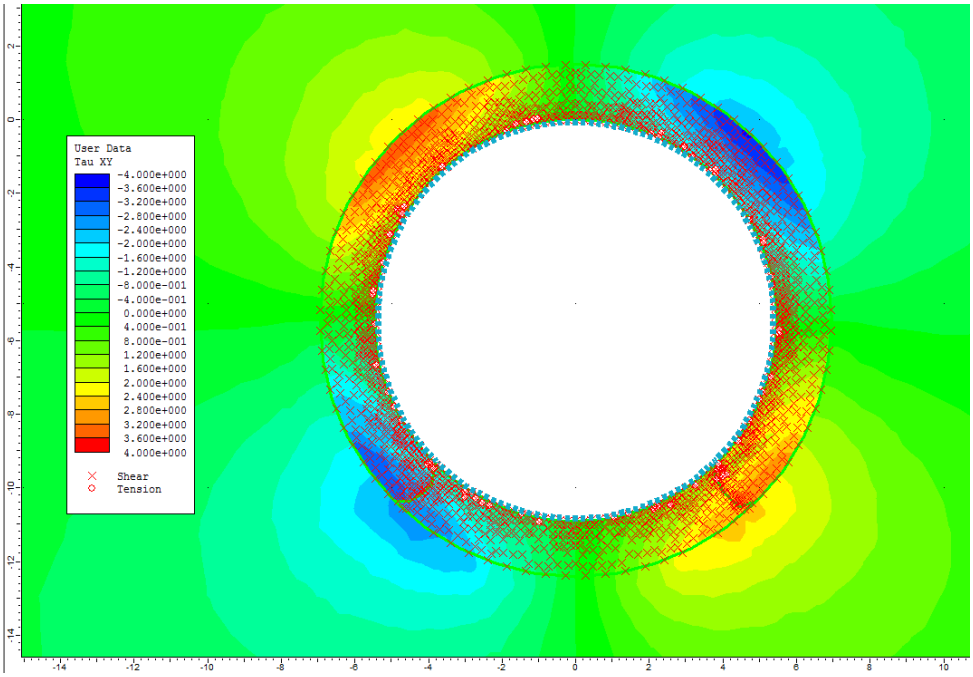


Figura 11-56: Sforzi di taglio con indicazione dei punti plasticizzati

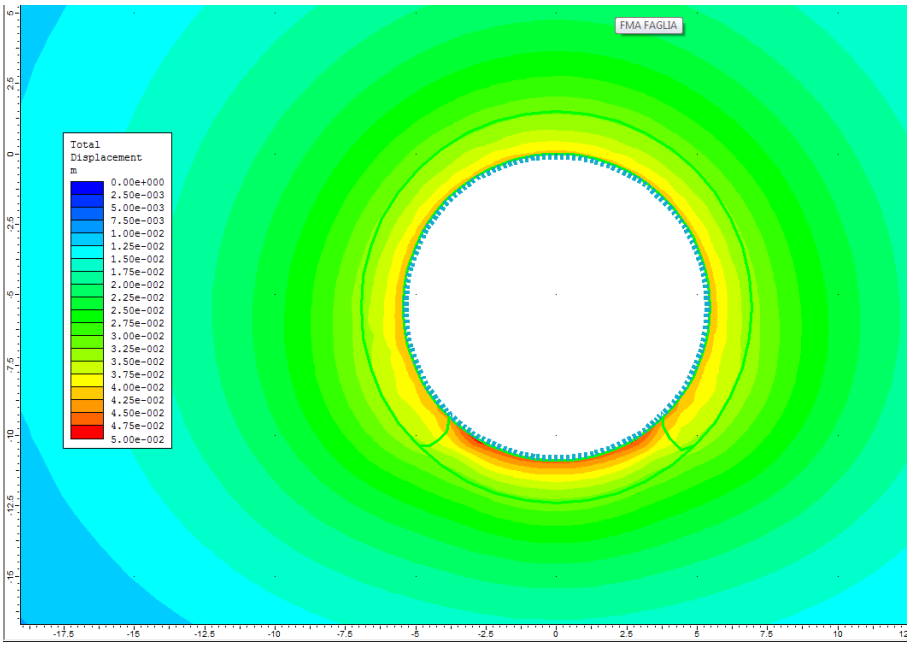


Figura 11-57 -Total displacement

Si riportano nel seguito i diagrammi delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio dei rivestimenti definitivi nella fase di applicazione del rivestimento definitivo e nell' applicazione della sola sollecitazione falda. Per quanto riguarda le azioni allo stato limite ultimo si è riportato anche la fase della sola applicazione del sisma e la fase dell'azione combinata di sisma più falda.

Si riportano le indicazioni sulla posizione della chiave calotta e della mezzeria dell'arco rovescio della galleria con delle linee tratteggiate nei grafici.

Per la sezione in esame si è scelta come combinazione dimensionante sia per lo S.L.U. che per lo S.L.E. quella corrispondente allo stage falda.

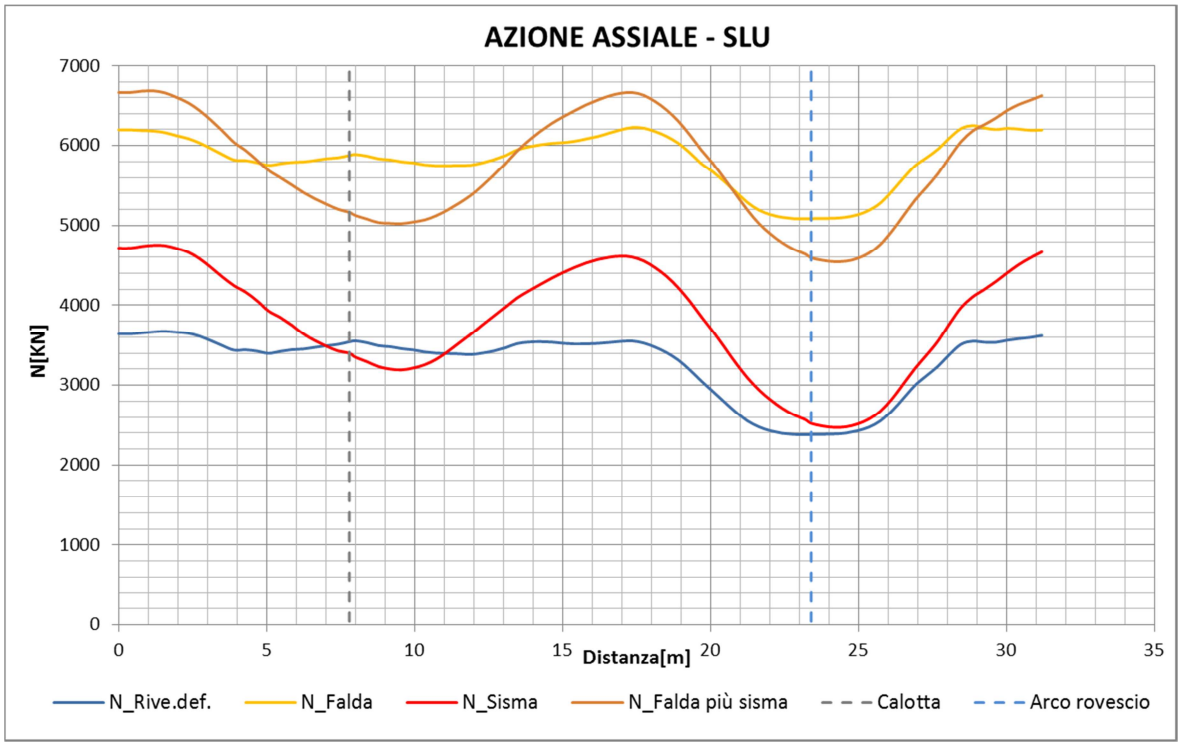


Figura 11-58 -Sollecitazione normale – SLU

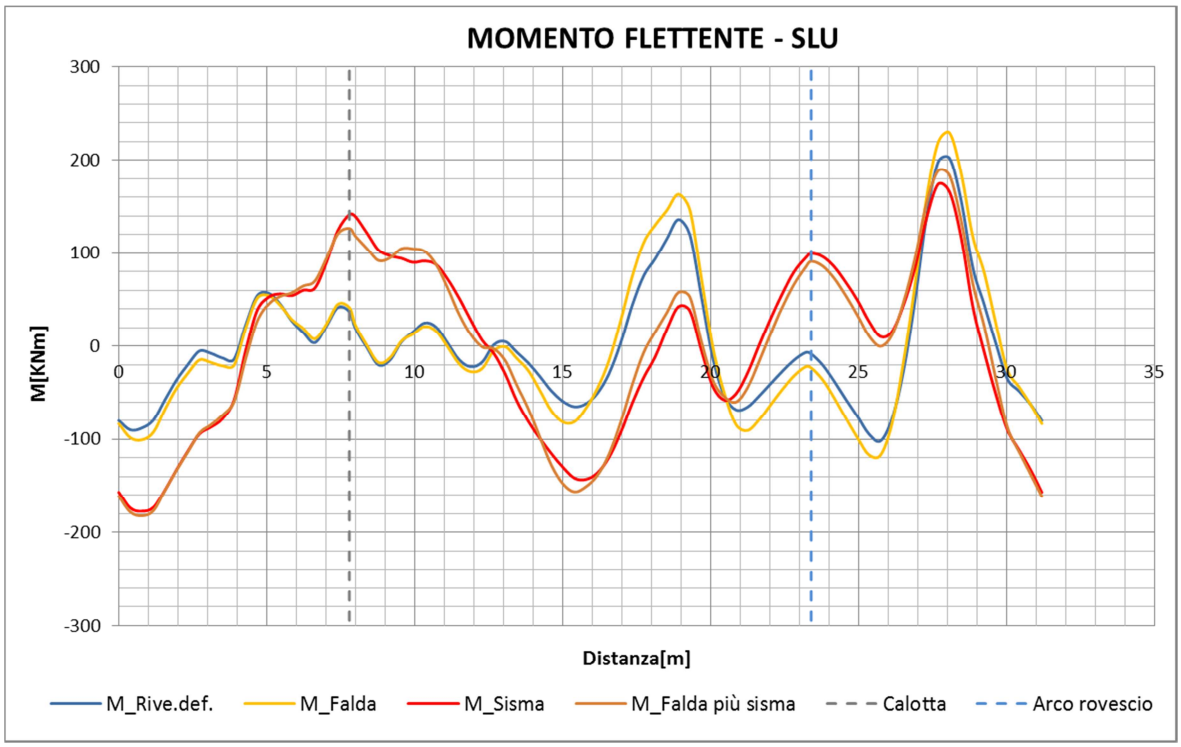


Figura 11-59 -Sollecitazione flettente – SLU

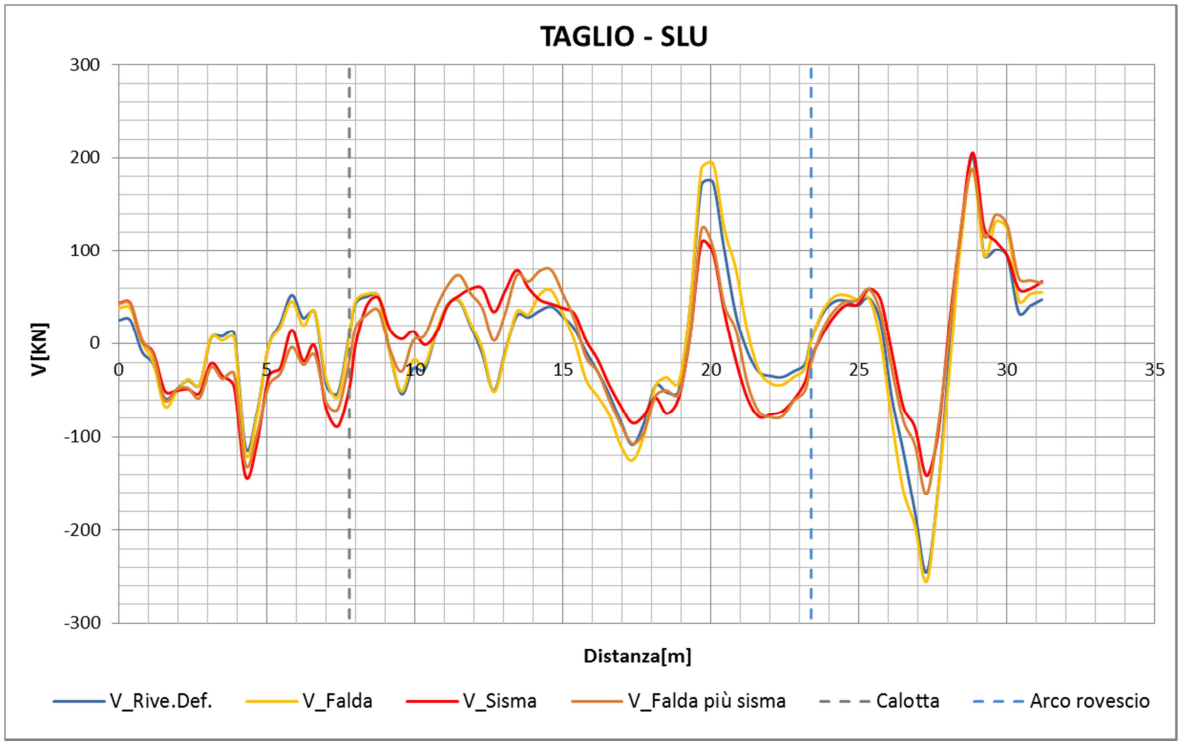


Figura 11-60–Sollecitazione a taglio – SLU

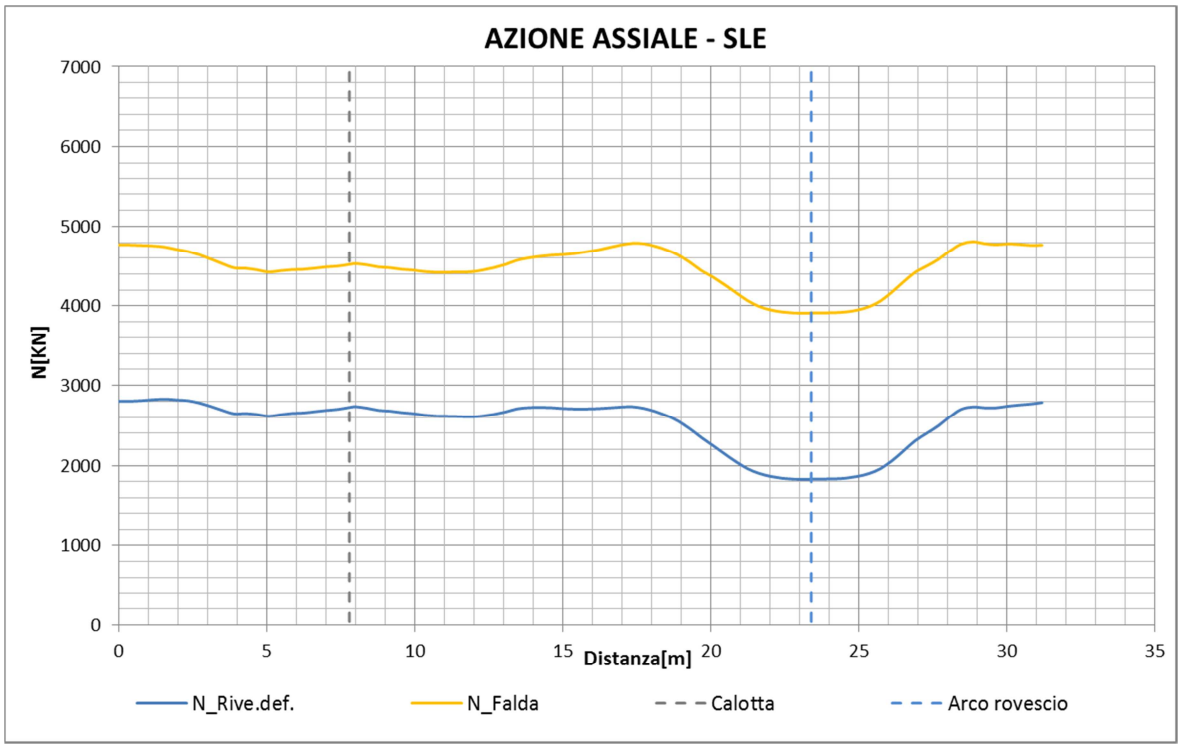


Figura 11-61 -Sollecitazione normale – SLE

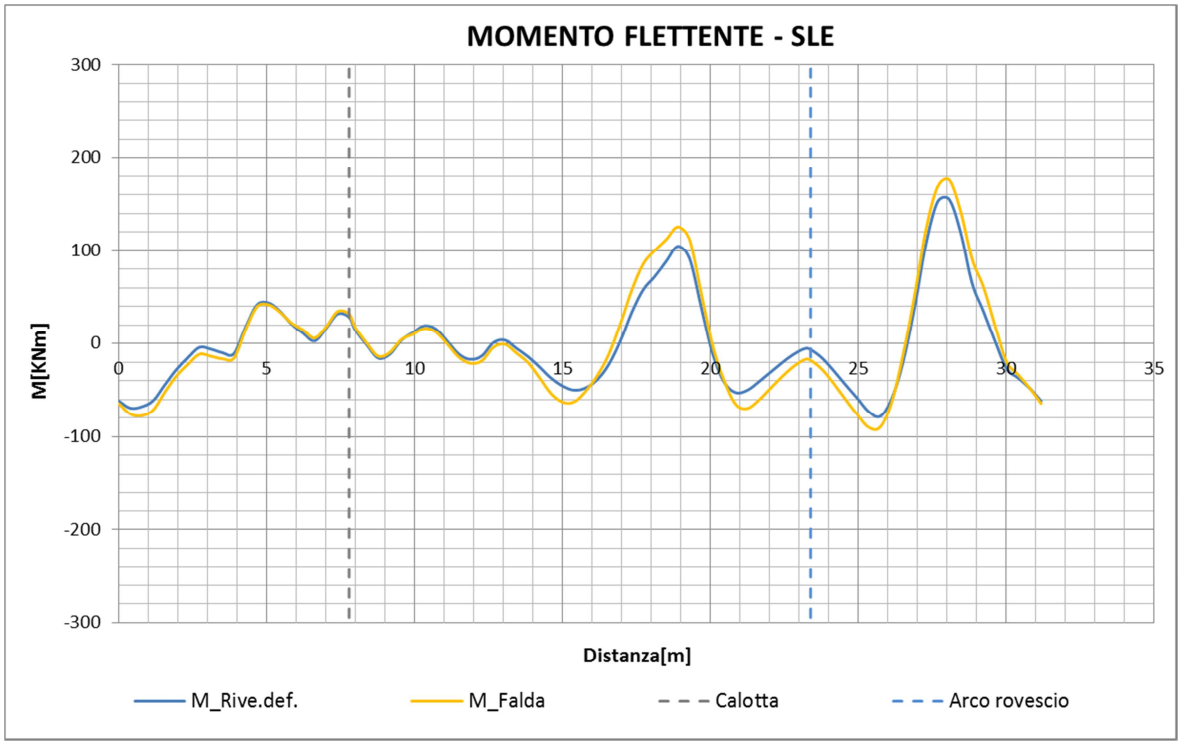


Figura 11-62 -Sollecitazione flettente – SLE

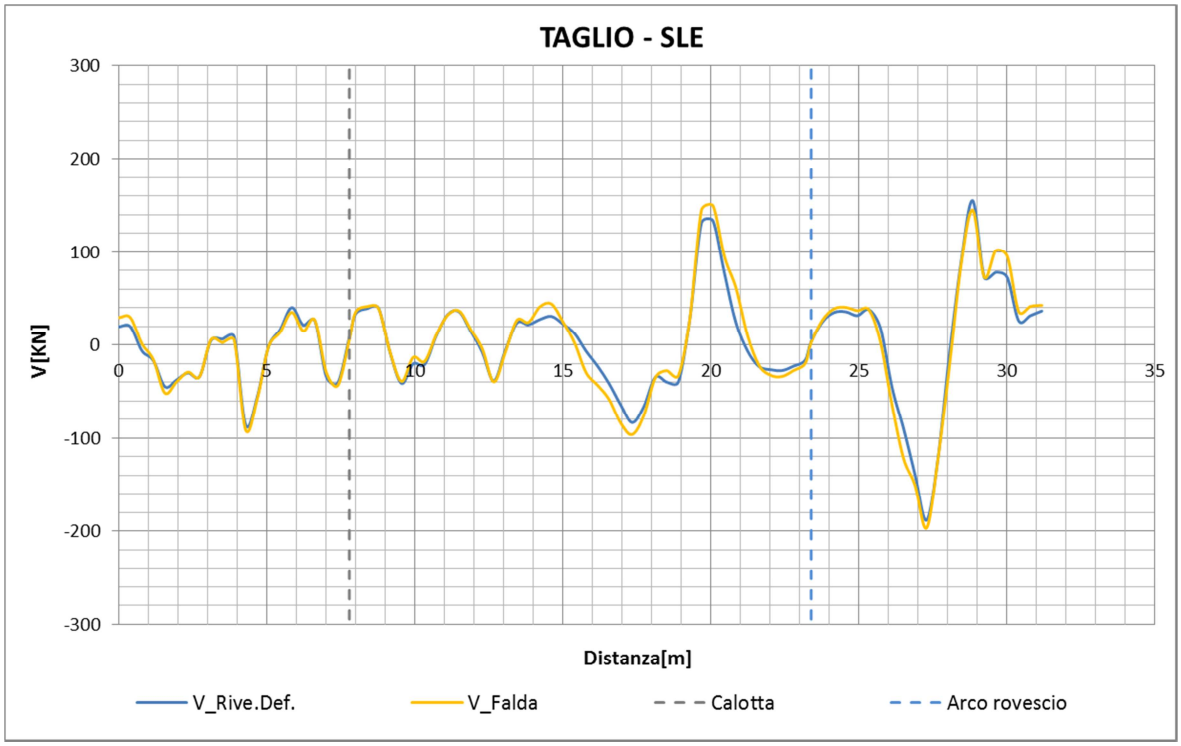


Figura 11-63 –Sollecitazione a taglio – SLE

11.4 Verifiche strutturali pre-rivestimenti

Si riportano i diagrammi di capacità per i prerivestimenti (linerplate) per le sezioni 1 (Montoggio, sezione tipo MB0) , sezione 2 (MontoggioFaglia, sezione tipo MC3) e sezione 4 (FagliaCopertura150m, sezione tipo MC2).Si riporta inoltre la verifica dei rinforzi radiali nella sezione 2 (MaxCopertura, sezione tipo MAb2). Lo stato di sforzo verificato corrisponde alla fase di massimo relax prima dell'esecuzione dei rivestimenti definitivi.

11.4.1 Sezione1 – Montoggio

Verifiche allo stato limite ultimo – pressoflessione e taglio/sforzo normale.

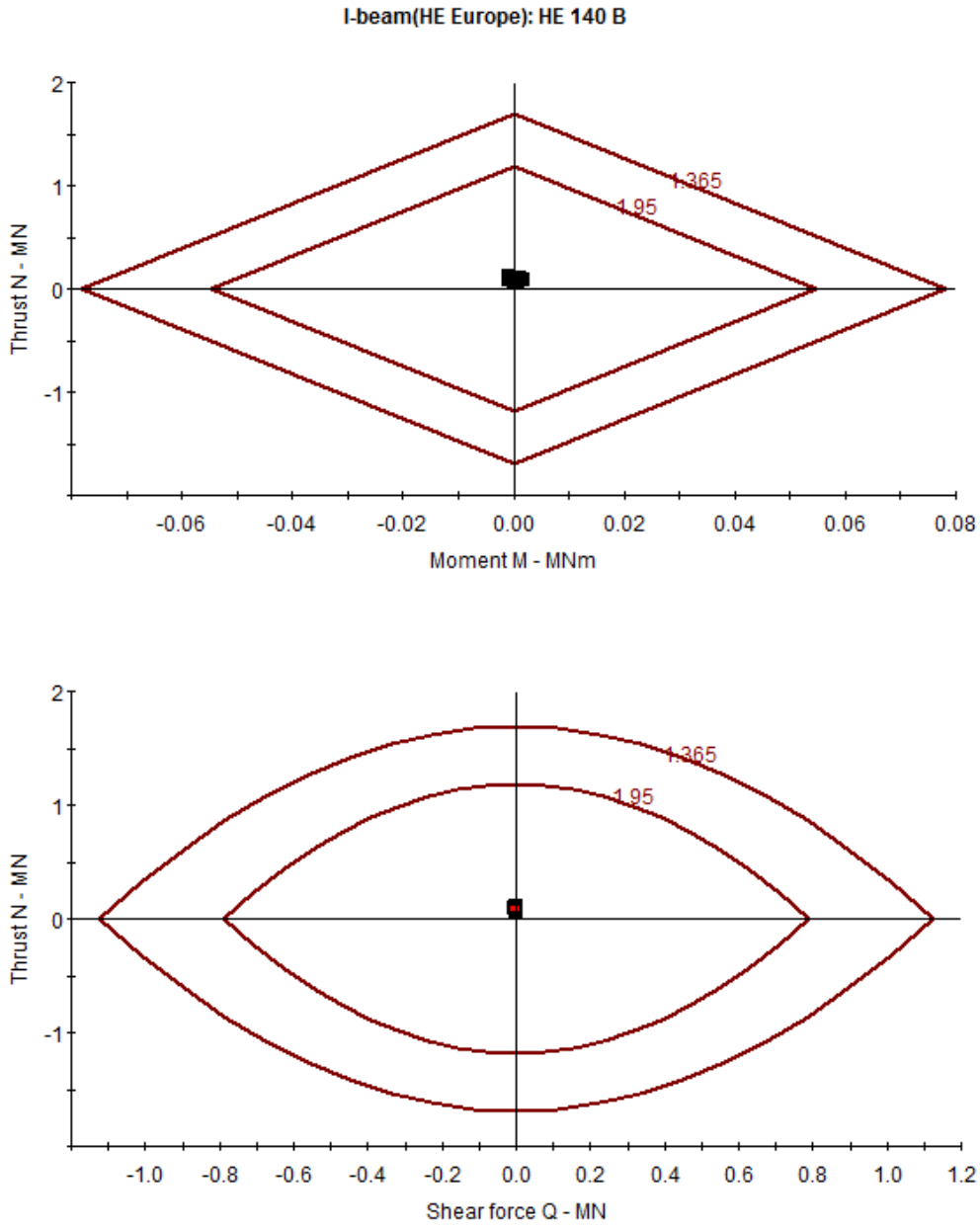


Figura11-64 - Support capacity plots – liner plate (sezione1)

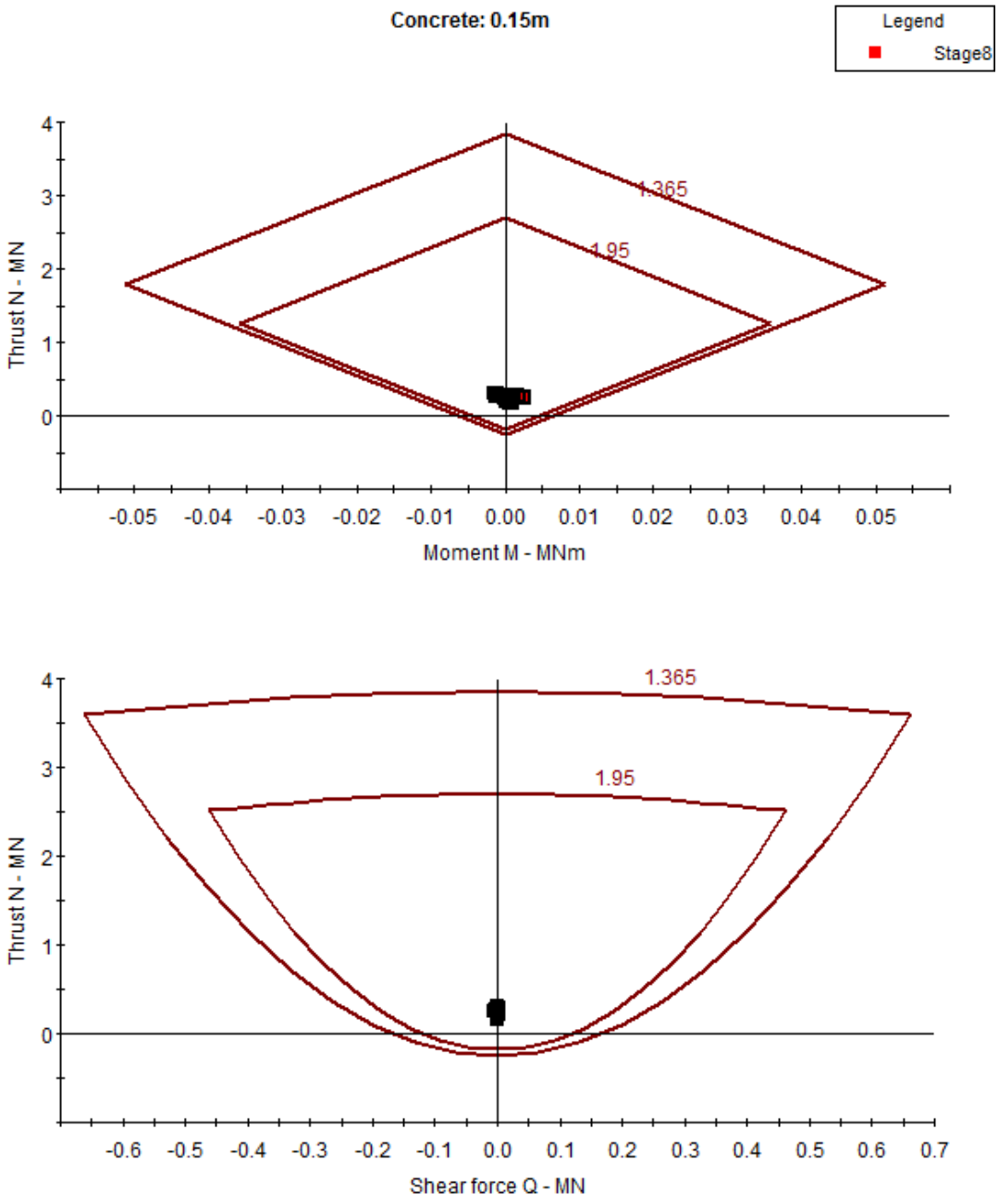


Figura11-65 - Support capacity plots – spritz (sezione1)

11.4.2 *Sezione2 – MontoggioFaglia*

Verifiche allo stato limite ultimo – pressoflessione e taglio/sforzo normale.

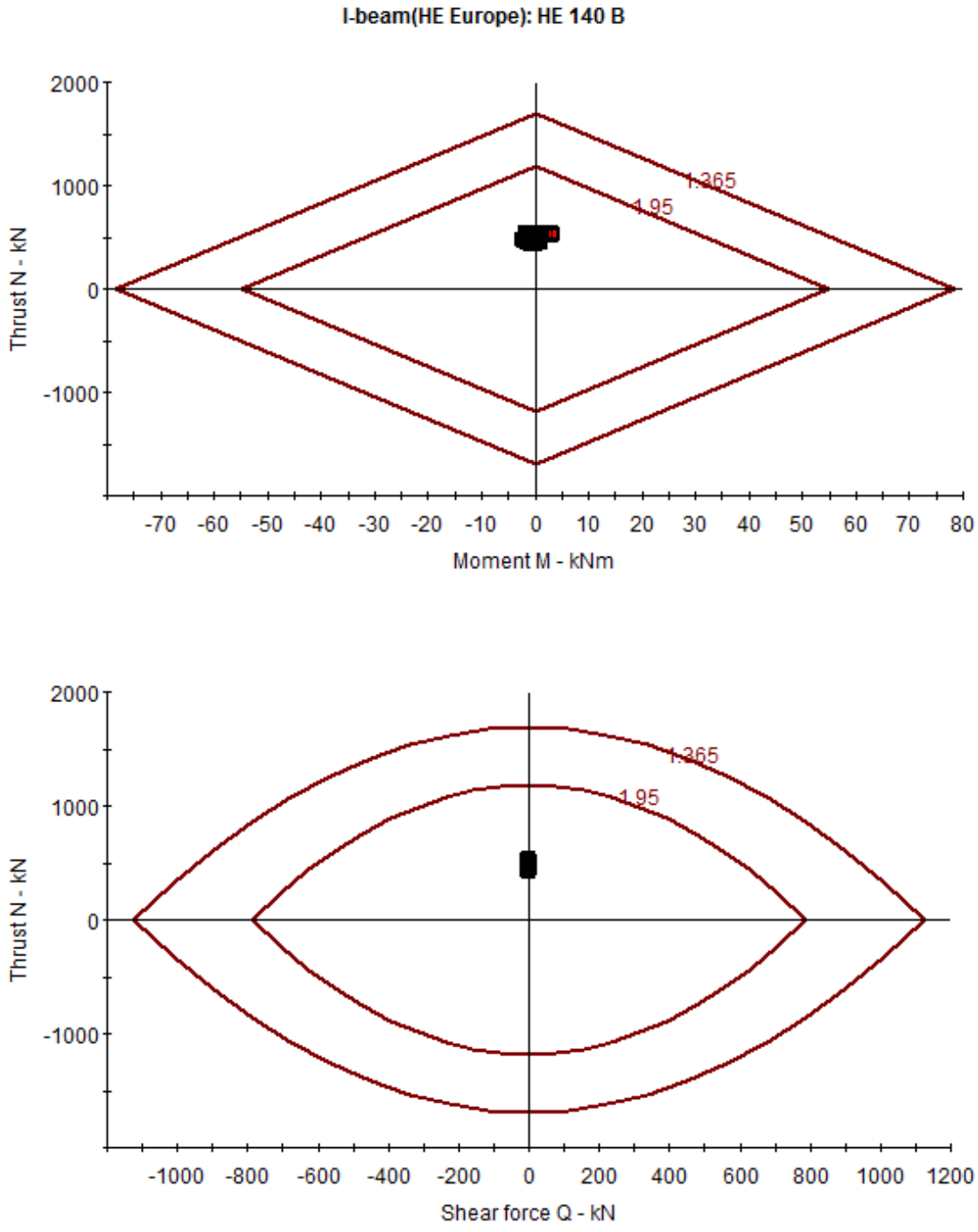


Figura11-66 - Support capacity plots – liner plate (sezione2)

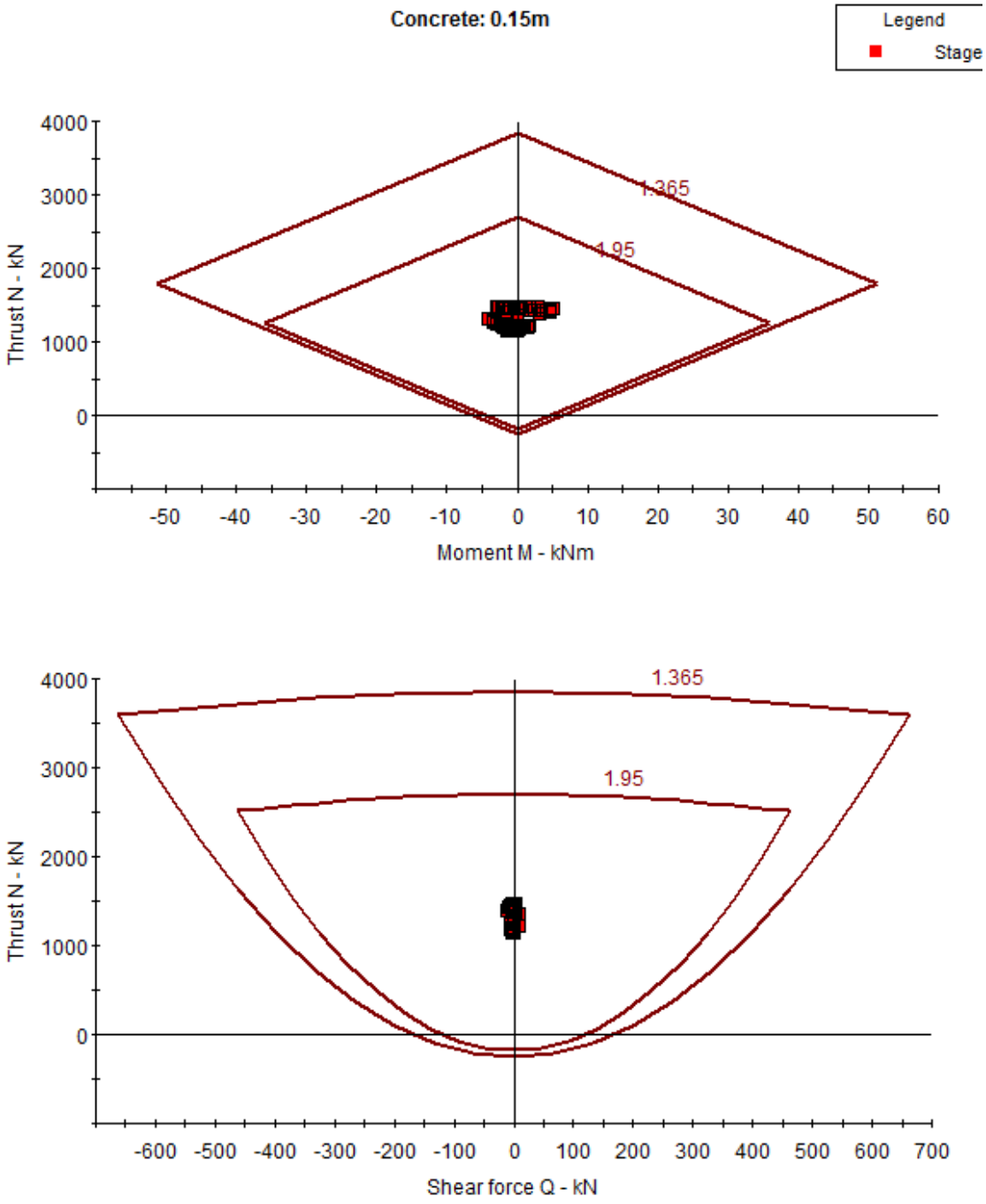


Figura11-67 - Support capacity plots – spritz (sezione2)

11.4.3 Sezione 4– FagliaCopertura150m

Verifiche allo stato limite ultimo – pressoflessione e taglio/sforzo normale.

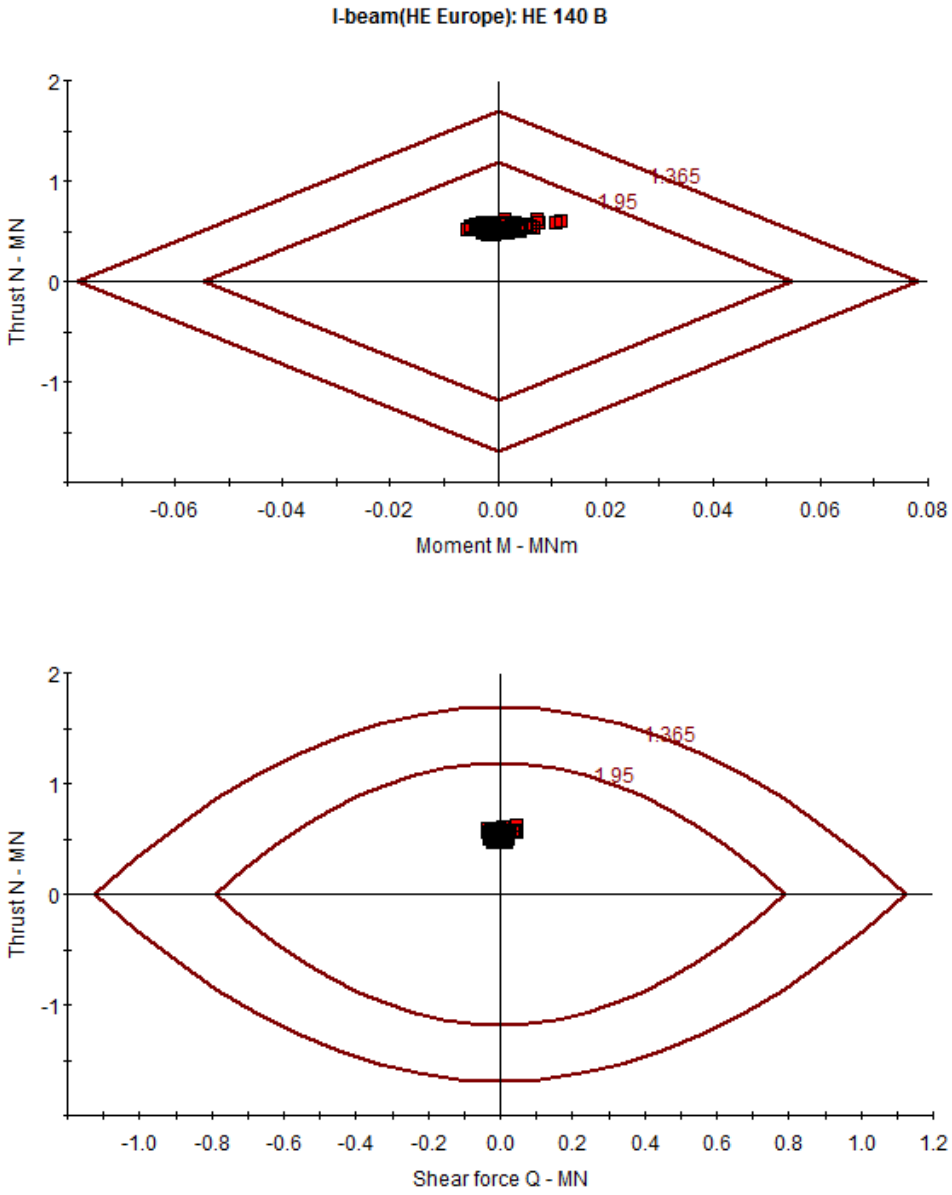


Figura11-68 - Support capacity plots – liner plate (sezione4)

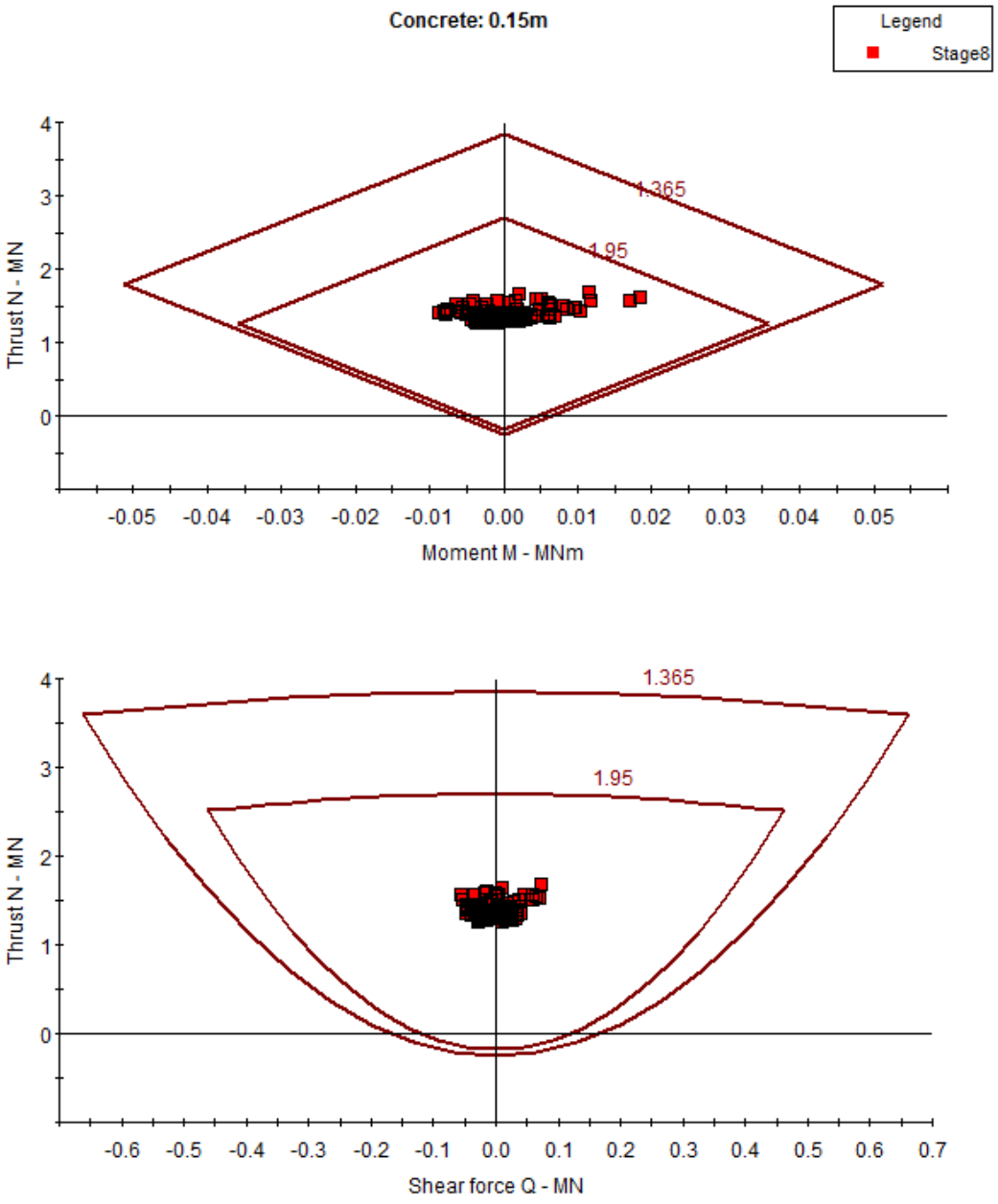


Figura11-69 - Support capacity plots – spritz (sezione4)

11.4.4 Sezione3–MaxCopertura

Per la sezione analizzata non essendo prevista l'installazione di prerivestimenti costituiti da spritz e centine si riporta unicamente una valutazione dello stato di sforzo agente sui bulloni rimandando per i dettagli alle analisi specifiche svolte con il software Unwedge basate sull'equilibrio limite dei cunei.

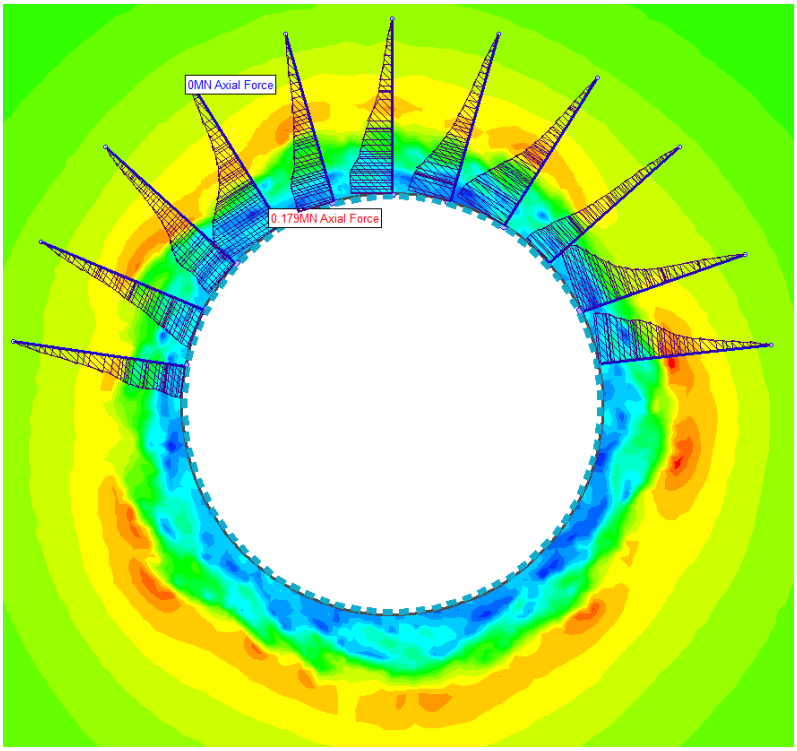


Figura 11-70 - Andamento dell'azione assiale sui rinforzi radiali (sezione 3)

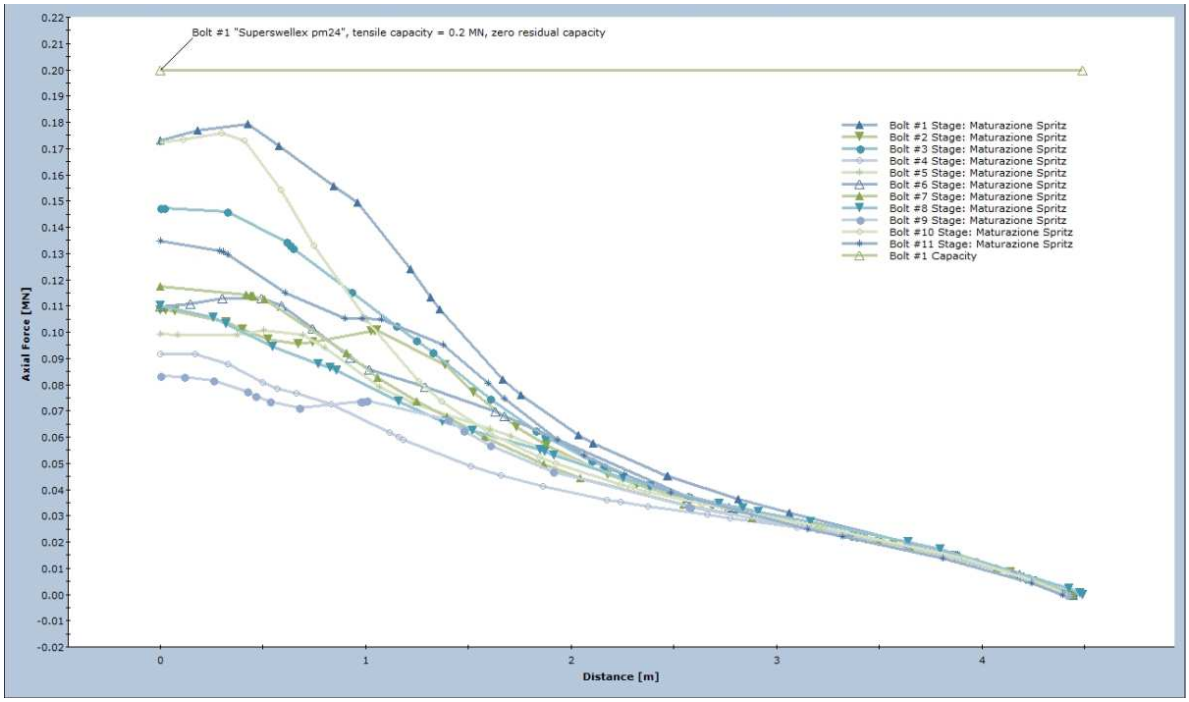


Figura 11-71 - Verifica dei rinforzi radiali realizzata in Phase2 (sezione3)

11.5 Verifiche strutturali dei rivestimenti definitivi

Si riportano le verifiche in accordo con le metodologie precedentemente definite.

11.5.1 Sezione1 – Montoggio– Pressoflessione – SLU

La sezione in esame è cosi definita:

Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe calcestruzzo 35/45	
Armatura principale	Φ20
Passo [cm]	20
Spilli	Φ12
Maglia spilli [cm x cm]	40x60
Ripartitore	Φ14
Copriferro [cm]	5

Si riportano le verifiche allo stato limite ultimo a pressoflessione relative all'analisi in oggetto. Si sono verificate che tutte le combinazioni di azione assiale e momento flettente a cui è soggetto il rivestimento definitivo siano interne al dominio di interazione.

Le verifiche sono eseguite con riferimento alla fase di applicazione del sismain presenza della falda. In questo caso la grande deformabilità del materiale provoca un' amplificazione della sollecitazione maggiore rispetto al coefficiente moltiplicativo della fase falda .

Vengono in tabella riportati i punti più significativi dello stage falda più sisma

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]	N SLU [KN]	V SLU [KN]	M SLU [KNm]
max N	2756.500	12.905	-212.840	2756.500	12.905	-212.840
min N	1745.800	-13.347	179.645	1745.800	-13.347	179.645
max V	2445.300	-109.430	-28.563	2445.300	-109.430	-28.563
max M	2749.900	1.679	-213.775	2749.900	1.679	-213.775
min N	1745.800	-109.430		1745.800	-109.430	

Viene di seguito riportato il dominio MN.

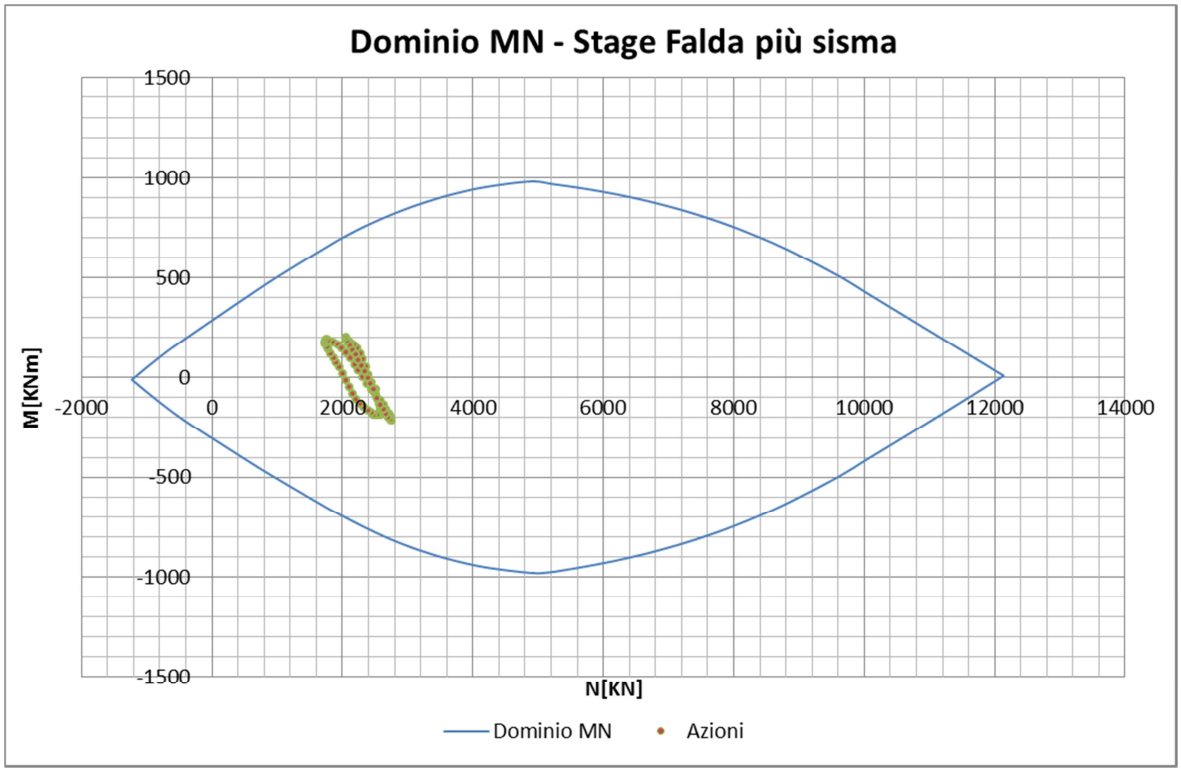


Figura 11-72 - Dominio MN - Stage falda più sisma – Montoggio

11.5.2 Sezione1 – Montoggio– Verifiche a taglio – SLU

Si riassumono nella tabella seguente i risultati della verifica a taglio che è stata svolta secondo quanto descritto nel par. 8.2 con riferimento allo stage di applicazione del carico idraulico più il sisma. E' stata verificata la combinazione taglio massimo-azione assiale minima in modo da andare a verificare la condizione più gravosa.

Verifica armatura longitudinale (Max V – Min N)					
b	1000	mm	n	0	
h	550	mm	Φ	20	mm
A_c	550000	mm²	$A_{s,tesa}$	0	mm²
			ρ_L	0	
$\Phi_{tr\ (max)}$	14	mm			
c	50	mm	d	476	mm
f_{ck}	37.35	MPa	k	1.648	
N_{ed}	2445.3	kN	f_{cd}	21.17	MPa
V_{ed}	-109.43	kN	v_{min}	0.453	
$V_{Rd,c\ (min)}$	532.89	kN			
$V_{Rd,c}$	532.89	kN			
NON E' NECESSARIA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO					

L'armatura di legatura predisposta non ha dunque una funzione strutturale.

11.5.3 Sezione1 – Montoggio-Verifica SLE

Per la verifica allo stato limite di esercizio associato allo stage falda si è scelto di verificare i punti corrispondenti al massimo momento e alla massima/minima azione assiale.

Si riportano i seguenti punti e le rispettive sollecitazioni

	N SLE [KN]	**V SLE [KN]**	**M SLE [KNm]**
Max N	2015.600	-4.016	7.187
Min N	1628.400	-0.124	-10.299
Max M	1944.500	-1.202	13.764

.

Per la verifica si è proceduto con una iniziale verifica tensionale e, dove necessario, ad una verifica alla fessurazione.

Verifica momento massimo

Max M	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S [cm^2]	15.71
A_S [cm^2]	15.71
AZIONI	
N [KN]	1944.5
M [KN]	13.7635
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	3.475
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_s [N/mm^2]	0
σ_s Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale massima

Min N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	15.71
A_S[cm^2]	15.71
AZIONI	
N [KN]	1628.4
M [KN]	-10.299
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	2.9210
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale minima

MaxN	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S [cm^2]	15.71
A_S [cm^2]	15.71
AZIONI	
N [KN]	2015.6
M [KN]	7.187
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	3.4800
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

11.5.4 Sezione 2 – MontoggioFaglia – Pressoflessione – SLU

La sezione in esame è cosi definita:

Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe calcestruzzo 35/45	
Armatura principale	Φ24
Passo [cm]	20
Spilli	Φ14
Maglia spilli [cm x cm]	40x60
Ripartitore	Φ16
Copriferro [cm]	5

Si riportano le verifiche allo stato limite ultimo a pressoflessione relative all'analisi in oggetto. Si sono verificate che tutte le combinazioni di azione assiale e momento flettente a cui è soggetto il rivestimento definitivo siano interne al dominio di interazione.

Le verifiche sono eseguite con riferimento alla fase di applicazione del sismain presenza della falda. In questo caso la grande deformabilità del materiale provoca un' amplificazione della sollecitazione maggiore rispetto al coefficiente moltiplicativo della fase falda .

Vengono in tabella riportati i punti più significativi dello stage falda più sisma

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]	N SLU [KN]	V SLU [KN]	M SLU [KNm]
max N	6965.100	-11.767	-432.395	6965.100	-11.767	-432.395
min N	4898.100	-17.590	443.375	4898.100	-17.590	443.375
max V	6052.300	254.920	-20.058	6052.300	254.920	-20.058
max M	4903.900	-8.449	446.625	4903.900	-8.449	446.625
min N - max V	4898.100	254.920		4898.100	254.920	

Viene di seguito riportato il dominio MN.

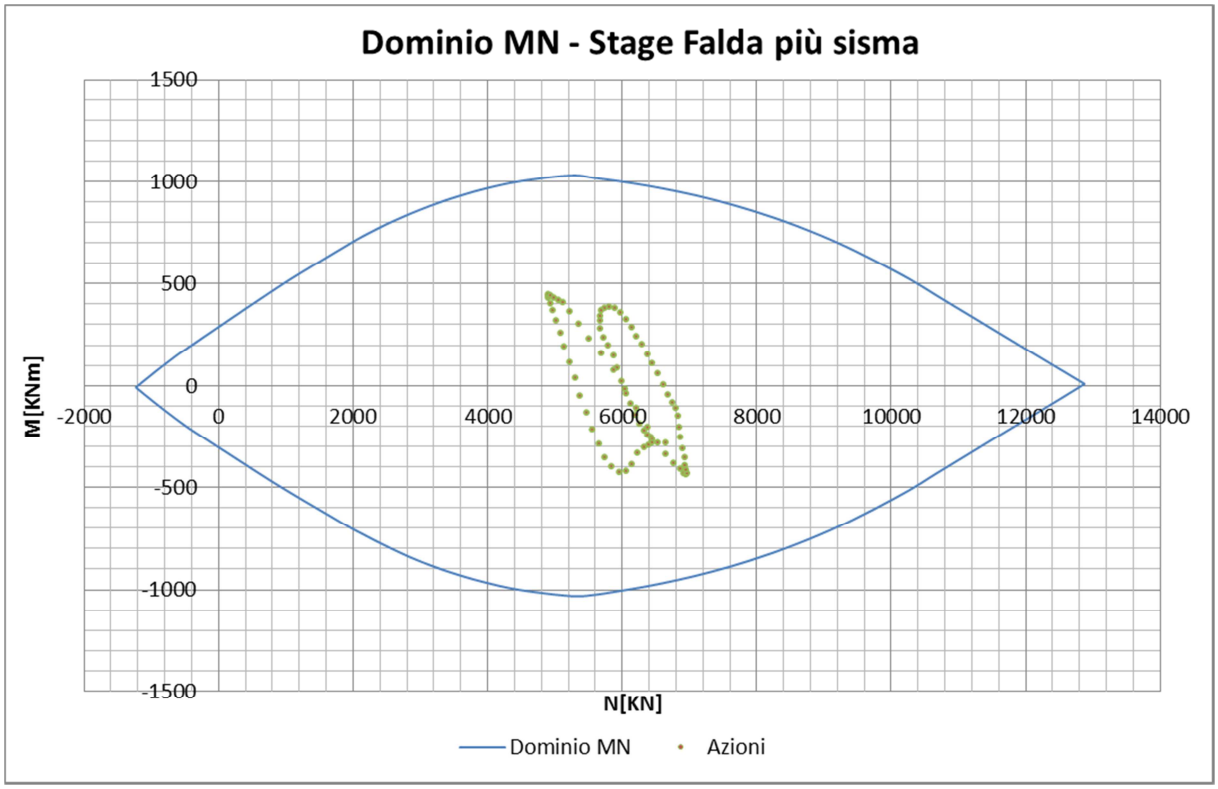


Figura 11-73 - Dominio MN - Stage falda più sisma – MontoggioFaglia

11.5.5 Sezione 2 – MontoggioFaglia– Verifiche a taglio – SLU

Si riassumono nella tabella seguente i risultati della verifica a taglio che è stata svolta secondo quanto descritto nel par. 8.2 con riferimento allo stage di applicazione del carico idraulico più il sisma. E' stata verificata la combinazione taglio massimo-azione assiale minima in modo da andare a verificare la condizione più gravosa.

Verifica armatura longitudinale (MASSIMO V MINIMO N)					
b	1000	mm	n	0	
h	550	mm	Φ	24	mm
A_c	550000	mm²	$A_{s,tesa}$	0	mm²
			ρ_L	0	
$\Phi_{tr\ (max)}$	16	mm			
c	50	mm	d	472	mm
f_{ck}	37.35	MPa	k	1.651	
N_{ed}	4898.1	kN	f_{cd}	21.17	MPa
V_{ed}	254.92	kN	v_{min}	0.454	
$V_{Rd,c\ (min)}$	844.69	kN			
$V_{Rd,c}$	844.69	kN			
NON E' NECESSARIA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO					

L'armatura di legatura predisposta non ha dunque una funzione strutturale.

11.5.6 Sezione 2 – MontoggioFaglia -Verifica SLE

Per la verifica allo stato limite di esercizio associato allo stage falda si è scelto di verificare i punti corrispondenti al massimo momento e alla massima/minima azione assiale.

Si riportano i seguenti punti e le rispettive sollecitazioni

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]
max N	6001.600	100.130	71.279
min N	4731.900	-3.861	-72.331
max M	5333.300	-18.808	205.070

.

Per la verifica si è proceduto con una iniziale verifica tensionale e, dove necessario, ad una verifica alla fessurazione.

Verifica momento massimo

Max M	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	22.62
A_S[cm^2]	22.62
AZIONI	
N [KN]	5333.3
M [KN]	205.07
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	11.09
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale massima

Max N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S [cm^2]	22.62
A_S[cm^2]	22.62
AZIONI	
N [KN]	6001.6
M [KN]	71.279
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	-10.78
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale minima

Min N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	22.62
A_S[cm^2]	22.62
AZIONI	
N [KN]	4731.9
M [KN]	-72.331
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	8,764
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S[N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

11.5.7 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica a Pressoflessione – SLU

La sezione in esame è cosi definita:

Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	50
Classe calcestruzzo	35/45
Armatura principale	-
Passo [cm]	-
Spilli	-
Maglia spilli [cm x cm]	-
Ripartitore	-
Copriferro [cm]	-

La sezione non è armata.

Si riportano le verifiche allo stato limite ultimo a pressoflessione relative all'analisi in oggetto. Si sono verificate che tutte le combinazioni di azione assiale e momento flettente a cui è soggetto il rivestimento definitivo siano interne al dominio di interazione.

Le verifiche sono eseguite con riferimento alla fase di applicazione della falda.

Vengono in tabella riportati i punti più significativi

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]	N SLU [KN]	V SLU [KN]	M SLU [KNm]
max N	3946.300	37.853	52.932	5130.190	49.209	68.812
min N	3171.700	-19.872	-74.920	4123.210	-25.834	-97.396
max V	3598.300	-121.380	26.110	4677.790	-157.794	33.943
max M	3612.500	-110.290	88.183	4696.250	-143.377	114.637
min N-max V	3171.700	-121.380		4123.210	-157.794	

Viene di seguito riportato il dominio MN.

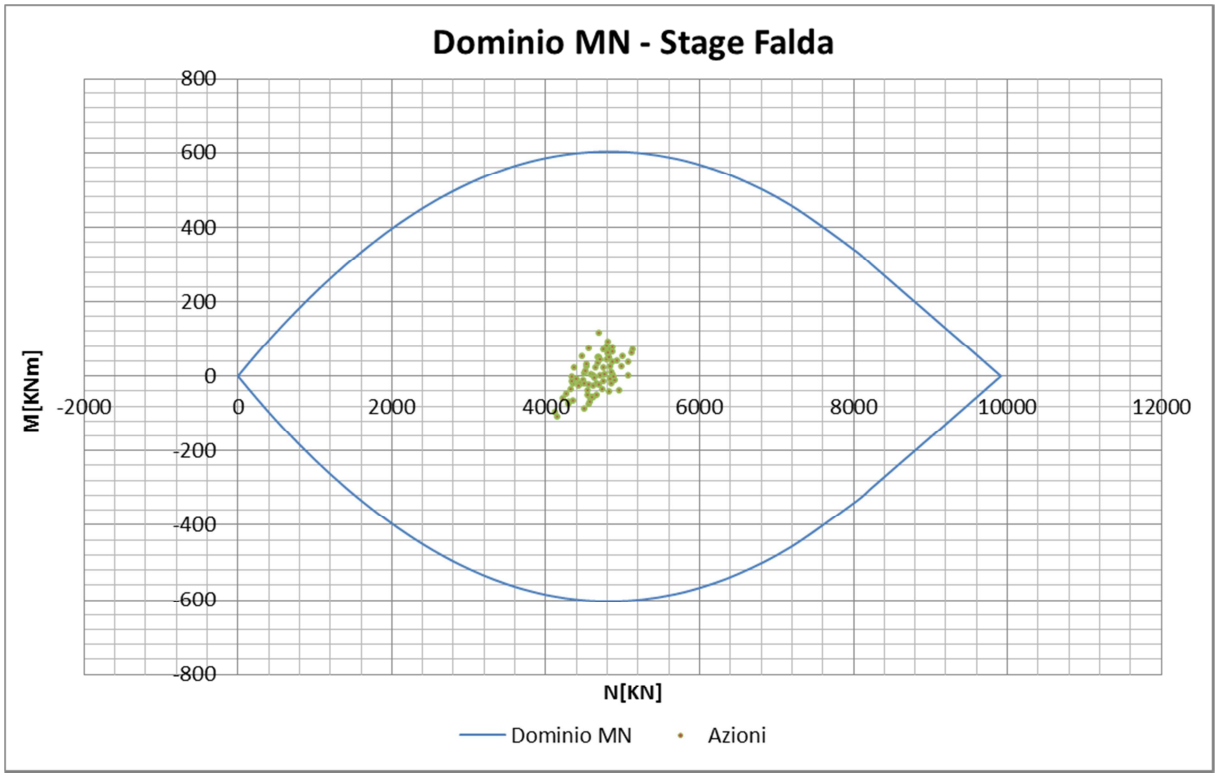


Figura 11-74 - Dominio MN - stage falda - MaxCopertura

11.5.8 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica a taglio– SLU

Si riassumono nella tabella seguente i risultati della verifica a taglio che è stata svolta secondo quanto descritto nel par. 8.2 con riferimento allo stage di applicazione del carico idraulico. E' stata verificata la combinazione corrispondente al taglio massimo.

Geometria Sezione	
b[mm]	1000
h[mm]	500
Classe cls(35/45)	
As [mm^2]	-
A's [mm^2]	-
V_{max} [KNm]	149.490
τ_{max} [N/mm^2]	0.4485
$\tau_{resistente}$[N/mm^2]	0.4927

La sezione risulta verificata.

11.5.9 Sezione3 – MaxCopertura – Verifica SLE

Per la verifica allo stato limite di esercizio associato allo stage falda si è scelto di verificare i punti corrispondenti al massimo momento e alla massima/minima azione assiale.

Si riportano i seguenti punti e le rispettive sollecitazioni

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]
max N	3946.300	37.853	52.932
min N	3171.700	-19.872	-74.920
max M	3612.500	-110.290	88.183

Per la verifica si è proceduto con una iniziale verifica tensionale e, dove necessario, ad una verifica alla fessurazione.

Verifica momento massimo

Max M	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	50
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	0.00
A_S[cm^2]	0.00
AZIONI	
N [KN]	3612.5
M [KN]	88.1825
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	8.317
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_SResistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale massima

Max N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	50
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	0.00
A_S[cm^2]	0.00
AZIONI	
N [KN]	3946.3
M [KN]	52.932
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	8.225
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica Azione assiale minima

Min N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	50
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	0.00
A_S[cm^2]	0.00
AZIONI	
N [KN]	3171.7
M [KN]	-74.92
TENSIONI	
σ_C [N/mm2]	7.253
σ_C Resistente[N/mm2]	16.8075
σ_S [N/mm2]	0
σ_S Resistente [N/mm2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

11.5.10 Sezione 4 – FagliaCopertura150m– Pressoflessione– SLU

La sezione in esame è cosi definita:

Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe calcestruzzo	35/45
Armatura principale	Φ20
Passo [cm]	20
Spilli	Φ12
Maglia spilli [cm x cm]	40x60
Ripartitore	Φ14
Copriferro [cm]	5

Si riportano le verifiche allo stato limite ultimo a pressoflessione relative all'analisi in oggetto. Si sono verificate che tutte le combinazioni di azione assiale e momento flettente a cui è soggetto il rivestimento definitivo siano interne al dominio di interazione.

Le verifiche sono eseguite con riferimento alla fase di applicazione della falda.

Vengono in tabella riportati i punti più significativi

	N SLE [KN]	V SLE [KN]	M SLE [KNm]	N SLU [KN]	V SLU [KN]	M SLU [KNm]
max N	4808.300	144.800	91.118	6250.790	188.240	118.453
min N	3912.100	-19.809	-17.185	5085.730	-25.752	-22.340
max V	4500.600	-196.470	122.545	5850.780	-255.411	159.309
max M	4690.600	-21.041	176.130	6097.780	-27.353	228.969
min N	3912.100	-196.470		5085.730	-255.411	

Viene di seguito riportato il dominio MN.

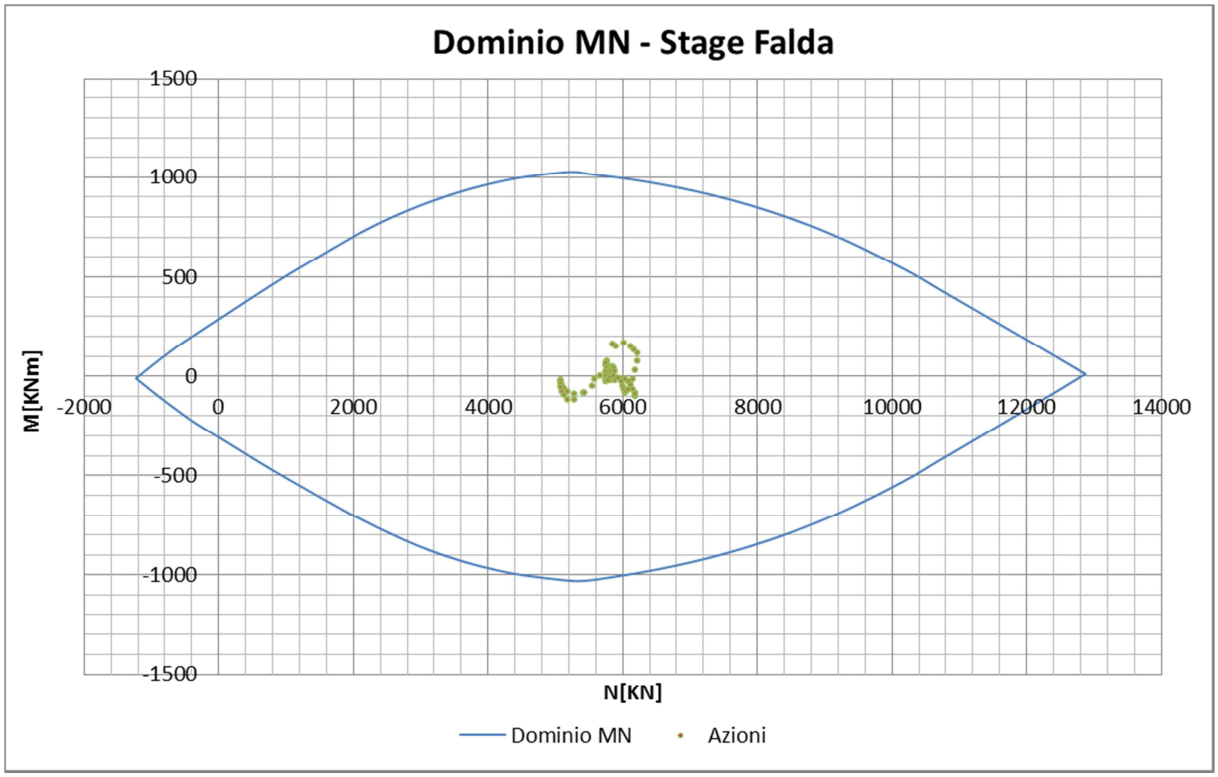


Figura 11-75 - Dominio MN -stage falda –Faglia Copertura150m

11.5.11 Sezione 4 – FagliaCopertura150m – Verifiche a taglio – SLU

Si riassumono nella tabella seguente i risultati della verifica a taglio che è stata svolta secondo quanto descritto nel par.8.2 con riferimento allo stage di applicazione del carico idraulico. E' stata verificata la combinazione taglio massimo-azione assiale minima in modo da andare a verificare la condizione più gravosa.

Verifica armatura longitudinale (MASSIMO V MINIMO N)					
b	1000	mm	n	0	
h	550	mm	Φ	20	mm
A_c	550000	mm²	$A_{s,tesa}$	0	mm²
			ρ_L	0	
$\Phi_{tr\ (max)}$	14	mm			
c	50	mm	d	476	mm
f_{ck}	37.35	MPa	k	1.648	
N_{ed}	5850.78	kN	f_{cd}	21.17	MPa
V_{ed}	-255.411	kN	v_{min}	0.453	
$V_{Rd,c\ (min)}$	974.98	kN			
$V_{Rd,c}$	974.98	kN			
NON E' NECESSARIA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO					

L'armatura di legatura predisposta non ha dunque una funzione strutturale.

11.5.12 Sezione4– FagliaCopertura150m - Verifica SLE

Si riassumono nella tabella seguente i risultati della verifica a taglio che è stata svolta secondo quanto descritto nel par. 8.2 con riferimento allo stage di applicazione del carico idraulico più il sisma. E' stata verificata la combinazione taglio massimo-azione assiale minima in modo da andare a verificare la condizione più gravosa.

Per la verifica si è proceduto con una iniziale verifica tensionale e, dove necessario, ad una verifica alla fessurazione.

Verifica momento massimo

MaxM	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S cm^2	15.71
A_S cm^2	15.71
AZIONI	
N [KN]	4690.6
M [KN]	176.13
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	10.84
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_S Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica azione assiale massima

Max N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	15.71
A_S[cm^2]	15.71
AZIONI	
N [KN]	4808.3
M [KN]	91.118
TENSIONI	
σ_C [N/mm^2]	9.568
σ_C Resistente[N/mm^2]	16.8075
σ_S [N/mm^2]	0
σ_SResistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

Verifica azione assiale minima

Min N	
Geometria Sezione	
b[cm]	100
h[cm]	55
Classe cls(35/45)	
A_S[cm^2]	15.71
A_S[cm^2]	15.71
AZIONI	
N [KN]	3912.1
M [KN]	-17.1845
TENSIONI	
σC [N/mm^2]	6,898
σC Resistente[N/mm^2]	16.8075
σs [N/mm^2]	0
σs Resistente [N/mm^2]	360

La sezione è completamente compressa e dunque non è necessaria verifica a fessurazione

11.6 Effetti in superficie dello scavo

Per la valutazione degli effetti dello scavo in termini di subsidenze sulle preesistenze alle alte coperture non è stata svolta alcuna valutazione specifica in quanto il contesto geomeccanico e gli spessori di ricoprimento determinano valori di volume perso ingegneristicamente non rilevanti. Alle figure che seguono si propongono i contour plots degli spostamenti totali, per ciascuna sezione di analisi. Si rilevano spostamenti di ordine millimetrico, al più prossimi al centimetro.

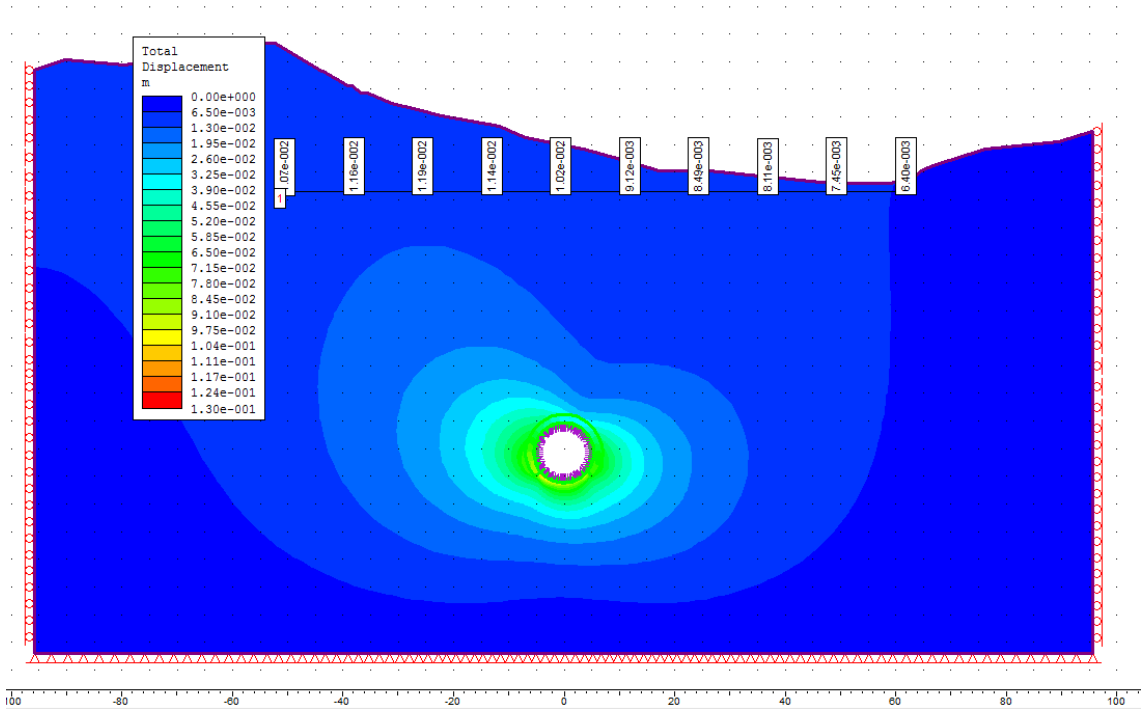


Figura 11-76 – Cedimenti superficiali – sezione 2 (MontoggioFaglia)

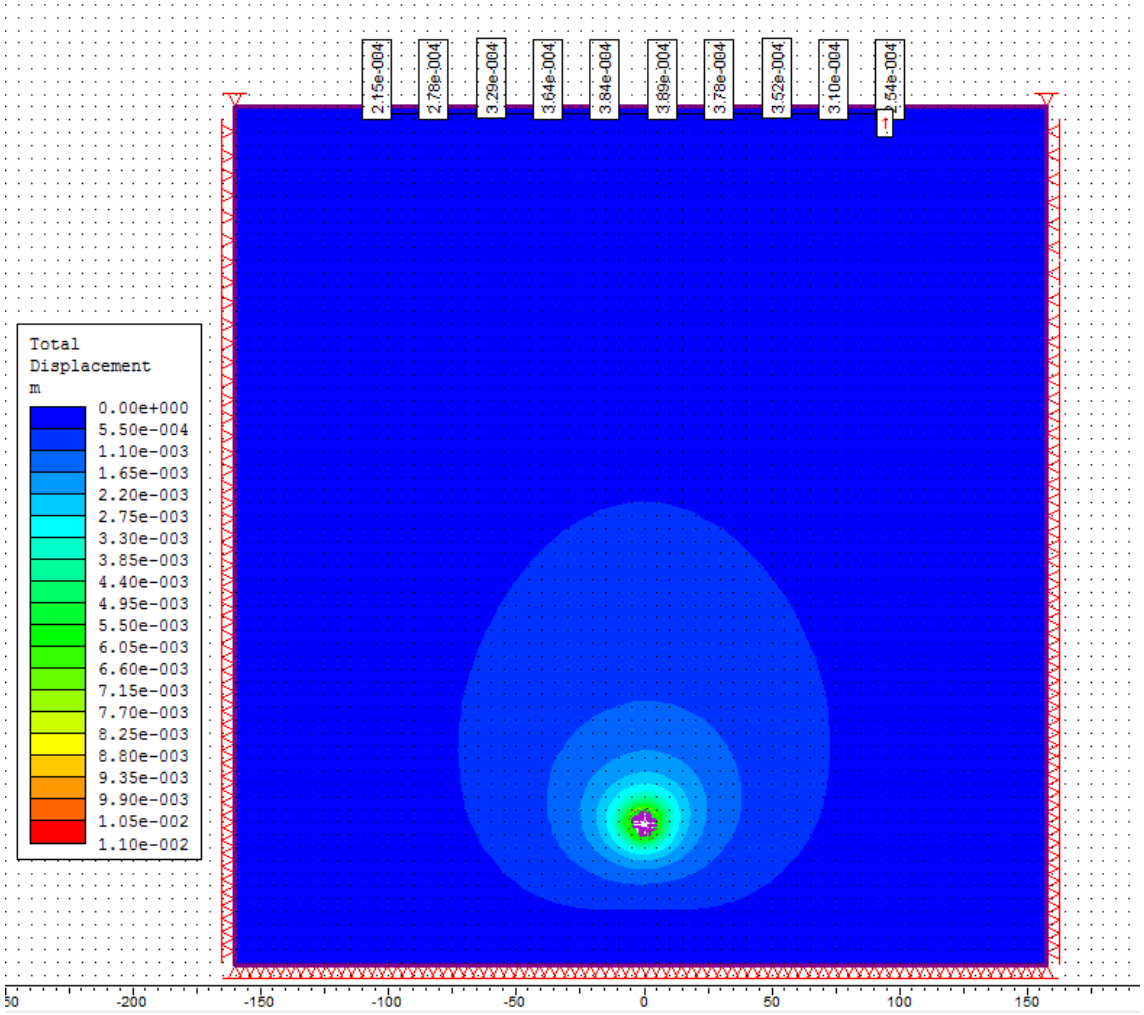


Figura 11-77 – Cedimenti superficiali – sezione 3 (MaxCopertura)

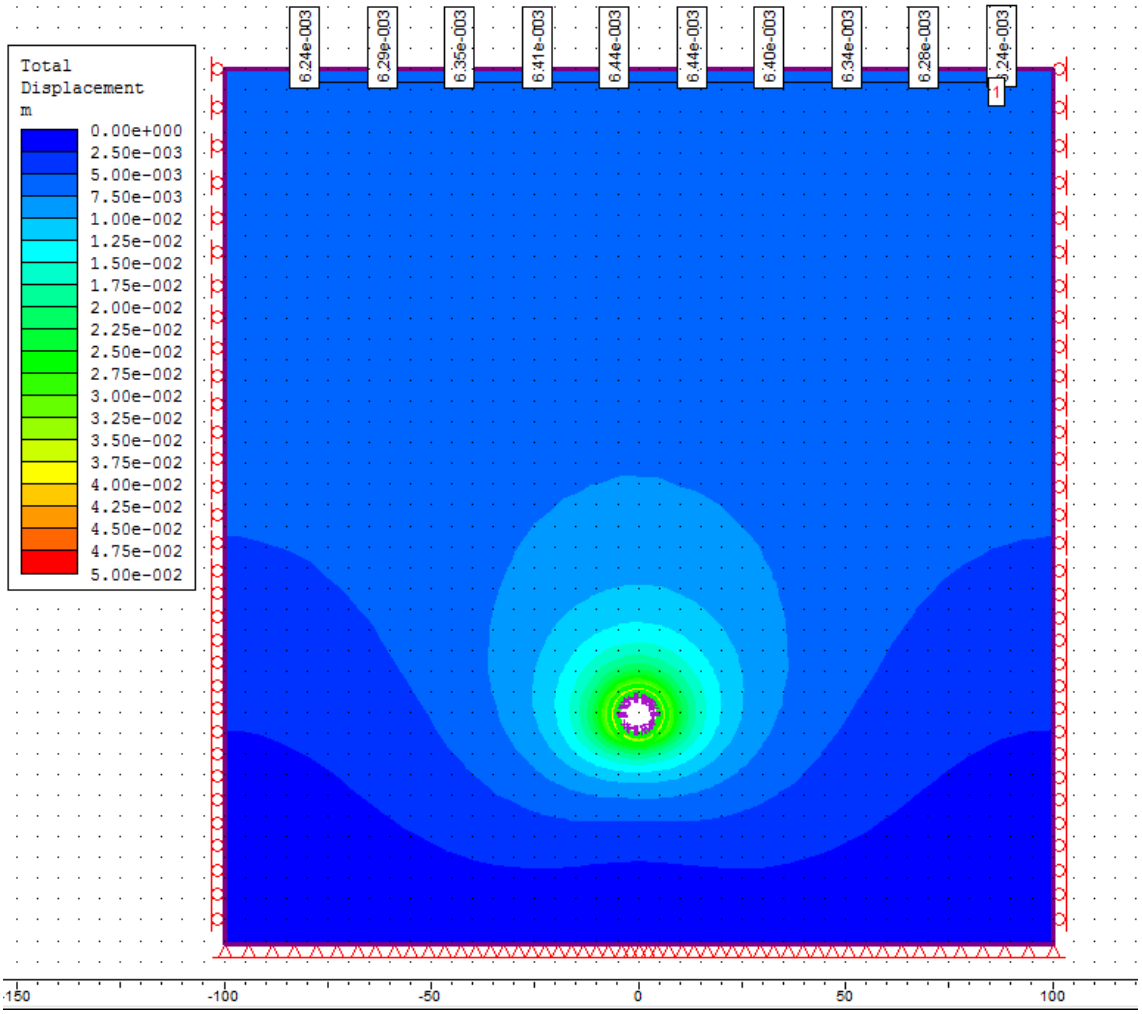


Figura 11-78 – Cedimenti superficiali – sezione 4 (Faglia)

Laddove il censimento degli edifici esistenti ha individuato strutture che presentano una distanza ridotta tra il piano di posa delle fondazioni e la galleria è stato predisposto un piano di monitoraggio specifico. Questo consentirà di misurare in fase di avanzamento dello scavo i cedimenti indotti e valutarne il loro impatto in termini strutturali e funzionali sulle strutture esistenti.

Per i dettagli sul piano di monitoraggio previsto si rimanda alla relazione specifica (doc. n. BIS2E-R-PMS00-RE02).

12 ANALISI DEI TETRAEDRI INSTABILI

12.1 Premessa

E' stata eseguita la valutazione della stabilità dei cunei di roccia che potrebbero formarsi intorno alla sagoma della galleria, prodotti dall'intersezione della stessa con l'ammasso roccioso ed i relativi piani di discontinuità principali. L'analisi è stata eseguita con il programma di calcolo UNWEDGE edita dalla RocSienceinc., 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 le sezioni tipo MAb, ossia chiodi e spritz beton.

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	
4	MAb1	TBM 4500-5000	356/0.14	TQZ-D	301	43	029	61	120	39		
4b	MAb1	TBM 4500-5000	356/0.14	TQZ-C	290	28	141	58	069	55	239	69
5	MAb2	TBM 2400-3400	359/0.14	BSF-1H	030	30	170	25	194	73	144	75
5B	MAb2	TBM 2400-3400	359/0.14	BSF-3AB	280	26	120	70	160	69		
6	MAb3	TBM 600-1700	044/0.14	FS1-AD	186	46	314	61	002	57	077	65
6B	MAb3	TBM 600-1700	044/0.14	GST	211	25	258	55	250	09	082	70

Figura 12-1 – 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.

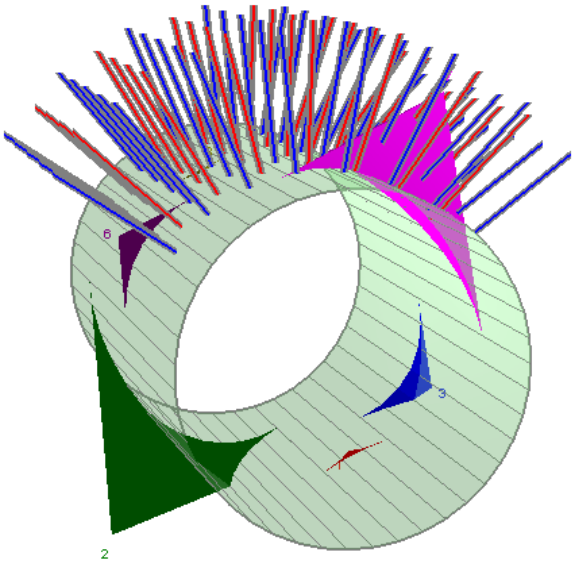


Figura 12-2 – esempio della verifica tridimensionale di stabilità dei tetraedri instabili.

12.2 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 γ_s = 1.15.

12.3 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. In specifici elaborati 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.

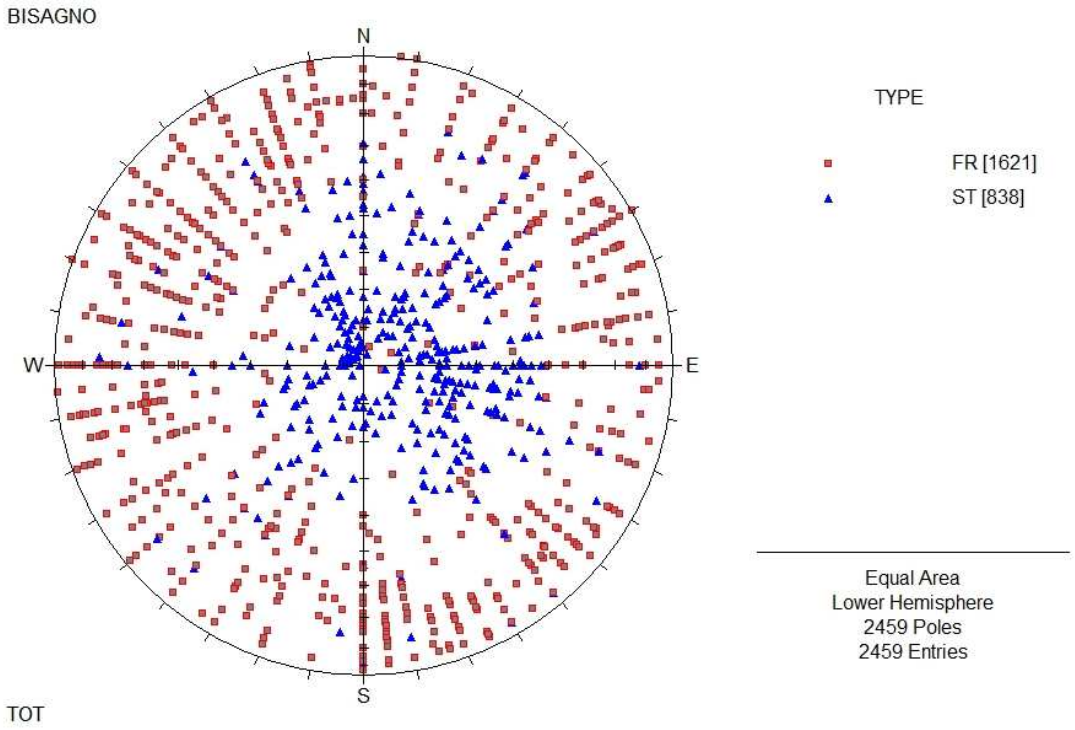


Figura 12-3 – proiezione stereografica di tutti i dati geostrutturali disponibili.

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 Figura 12-1 sono riportate per ciascuna analisi le stazioni geomeccaniche utilizzate e le relative giaciture dei piani rilevati.

12.3.1 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 (corrispondente al minimo rilevato dalle stazioni geomeccaniche – scelta cautelativa)
- JCS = 32 MPa (corrispondente al minimo rilevato dalle stazioni geomeccaniche – scelta cautelativa)

L'angolo così calcolato risulta pari a 45.98°. Infine è stato applicato il coefficiente di sicurezza previsto per le verifiche di stabilità (vedi capitolo 12.2) ottenendo quindi il valore pari a **39.62°**

12.4 Supporti

Le analisi hanno verificato i supporti previsti quale rivestimento di prima fase per la sezione tipo di scavo MAb1, MAb3 e MAb3 (vedi figure seguente), che differiscono tra di loro per il numero di chiodi. In particolare:

- MAb1: N.7/8 chiodi tipo Super Swellex lunghezza ≥ 4.50m passo = 1.50m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 200 KN
- MAb2: N.11/12 chiodi tipo Super Swellex lunghezza ≥ 4.50m passo = 1.50m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 200 KN
- MAb3: N.15/16 chiodi tipo Super Swellex lunghezza ≥ 4.50m passo = 1.50m trasv. e long. – Resistenza allo snervamento ≥ 200 KN

In tutti i casi è prevista anche l'applicazione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato di spessore pari a 10.00 cm; tuttavia non viene considerato il suo contributo nelle verifiche di stabilità, poiché tale strato viene applicato a notevole distanza dal fronte di scavo.

Inoltre essendo lo scavo di tipo meccanizzato, ossia eseguito con TBM, non vengono analizzati i cunei instabili sui fronti di scavo.

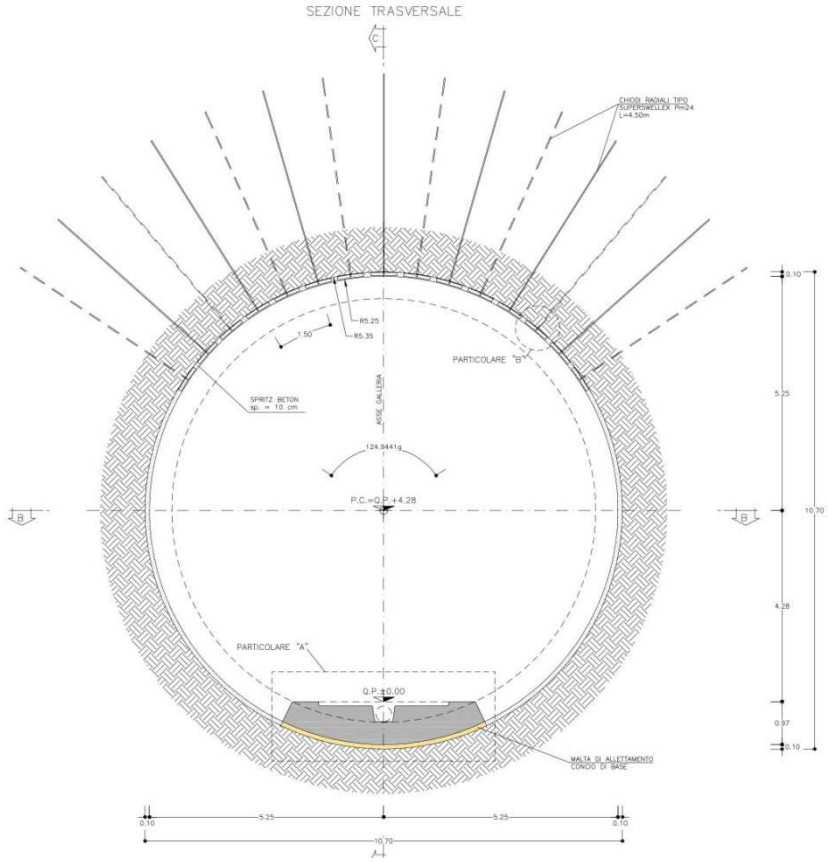


Figura 12-4 – sezione tipo di scavo MAb1.

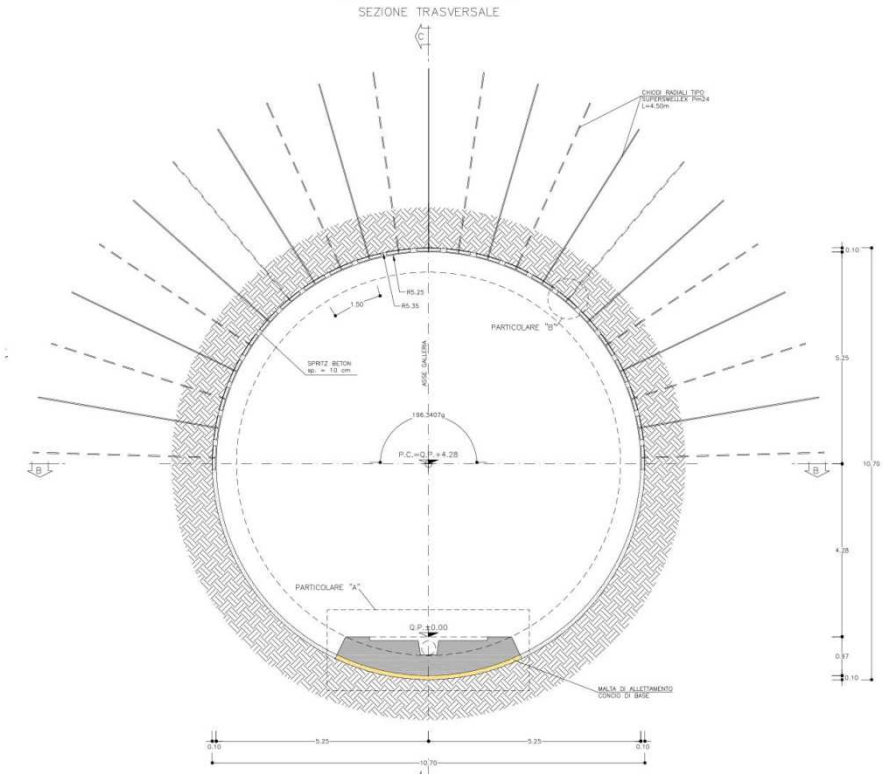


Figura 12-5 – sezione tipo di scavo MAb2.

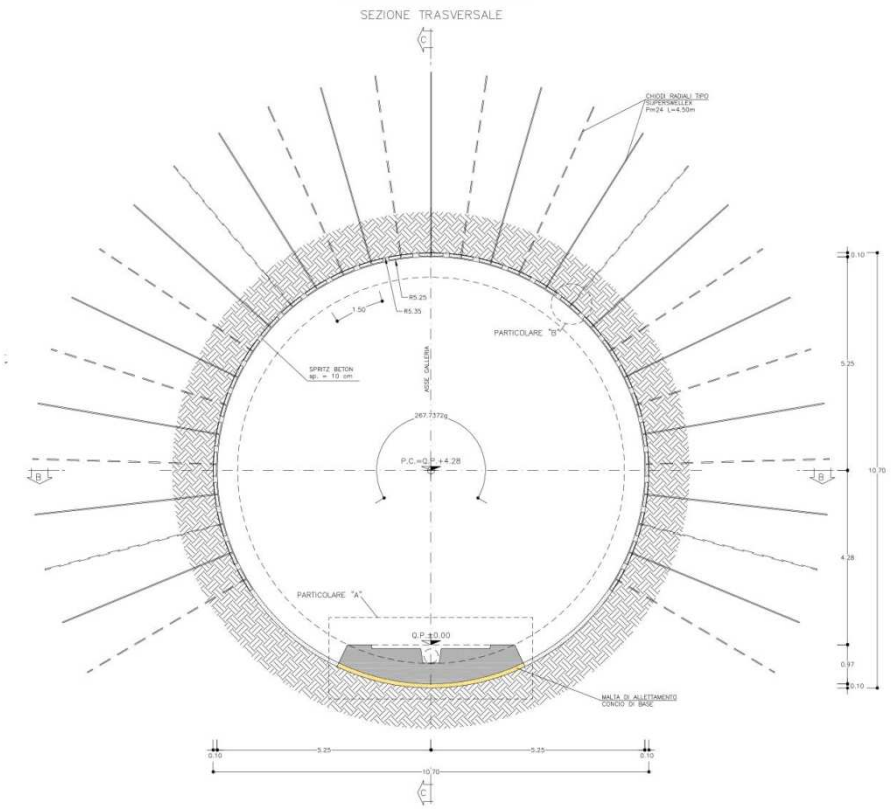


Figura 12-6 – sezione tipo di scavo MAb3.

12.4.1 Bulloni

Considerando la tipologia di bulloni utilizzati, ossia tipo Super Swellex, la resistenza a trazione risulta pari a::

Fyk= 200.00 / 1.15 = 173,91 KN

Perla resistenza allo sfilamento invece, è stato considerato uno studio condotto nel 2013 dall'università del Nevada, che ha analizzato numerose prove di pull out e correlato la resistenza allo sfilamento dei chiodi tipo swellex con l'indice RMR dell'ammasso roccioso, arrivando alle seguenti conclusioni:

RMR	> 45	< 45
F/L (KN/m)	30	15

Nelle analisi svolte, considerando un indice RMR maggiore di 45, è stata utilizzata la seguente resistenza allo sfilamento:

F/L = 30.00 KN/m

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

$F_{piastra}$= 170KN / 1.15 = 147,83 KN.

12.4.2 Spritz Beton

Come anticipato precedentemente, nelle analisi svolte per la tratta di galleria scavata con TBM, non viene tenuto conto del contributo dello spritz beton, poiché viene posato in opera ad una notevole distanza dal fronte di scavo.

12.5 Analisi

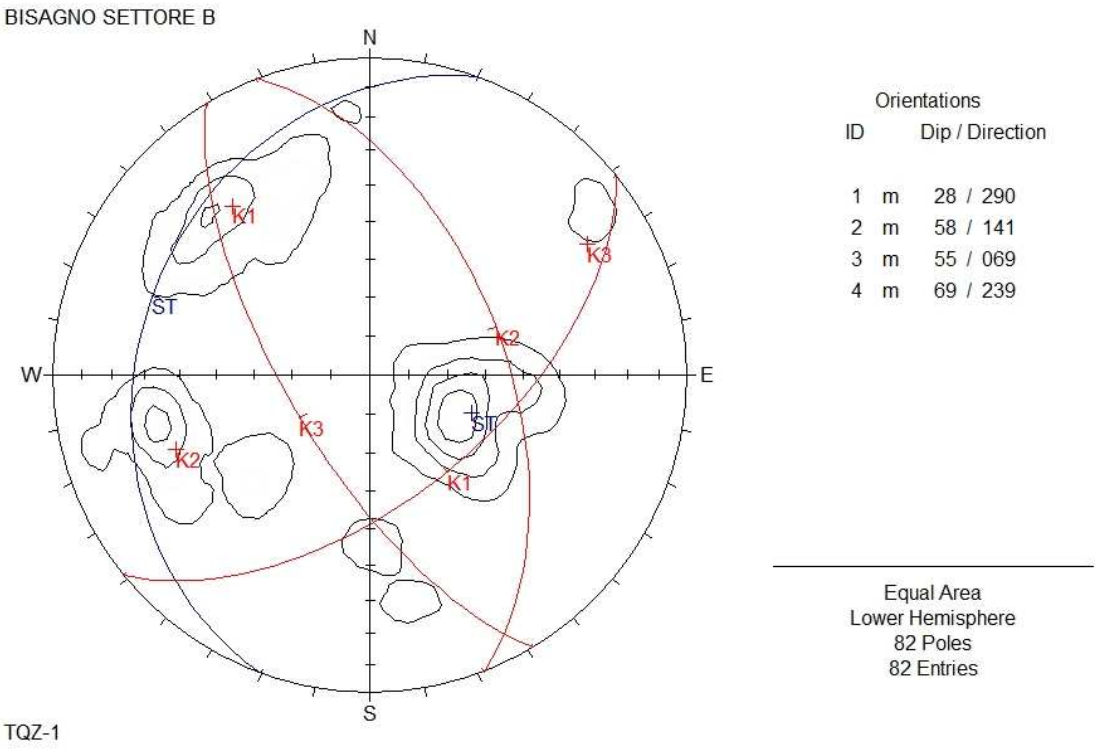
Si riportano di seguito i dettagli ed i risultati delle analisi svolte per la tratta di galleria scavata TBM con la sezione tipo di scavo MAb1, già sintetizzate nella premessa nella tabella di figura Figura 12-1.

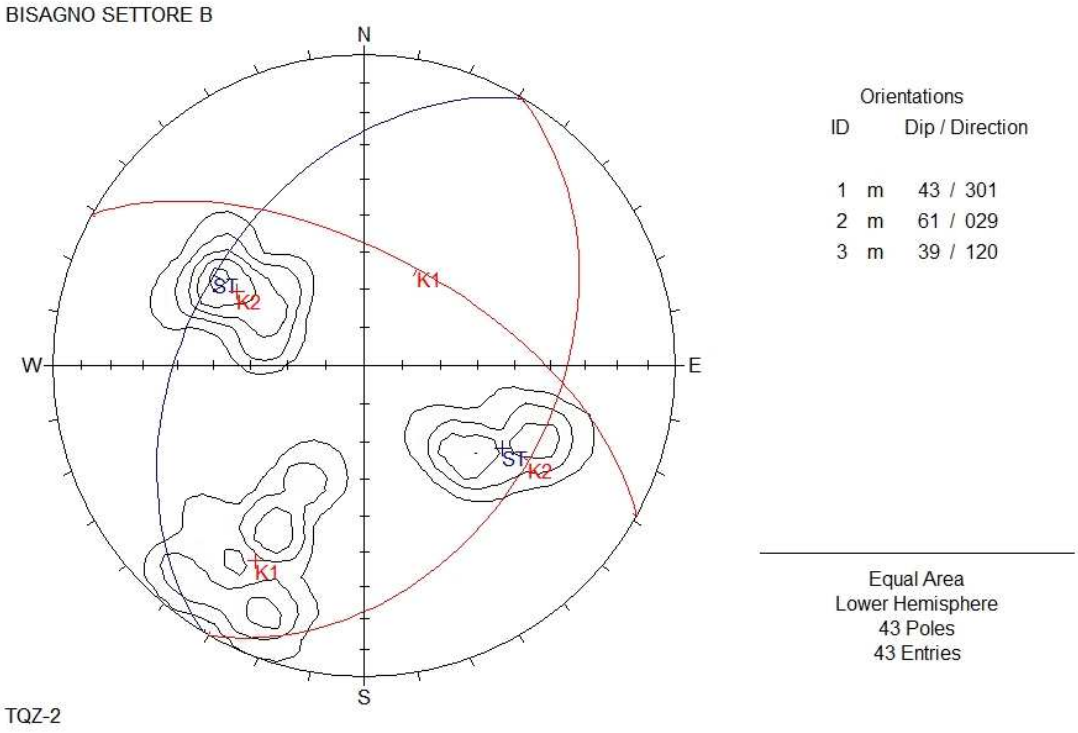
12.5.1 Analisi 4

L'analisi 4 è stata condotta lungo la galleria principale che sarà scavata con TBM nel settore a Nord, con la sezione tipo di scavo MAb1. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
4a	MAb1	TBM 4500-5000	356/0.14	TQZ-D	301	43	029	61	120	39		
4b	MAb1	TBM 4500-5000	356/0.14	TQZ-C	290	28	141	58	069	55	239	69

Come già anticipato nel capitolo 12.3, per tenere conto della variabilità dell'assetto giaciturale delle discontinuità, per questa tratta sono state svolte due analisi, 4a e 4b, prendendo in considerazione rispettivamente i rilievi geomeccanici TQZ-D e TQZ-C, i cui dati strutturali son riportati nelle seguenti proiezioni stereografiche:





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

	ANALISI 4°							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeight	Resisting Force	Driving Force	ApexHeight	NOTE
1 – 2 – 3	Floorwedge [1]	146,887	0.102 m3	0.003 MN	0.0030 MN	0.0000 MN	0.28 m	
	Floorwedge [3]	stable	1.070 m3	0.028 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.84 m	
	Upper Right wedge [4]	1,709	5.682 m3	0.151 MN	0.1755 MN	0.1027 MN	1.83 m	
	Lower Left wedge [5]	1,309	5.786 m3	0.153 MN	0.1188 MN	0.0907 MN	1.83 m	
	Roofwedge [6]	3,291	1.078 m3	0.029 MN	0.0822 MN	0.0250 MN	0.85 m	
	Roofwedge [8]	31,469	0.096 m3	0.003 MN	0.0801 MN	0.0025 MN	0.28 m	

	ANALISI 4b							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeigh t	Resisting Force	Driving Force	ApexHeigh t	NOTE
1 – 2 – 3	Floorwedge [1]	stable	3.456 m3	0.092 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	1.09 m	
	Lower Right wedge [2]	5,09	0.925 m3	0.025 MN	0.0258 MN	0.0051 MN	0.60 m	
	Upper Right wedge [4]	1,578	1.954 m3	0.052 MN	0.0384 MN	0.0243 MN	0.84 m	
	Lower Left wedge [5]	0,789	2.019 m3	0.054 MN	0.0326 MN	0.0413 MN	0.86 m	Cuneo laterale
	Upper Left wedge [7]	5,213	0.929 m3	0.025 MN	0.1052 MN	0.0202 MN	0.60 m	
	Roofwedge [8]	4,548	3.375 m3	0.089 MN	0.4068 MN	0.0894 MN	1.09 m	
1 – 2 – 4	Floorwedge [1]	5,09	0.014 m3	0.000 MN	0.0004 MN	0.0001 MN	0.11 m	
	Lower Left wedge [2]	stable	31.276 m3	0.829 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	3.74 m	

	ANALISI 4b							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeight	Resisting Force	Driving Force	ApexHeight	NOTE
	Lower Right wedge [3]	1,578	0.577 m3	0.015 MN	0.0113 MN	0.0072 MN	0.58 m	
	Upper Left wedge [6]	10,29	0.577 m3	0.015 MN	0.1335 MN	0.0130 MN	0.58 m	
	Upper Right wedge [7]	1,727	31.219 m3	0.827 MN	1.3337 MN	0.7724 MN	3.74 m	
	Roofwedge [8]	0,000	0.013 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0003 MN	0.09 m	Cuneo piccolo
1 - 3 - 4	Floorwedge [1]	stable	1.562 m3	0.041 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.82 m	
	Lower Right wedge [3]	1,578	0.071 m3	0.002 MN	0.0014 MN	0.0009 MN	0.20 m	
	Upper Right wedge [4]	2,554	13.272 m3	0.352 MN	0.3797 MN	0.1487 MN	2.22 m	
	Lower Left wedge [5]	10,891	13.241 m3	0.351 MN	0.6065 MN	0.0557 MN	2.21 m	
	Upper Left wedge [6]	134,555	0.075 m3	0.002 MN	0.2187 MN	0.0016 MN	0.19 m	
	Roofwedge [8]	4,622	1.598 m3	0.042 MN	0.1957 MN	0.0423 MN	0.83 m	
2 - 3 - 4	Lower Left wedge [1]	10,891	0.039 m3	0.001 MN	0.0018 MN	0.0002 MN	0.18 m	
	Lower Left wedge [2]	0,789	0.163 m3	0.004 MN	0.0026 MN	0.0033 MN	0.36 m	cuneo basso
	Upper Left wedge [4]	1,233	29.793 m3	0.790 MN	0.8258 MN	0.6695 MN	4.04 m	
	Lower Right wedge [5]	stable	29.647 m3	0.786 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	4.03 m	
	Upper Right wedge [7]	25,68	0.157 m3	0.004 MN	0.0997 MN	0.0039 MN	0.35 m	
	Upper Right wedge [8]	50,767	0.039 m3	0.001 MN	0.0521 MN	0.0010 MN	0.19 m	

Dalle tabelle appare evidente che la maggior parte dei cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1, ad eccezione di tre soli cunei evidenziati in rosso, per i quali sono stati ottenuti dei fattori di sicurezza inferiori a 1.1. Tuttavia va considerato che si tratta di cunei piccoli, di dimensioni ridotte, (≤ 100 KN), non direttamente cuciti dalla maglia di bulloni.

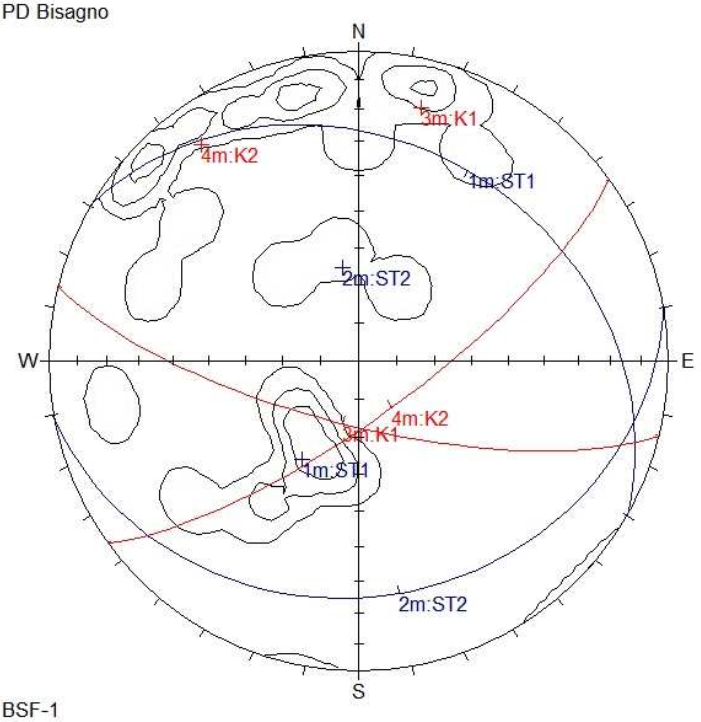
12.5.2 Analisi 5

L'analisi 5 è stata condotta lungo un tratto più meridionale di galleria scavata con TBM, con la sezione tipo di scavo MAb2. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
5	MAb2	TBM 2400-3400	359/0.14	BSF-1H	030	30	170	25	194	73	144	75
5B	MAb2	TBM 2400-3400	359/0.14	BSF-3AB	280	26	120	70	160	69		

Come già anticipato nel capitolo 12.3, per tenere conto della variabilità dell'assetto giaciturale delle discontinuità, per questa tratta sono state svolte due analisi, 4a e 4b, prendendo in considerazione rispettivamente i rilievi geomeccanici BSF-1H e BSF-3AB, i cui dati strutturali son riportati nelle seguenti proiezioni stereografiche:

PD Bisagno



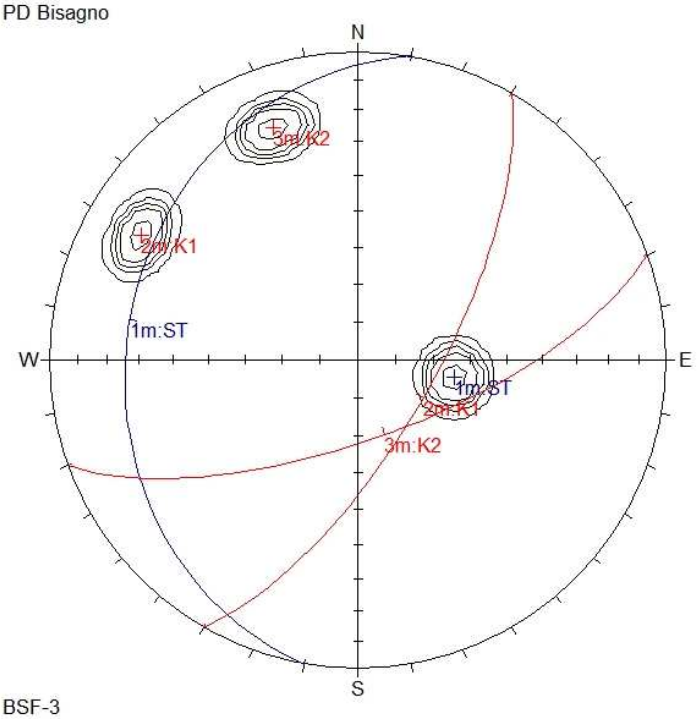
Orientations

ID		Dip / Direction
1	m	30 / 030
2	m	25 / 170
3	m	73 / 194
4	m	75 / 144

Equal Area
Lower Hemisphere
26 Poles
26 Entries

BSF-1

PD Bisagno



Orientations

ID		Dip / Direction
1	m	26 / 280
2	m	70 / 120
3	m	69 / 160

Equal Area
Lower Hemisphere
3 Poles
3 Entries

BSF-3

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

	ANALISI 5a							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeight	Resisting Force	Driving Force	ApexHeight	NOTE
1 - 2 - 3	Lower Right wedge [3]	stable	2228.545 m3	59.056 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	118.71 m	
	Upper Left wedge [6]	6,417	2225.830 m3	58.985 MN	80.4744 MN	12.5406 MN	118.66 m	
	Roofwedge [7]	0,248	0.000 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.00 m	
1 - 2 - 4	Floorwedge [1]	5,092	0.004 m3	0.000 MN	0.0001 MN	0.0000 MN	0.07 m	
	Floorwedge [2]	stable	0.017 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.16 m	
	Upper Left wedge [3]	2,351	87.497 m3	2.319 MN	2.4059 MN	1.0234 MN	8.87 m	
	Lower Right wedge [6]	7,116	87.461 m3	2.318 MN	3.6943 MN	0.5192 MN	8.87 m	
	Roofwedge [7]	0,217	0.013 m3	0.000 MN	0.0001 MN	0.0003 MN	0.14 m	Too small
	Roofwedge [8]	0.000	0.002 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0001 MN	0.07 m	Too small
1 - 3 - 4	Floorwedge [1]	8,776	0.004 m3	0.000 MN	0.0001 MN	0.0000 MN	0.08 m	
	Lower Right wedge [2]	stable	6.786 m3	0.180 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	2.80 m	
	Lower Left wedge [3]	2,008	0.588 m3	0.016 MN	0.0138 MN	0.0069 MN	0.89 m	
	Upper Right wedge [6]	2,851	0.592 m3	0.016 MN	0.0428 MN	0.0150 MN	0.90 m	
	Upper Left wedge [7]	1,565	6.724 m3	0.178 MN	0.2694 MN	0.1721 MN	2.80 m	
	Roofwedge [8]	0.000	0.004 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0001 MN	0.09 m	Too small
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	5,874	1.317 m3	0.035 MN	0.0459 MN	0.0078 MN	1.35 m	
	Lower Left wedge [3]	6,392	1.613 m3	0.043 MN	0.0581 MN	0.0091 MN	1.48 m	
	Floorwedge [4]	stable	0.017 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.19 m	
	Roofwedge [5]	215,05	0.017 m3	0.000 MN	0.0930 MN	0.0004 MN	0.18 m	
	Upper Right wedge [6]	1,365	1.650 m3	0.044 MN	0.0571 MN	0.0418 MN	1.50 m	
	Upper Left wedge [7]	3,917	1.282 m3	0.034 MN	0.1285 MN	0.0328 MN	1.33 m	

	ANALISI 5b							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeight	Resisting Force	Driving Force	ApexHeight	NOTE
1 - 2 - 3	Floorwedge [1]	7,725	0.001 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.02 m	
	Floorwedge [2]	stable	9.038 m3	0.240 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	2.49 m	
	Lower Right wedge [3]	2,553	3.533 m3	0.094 MN	0.0853 MN	0.0334 MN	1.59 m	
	Upper Left wedge [6]	4,289	3.493 m3	0.093 MN	0.3730 MN	0.0870 MN	1.59 m	
	Roofwedge [7]	2,281	8.889 m3	0.236 MN	0.5373 MN	0.2355 MN	2.47 m	

Dalle tabelle appare evidente che la maggior parte dei cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1, ad eccezione di tre soli cunei evidenziati in rosso, per i quali sono stati ottenuti dei fattori di sicurezza inferiori a 1.1. Tuttavia va considerato che si tratta di cunei piccoli, di dimensioni ridotte, (≤ 100 KN), non direttamente cuciti dalla maglia di bulloni.

12.5.3 Analisi 6

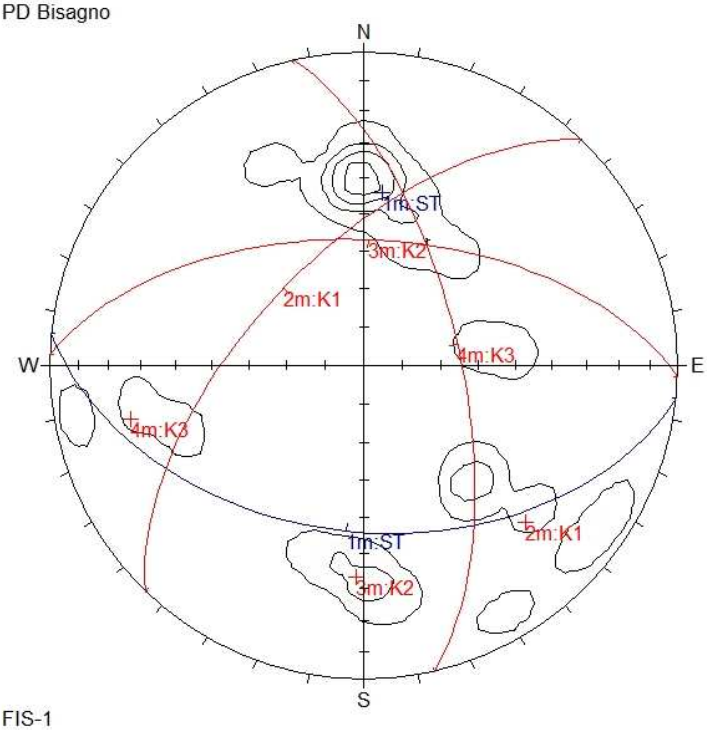
L'analisi 6 è stata condotta lungo la galleria principale nel settore più meridionale della galleria scavata con TBM, con la sezione tipo di scavo MAb3. Nella tabella seguente si sintetizzano i dati geometrici di imput.

ANALISI	SEZ. TIPO	Pk	Orient. Gall.	Staz. geo.	ST		K1		K2		K3	
6	MAb3	TBM 600-1700	044/0.14	FS1-AD	186	46	314	61	002	57	077	65
6B	MAb3	TBM 600-1700	044/0.14	GST	211	25	258	55	250	09	082	70

Come già anticipato nel capitolo 12.3, per tenere conto della variabilità dell'assetto giaciturale delle discontinuità, per questa tratta sono state svolte due analisi, 4a e 4b, prendendo in considerazione

rispettivamente i rilievi geomeccanici FS1-AD e GST, i cui dati strutturali son riportati nelle seguenti proiezioni stereografiche:

PD Bisagno



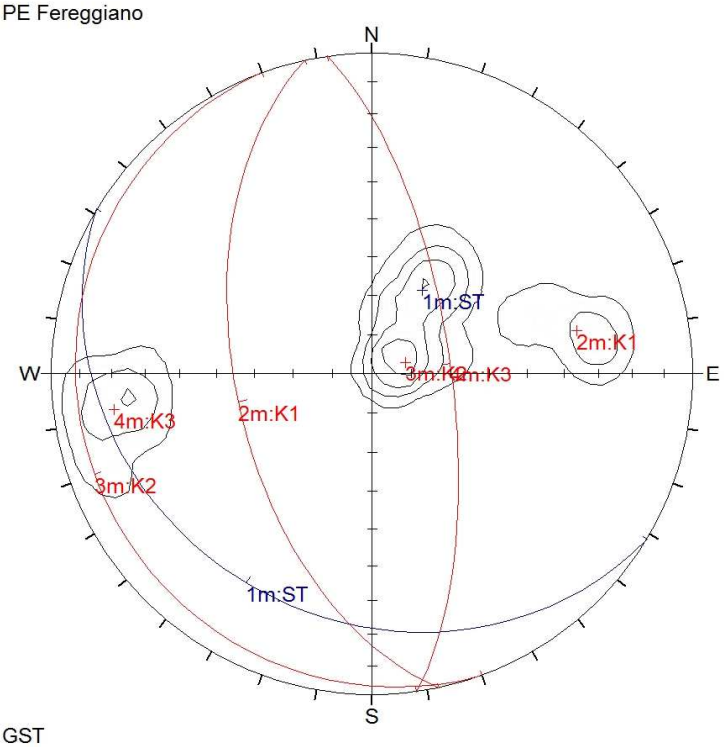
Orientations

ID		Dip / Direction
1	m	46 / 186
2	m	61 / 314
3	m	57 / 002
4	m	65 / 077

Equal Area
Lower Hemisphere
30 Poles
30 Entries

FIS-1

PE Fereggiano



Orientations

ID		Dip / Direction
1	m	25 / 211
2	m	55 / 258
3	m	09 / 250
4	m	70 / 082

Equal Area
Lower Hemisphere
33 Poles
33 Entries

GST

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

	ANALISI 6							
		Factor of Safety	Wedge Volume	WedgeWeight	Resisting Force	Driving Force	ApexHeight	NOTE
1 - 2 - 3	Lower Right wedge [1]	29,934	1.438 m3	0.038 MN	0.0493 MN	0.0016 MN	0.75 m	
	Lower Left wedge [3]	stable	91.052 m3	2.413 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	5.74 m	
	Upper Right wedge [6]	1,33	90.375 m3	2.395 MN	2.7861 MN	2.0947 MN	5.72 m	
	Upper Left wedge [8]	5,478	1.546 m3	0.041 MN	0.2244 MN	0.0410 MN	0.77 m	
1 - 2 - 4	Floorwedge [1]	stable	29.117 m3	0.772 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	2.95 m	
	Lower Left wedge [3]	11,021	9.047 m3	0.240 MN	1.6342 MN	0.1483 MN	1.64 m	
	Upper Right wedge [6]	3,107	8.863 m3	0.235 MN	0.6383 MN	0.2054 MN	1.64 m	
	Roofwedge [8]	1,802	29.812 m3	0.790 MN	1.4239 MN	0.7900 MN	2.95 m	
1 - 3 - 4	Floorwedge [1]	stable	0.120 m3	0.003 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	0.38 m	
	Lower Right wedge [2]	70,989	1.980 m3	0.052 MN	0.1608 MN	0.0023 MN	1.39 m	
	Lower Left wedge [3]	6,716	0.812 m3	0.022 MN	0.0894 MN	0.0133 MN	0.92 m	
	Upper Right wedge [6]	6,553	0.813 m3	0.022 MN	0.1184 MN	0.0181 MN	0.93 m	
	Upper Left wedge [7]	4,776	2.020 m3	0.054 MN	0.2317 MN	0.0485 MN	1.41 m	
	Roofwedge [8]	27,137	0.128 m3	0.003 MN	0.0918 MN	0.0034 MN	0.40 m	
2 - 3 - 4	Lower Right wedge [2]	281,797	0.002 m3	0.000 MN	0.0131 MN	0.0000 MN	0.07 m	
	Floorwedge [3]	stable	718.127 m3	19.030 MN	0.0000 MN	0.0000 MN	29.89 m	
	Roofwedge [6]	0,545	719.906 m3	19.078 MN	8.7250 MN	15.9997 MN	29.91 m	notrealistic
	Upper Left wedge [7]	0,378	0.005 m3	0.000 MN	0.0000 MN	0.0001 MN	0.07 m	toosmaal

Dalle tabelle appare evidente che la maggior parte dei cunei individuati sono caratterizzati da un fattore di sicurezza > 1.1, ad eccezione di due soli cunei evidenziati in rosso, per i quali sono stati ottenuti dei fattori di sicurezza inferiori a 1.1. Tuttavia va considerato che si tratta di cunei piccoli, di dimensioni ridotte, (≤ 100 KN), non direttamente cuciti dalla maglia di bulloni, o con geometrie non realistiche (troppo estesi).

12.6 Conclusioni

Nei paragrafi precedenti sono state riportate le analisi di stabilità dei tetraedri instabili condotti per la tratta di galleria scavata con TBM con le sezioni tipo di scavo MAb1, MAb2 e MAb3. Le verifiche sono stata condotte in conformità alle NTC 2008, in particolare, con l'approccio 1, combinazione A2+M2+R2.

I cunei rilevati sono caratterizzati quasi tutti da fattori di sicurezza maggiori di 1.1, ad eccezione di casi isolati di cunei di dimensioni piccole o non realistiche.

13 VERIFICA DEL CONCIO DI BASE

Il concio di base è la struttura prefabbricata inferiore di chiusura del tunnel dove sono collocati i binari usati per la movimentazione dei materiali, dei conci stessi e delle attrezzature. Deve essere messo in opera prima della realizzazione della volta gettata in opera che sigillerà 'a battuta' le estremità laterali del concio con conseguente trasmissione di azioni assiali.

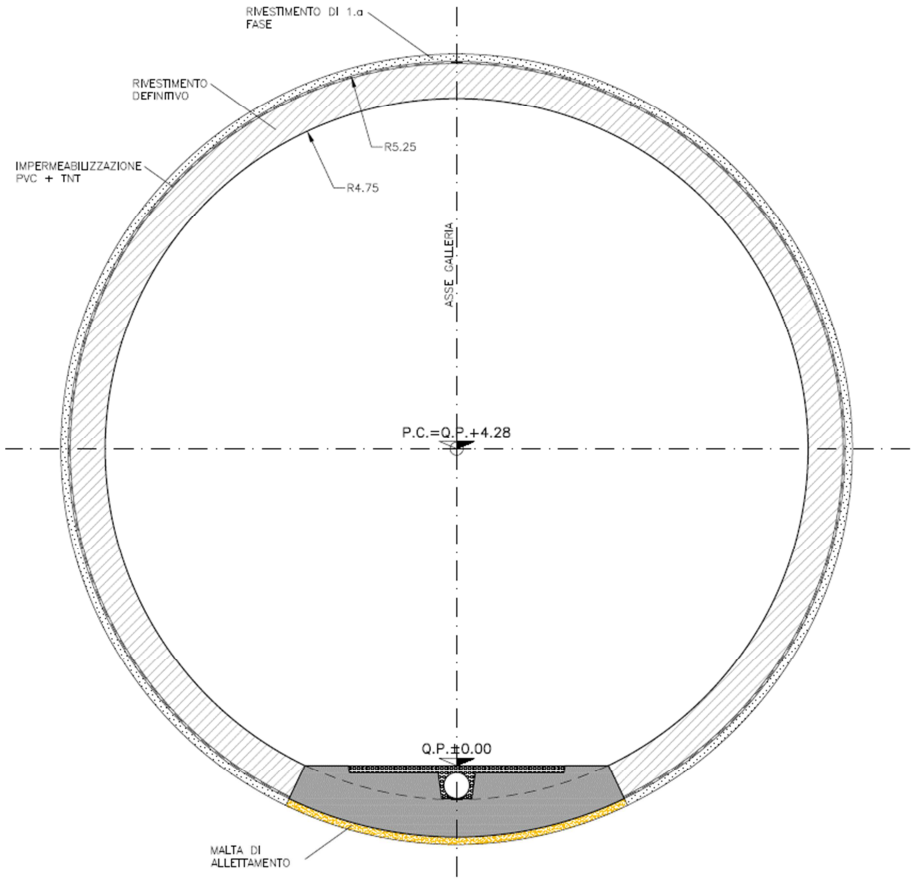


Figura 13-1: Sezione trasversale tipica della galleria.

Dal punto di vista strutturale si considera come sezione resistente la corona circolare esterna spessa 50 cm (ricoprimento di armatura pari a 4 cm), trascurando le parti trapezoidali di completamento sulle quali saranno direttamente alloggiati i binari.

13.1 Fasi di vita della struttura

Il concio di base è un elemento prefabbricato che deve soddisfare i requisiti minimi di sicurezza strutturale cui alle NTC2008, in tutte le sue fasi di vita, dalla produzione al trasporto, dalla messa in opera all'esercizio. In particolare, la tabella seguente riassume le fasi di riferimento per la progettazione strutturale dell'elemento.

Fasi transitorie
scasseratura (carico di scasseratura pari a 10,0 kN/m^2, R_{ck} = 15 N/mm^2)
stoccaggio (tre conci impilati su appoggi distanti 3,0 m, R_{ck} = 15 N/mm^2)
trasporto (due conci impilati su appoggi distanti 3,0 m)
movimentazione
Fasi in esercizio
trasporto su rotaia (4 ruote con carico massimo di 7,5 t)
trasporto su gomma (1 corsia di carico di prima categoria)
transito della locomotiva (massa di 20 t)

Tabella 13-1: Fasi principali di vita per la progettazione strutturale

13.2 Modellazione strutturale

Ai fini del calcolo e quindi delle verifiche strutturali, il concio di base è stato modellato con un programma agli elementi finiti (SAP2000) considerando due modelli limite:

- schema a trave (curvilinea), trascura la disposizione in pianta dei carichi;
- schema a piastra (curva), porta in conto anche la distribuzione in pianta dei carichi.

13.3 Condizioni transitorie

Le condizioni transitorie sono riferite a tutte le fasi di vita del concio fino alla sua messa in opera finale. Queste vanno dalla prefabbricazione dell'elemento in stabilimento e successiva scasseratura, al trasporto e movimentazione finale per alloggiarlo all'interno del tunnel. Le azioni che gravano sul concio sono quelle associate al peso proprio degli elementi, con eventuale amplificazione dinamica, e agiscono su schemi strutturali con disposizione dei vincoli dipendente dalla condizione esaminata.

13.3.1 Scasseratura

Si assume che la scasseratura avvenga tramite sospensione del concio su quattro punti di presa posizionati in pianta sui due lati maggiori del concio a distanza L/4 dagli estremi. Si assume inoltre che l'azione di scasseratura sia equivalente a un carico uniformemente distribuito pari a 10 kN/m^2 e che avvenga solo dopo che il calcestruzzo abbia raggiunto una sufficiente maturazione, valutata tramite la sua resistenza cubica che deve essere maggiore di 15 N/mm^2.

13.3.1.1 Analisi dei carichi

La struttura è prevalentemente soggetta al carico permanente dato dal peso proprio della struttura stessa (compreso il "riempimento" non strutturale all'estradosso che completa la geometria) e l'azione accidentale di scasseratura, come riassunto in tabella.

Carico	Valore	u.m.
peso proprio	25,0	kN/m^3
completamento estradosso	6,76	kN/m^2
scasseratura	10,0	kN/m^2

Tabella 13-2: Scasseratura; carichi agenti sulla struttura

In condizioni di esercizio, benché la scasseratura sia un'azione di breve durata, si considera la sola combinazione caratteristica.

13.3.1.2 Schema di calcolo

Questa situazione transitoria è stata analizzata con un modello agli elementi finiti di tipo bidimensionale (elementi shell) in cui la struttura è stata vincolata con quattro appoggi semplici in corrispondenza dei punti di presa del macchinario che tiene sospeso il concio.

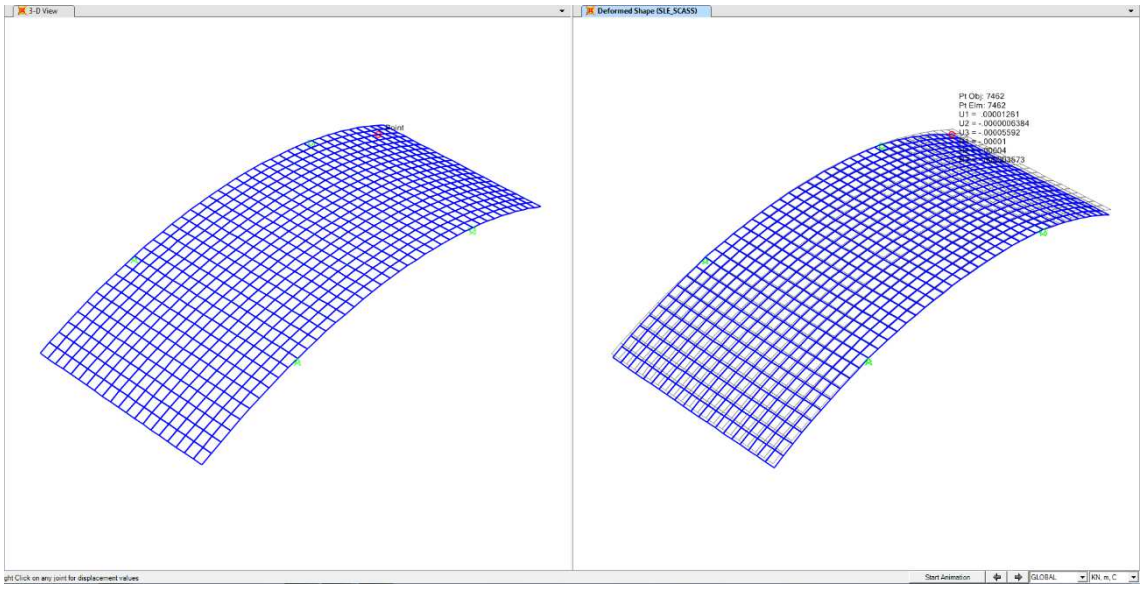


Figura 13-2: Scasseratura; modello FEM (SAP2000).

13.3.1.3 Stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

Le sollecitazioni massime e minime restituite dal modello di calcolo nei diversi stati limite sono riassunte in tabella in cui si è adottata la classica convenzione per le piastre, ovvero il momento flettente $M_{Ed,x}$ è l'azione agente sulla faccia di normale *x*.

Comb.	N_{Ed} (kN/m)	$M_{Ed,x}$ (kNm/m)	$M_{Ed,y}$ (kNm/m)	V_{Ed} (kN/m)
SLU	-	-46,0	14,0	130,0
SLE rara	-	-27,0	10,0	-

Tabella 13-3: Scasseratura; sollecitazioni di progetto.

Il concio è armato con **14Φ14** (sup. e inf.) in direzione *x* e staffe **Φ10 4br./250** che costituiscono anche l'armatura a momento flettente in direzione *y*.Le figure seguenti riassumono le verifiche effettuate in condizioni ultime e di esercizio in accordo alle NTC2008. Si noti che le verifiche di fessurazione sono state effettuate con riferimento a un ambiente aggressivo (cfr. Tabella 4.1.IV delle NTC2008).

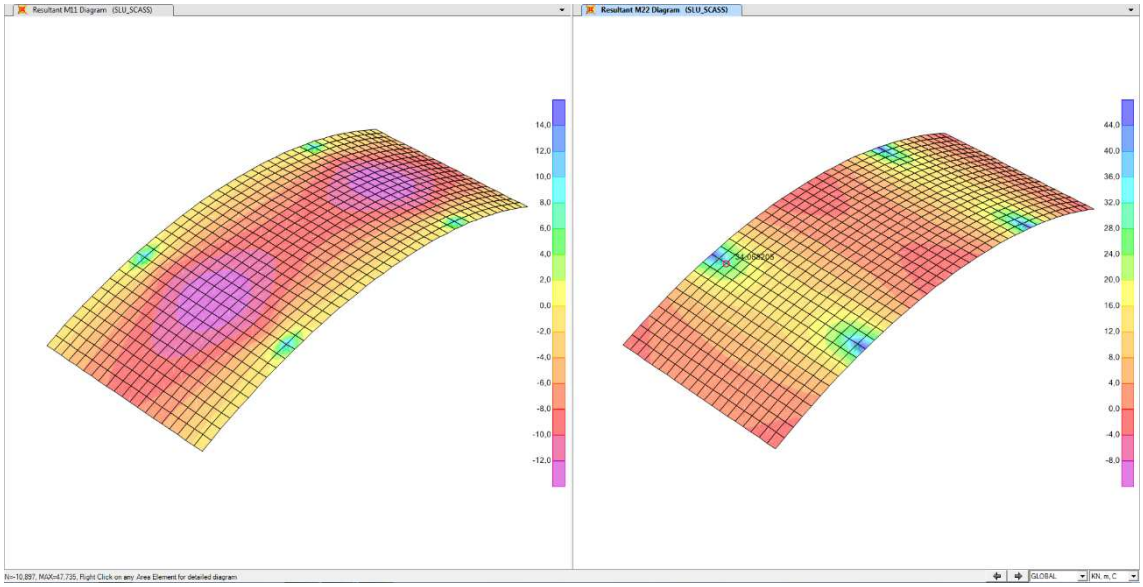


Figura 13-3: Scasseratura; azione flettenti allo stato limite ultimo (SLU)

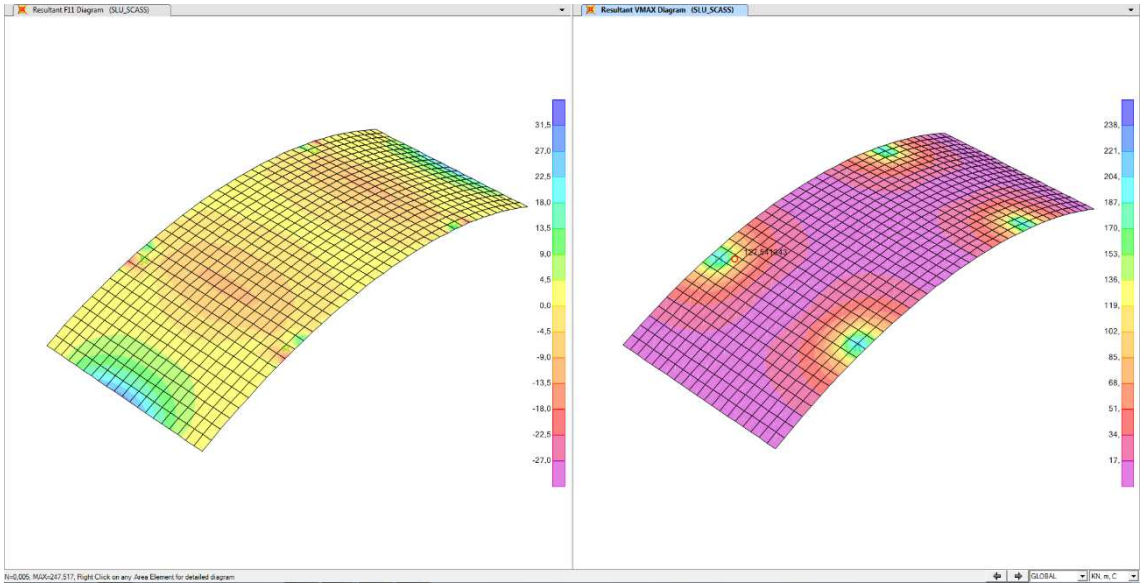


Figura 13-4: Scasseratura: azioni normale e di taglio allo stato limite ultimo (SLU)

Materiali

Calcestruzzo		
f_{ck}	12	(MPa)
E_{cm}	27267	(MPa)
γ_c	1,5	(-)
α_{cc}	0,85	(-)
f_{cd}	7,06	(MPa)
f_{ctd}	0,75	(MPa)
f_{cfd}	0,90	(MPa)
f_{bd}	1,69	(MPa)
ε_{cu}	0,0035	(-)

Acciaio		
f_{yk}	450	(Mpa)
E_s	210000	(Mpa)
γ_s	1,15	(-)
f_{yd}	391,30	(Mpa)
ε_{yd}	0,00186	(-)

Proprietà della sezione

Geometria		
b	1700	(mm)
h	500	(mm)

Armatura longitudinale		
d	443	(mm)
d'	57	(mm)
A_s	2155	(mm^2)
A_s'	2155	(mm^2)

Armatura trasversale		
α	90	(°)
s	250	(mm)
A_{sw}	314	(mm^2)

Carichi di progetto

SLU		
M_{Ed} (+)	7,7	(kNm)
M_{Ed} (-)	78,2	(kNm)
V_{Ed}	221,0	(kN)

SLE		
$M_{Ed,car}$	59,5	(kNm)
$M_{Ed,freq}$	59,5	(kNm)
$M_{Ed,qperm}$	59,5	(kNm)

Verifiche

SLU			
M_{Rd} (+)	●	344,9	(kNm)
M_{Rd} (-)	●	344,9	(kNm)
V_{Rd}	●	489,9	(kN)

SLE - tensioni			
E_s/E_{cm}		15	(-)
σ_s	●	68,19	(N/mm^2)
$\sigma_{c,car}$	●	1,41	(N/mm^2)
$\sigma_{c,qperm}$	●	1,41	(N/mm^2)

SLE - fessurazione			
k_t		0,4	(-)
k_1		0,8	(-)
k_2		0,5	(-)
k_3		3,4	(-)
k_4		0,425	(-)
α_e		15	(-)
$A_{c,eff}$		223825	(mm^2)
ρ_{eff}		0	(-)
Φ_{eq}		14	(mm)
c		50	(mm)
$w_{d,freq}$	●	0,081	(mm)
$w_{d,qperm}$	●	0,081	(mm)

Figura 13-5: Scasseratura; verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in direzione *x*. Le azioni sollecitanti sono state estese all'intera larghezza del concio moltiplicandole per 1,7 m

Materiali

Calcestruzzo		
f_{ck}	12	(MPa)
E_{cm}	27267	(MPa)
γ_c	1,5	(-)
α_{cc}	0,85	(-)
f_{cd}	7,06	(MPa)
f_{ctd}	0,75	(MPa)
f_{cfd}	0,90	(MPa)
f_{bd}	1,69	(MPa)
ε_{cu}	0,0035	(-)

Acciaio		
f_{yk}	450	(Mpa)
E_s	210000	(Mpa)
γ_s	1,15	(-)
f_{yd}	391,30	(Mpa)
ε_{yd}	0,00186	(-)

Proprietà della sezione

Geometria		
b	1000	(mm)
h	500	(mm)

Armatura longitudinale		
d	455	(mm)
d'	45	(mm)
A_s	314	(mm^2)
A_s'	314	(mm^2)

Armatura trasversale		
α	90	(°)
s	200	(mm)
A_{sw}	0	(mm^2)

Carichi di progetto

SLU		
M_{Ed} (+)	14,0	(kNm)
M_{Ed} (-)	-	(kNm)
V_{Ed}	-	(kN)

SLE		
$M_{Ed,char}$	10,0	(kNm)
$M_{Ed,freq}$	10,0	(kNm)
$M_{Ed,qperm}$	10,0	(kNm)

Verifiche

SLU			
M_{Rd} (+)	●	56,5	(kNm)
M_{Rd} (-)		56,5	(kNm)
V_{Rd}		120,5	(kN)

SLE - tensioni			
E_s/E_{cm}		15	(-)
σ_s	●	73,33	(N/mm^2)
$\sigma_{c,char}$	●	0,74	(N/mm^2)
$\sigma_{c,qperm}$	●	0,74	(N/mm^2)

SLE - fessurazione			
k_t		0,4	(-)
k_1		0,8	(-)
k_2		0,5	(-)
k_3		3,4	(-)
k_4		0,425	(-)
α_e		15	(-)
$A_{c,eff}$		112500	(mm^2)
ρ_{eff}		0	(-)
Φ_{eq}		10	(mm)
c		40	(mm)
$w_{d,freq}$	●	0,156	(mm)
$w_{d,qperm}$	●	0,156	(mm)

Figura 13-6: Scasseratura; verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in direzione *y*

13.3.1.4 Sollevamento

La verifica al sollevamento durante la scasseratura si effettua controllando che l'armatura longitudinale, predisposta specificatamente in corrispondenza dei punti di sollevamento, faccia fronte adeguatamente alla sollecitazione indotta dal peso proprio del concio, tenuto conto degli effetti dinamici e dei coefficienti di amplificazione allo stato limite ultimo. Localmente, ove non costituita dalle barre principali trasversali, deve essere predisposta una barra trasversale Φ14, al di sotto di ciascun punto di sollevamento. Tale barra deve essere ancorata alla staffatura predisposta in direzione longitudinale alla galleria.Considerando un peso del concio pari a circa 140 kN, ripartito sui 4 punti di sollevamento e amplificato di un coefficiente dinamico pari a 1,50, l'azione presente su ciascun punto di sollevamento è pari a:

$$F = \frac{\gamma_d \gamma_G G1}{4} = \frac{1{,}50 \cdot 1{,}30 \cdot 140}{4} = 68{,}25 \text{ kN}$$

L'azione di taglio agente su ciascuna barra vale:

$$\tau_{soll} = \frac{F}{2r^2\pi} = \frac{68{,}25 \cdot 1000}{2 \cdot 7^2 \cdot \pi} = 221{,}68 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = \frac{450}{1{,}15 \cdot \sqrt{3}} = 225{,}92 \text{ N/mm}^2$$

L'effettiva disposizione dei punti di sollevamento e l'eventuale aggiunta della barra Φ14 deve essere stabilita di concerto con il prefabbricatore, fermo restando che la disposizione finale di tali punti di sollevamento non debba costituire per il concio una condizione di carico più gravosa di quella documentata per questa fase transitoria.

13.3.2 Stoccaggio

Si prevede uno stoccaggio dei conci a gruppi di tre (tre conci uno sull'altro) da realizzarsi solo dopo che il calcestruzzo avrà raggiunto una sufficiente maturazione valutata tramite la sua resistenza cubica che deve essere maggiore di 15 N/mm^2. Lo stoccaggio dell'elemento strutturale deve essere realizzato mediante due appoggi lineari e continui orditi in direzione del lato minore e posti a interasse di 3,0 m, simmetrici rispetto al centro del concio.

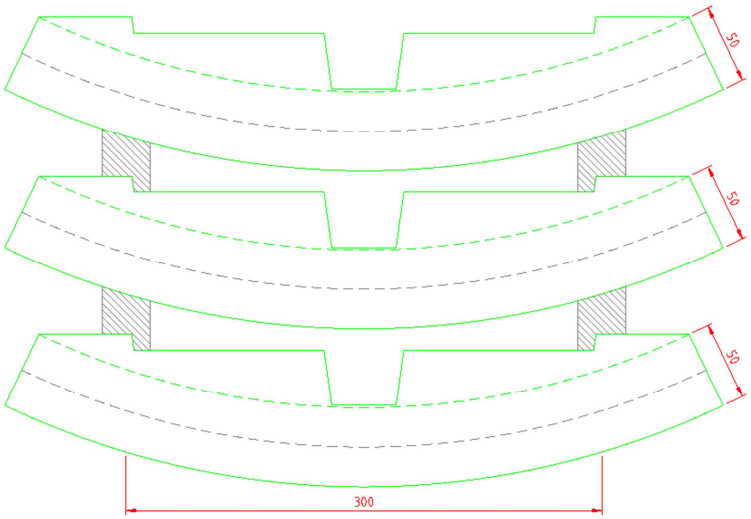


Figura 13-7: Stoccaggio; configurazione dei conci

13.3.2.1 Analisi dei carichi

La struttura è prevalentemente soggetta al carico permanente dato dal peso proprio della struttura stessa (compreso il "riempimento" non strutturale all'estradosso che completa la geometria) e quello portato dei conci accatastati l'uno sull'altro, come riassunto in tabella.

Carico	Valore	u.m.
peso proprio	25,0	kN/m^3
completamento estradosso	6,76	kN/m^2
conci portati (peso di 1 concio)	138,0	kN

Tabella 13-4: Stoccaggio; carichi agenti sulla struttura

In condizioni di esercizio si considera la sola combinazione caratteristica. Inoltre tutte le azioni permanenti sono incrementate sia in condizioni ultime che di esercizio di un fattore pari a 1,5 che porta in conto gli effetti dinamici. Si considera altresì anche un'eccentricità accidentale del carico portato dovuta ad un errore di posizionamento degli appoggi sia verso la mezzeria che verso l'estremità laterale, e valutata di circa 20 cm.

13.3.2.2 Schema di calcolo

Questa situazione transitoria è stata analizzata con un modello agli elementi finiti di tipo monodimensionale (elementi beam). In effetti, vista la condizione di vincolo lineare e la distribuzione di carico uniforme in direzione del lato minore, un modello bidimensionale non introdurrebbe un affinamento del calcolo.

13.3.2.3 Stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

Le sollecitazioni massime e minime restituite dal modello di calcolo nei diversi stati limite considerati sono riassunte nella tabella seguente in cui è stata adottata la classica convenzione per le travi in calcestruzzo armato: sforzi normali positivi se di compressione, azioni flettenti positive se tendono le fibre all'intradosso.

Comb.	N_{Ed} (kN)	M_{Ed}(+) (kNm)	M_{Ed}(-) (kNm)	V_{Ed} (kN)
SLU	109,5	120,5	-70,5	352,5
SLE rara	84,5	92,5	-54,0	-

Tabella 13-5: Stoccaggio; sollecitazioni di progetto

Il concio è armato con **14Φ14** (sup. e inf.) in direzione *x* e staffe **Φ10 4br./250**. La figura seguente riassume le verifiche effettuate in condizioni ultime e di esercizio in accordo alle NTC2008. Si noti che le verifiche di fessurazione sono state effettuate con riferimento a un ambiente aggressivo (cfr. Tabella 4.1.IV delle NTC2008) e considerando il parziale stato di trazione adottando un coefficiente k_2 = 0,85 (lo stato di trazione è molto basso, ovvero σ_t = 84 500/(500·1700) = 0,10 N/mm^2).

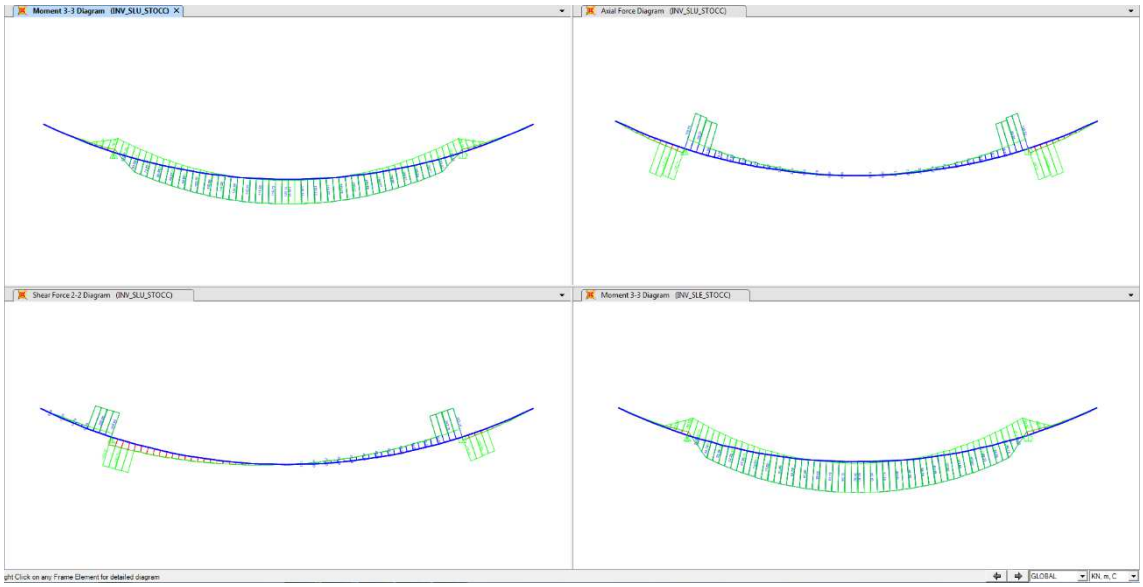


Figura 13-8: Stoccaggio; diagrammi delle azioni sollecitanti calcolate con il modello FEM (SAP2000)

Materiali

Calcestruzzo		
f_{ck}	12	(MPa)
E_{cm}	27267	(MPa)
γ_c	1,5	(-)
α_{cc}	0,85	(-)
f_{cd}	7,06	(MPa)
f_{ctd}	0,75	(MPa)
f_{cfd}	0,90	(MPa)
f_{bd}	1,69	(MPa)
ε_{cu}	0,0035	(-)

Acciaio		
f_{yk}	450	(Mpa)
E_s	210000	(Mpa)
γ_s	1,15	(-)
f_{yd}	391,30	(Mpa)
ε_{yd}	0,00186	(-)

Proprietà della sezione

Geometria		
b	1700	(mm)
h	500	(mm)

Armatura longitudinale		
d	443	(mm)
d'	57	(mm)
A_s	2155	(mm^2)
A_s'	2155	(mm^2)

Armatura trasversale		
α	90	(°)
s	250	(mm)
A_{sw}	314	(mm^2)

Carichi di progetto

SLU		
M_{Ed} (+)	120,5	(kNm)
M_{Ed} (-)	-70,5	(kNm)
V_{Ed}	352,5	(kN)

SLE		
$M_{Ed,car}$	92,5	(kNm)
$M_{Ed,freq}$	92,5	(kNm)
$M_{Ed,qperm}$	92,5	(kNm)

Verifiche

SLU			
M_{Rd} (+)	●	344,9	(kNm)
M_{Rd} (-)	●	344,9	(kNm)
V_{Rd}	●	489,9	(kN)

SLE - tensioni			
E_s/E_{cm}		15	(-)
σ_s	●	106,01	(N/mm^2)
$\sigma_{c,car}$	●	2,20	(N/mm^2)
$\sigma_{c,qperm}$	●	2,20	(N/mm^2)

SLE - fessurazione			
k_t		0,4	(-)
k_1		0,8	(-)
k_2		0,85	(-)
k_3		3,4	(-)
k_4		0,425	(-)
α_e		15	(-)
$A_{c,eff}$		223825	(mm^2)
ρ_{eff}		0	(-)
Φ_{eq}		14	(mm)
c		50	(mm)
$w_{d,freq}$	●	0,179	(mm)
$w_{d,qperm}$	●	0,179	(mm)

Figura 13-9: Stoccaggio; verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

13.3.3 Trasporto

Si assume che in fase di trasporto i conci siano accatastati a coppie l'uno sull'altro con interasse degli appoggi pari a 3,0 m (appoggi continui e paralleli al lato corto del concio, ovvero lunghi 1,7 m).Questa fase transitoria è oggettivamente meno vincolante della condizione di carico prevista per lo stoccaggio dove i conci sono impilati a tre a tre con lo stesso interasse degli appoggi e dove i carichi sono stati cumulati portando in conto un'amplificazione dinamica con fattore 1,50. Per tali motivi questa condizione transitoria si considera implicitamente già verificata.

13.3.4 Movimentazione in galleria

La movimentazione del concio consiste nel suo sollevamento, sospensione e spostamento con mezzi meccanici secondo modalità che dovranno essere definite di concerto con il prefabbricatore e l'impresa esecutrice (sollevamento con sistemi a gancio, ventosa, etc.). In questa fase si considerano quattro punti di presa mediante boccola di ancoraggio. In questa fase si considera un calcestruzzo completamente maturato con R_{ck} = 45 MPa (f_{ck} = 35 MPa). Si ipotizza un sistema di sollevamento a gancio posizionato all'estradosso del concio prefabbricato tramite una barra Φ14 che deve farsi carico dell'intera azione tagliante associata al peso del concio e degli effetti dinamici, valutati con un fattore di amplificazione pari a 1,5.

13.3.4.1 Verifica allo stato limite ultimo (SLU)

Considerando un peso del concio pari a circa 140 kN, ripartito sui 4 punti di sollevamento, l'azione presente su ciascun punto di sollevamento è pari a:

$$F = \frac{\gamma_d \gamma_G G1}{4} = \frac{1{,}50 \cdot 1{,}30 \cdot 140}{4} = 68{,}25 \text{ kN}$$

L'azione di taglio agente su ciascuna barra vale:

$$\tau_{soll} = \frac{F}{2r^2\pi} = \frac{68{,}25 \cdot 1000}{2 \cdot 7^2 \cdot \pi} = 221{,}68 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = \frac{450}{1{,}15 \cdot \sqrt{3}} = 225{,}92 \text{ N/mm}^2$$

13.4 Condizioni di esercizio

Le condizioni di esercizio fanno riferimento alle diverse fasi successive alla messa in opera del concio di base e del rivestimento interno in calcestruzzo armato. Le azioni che gravano sul concio sono quelle trasmesse dal rivestimento stesso, valutate come un'azione normale ai bordi del concio in direzione tangente alla circonferenza (più un'eccentricità accidentale), e quelle variabili associate al transito dei mezzi, sia su gomma che su rotaia. La particolare configurazione della soletta di completamento, interrotta solo dalla presenza di un tubo centrale, permette di considerare una piena diffusione delle pressioni dei mezzi in transito fino al piano medio della parte strutturale, con notevole beneficio in termini di verifiche strutturali.

13.4.1 Schema di calcolo

Il concio di base è modellato come una piastra, nel caso di modello bidimensionale, o una trave, nel caso di modello monodimensionale, appoggiata su suolo elastico alla 'Winkler'. La rigidezza delle molle è calcolata con riferimento alla formulazione di Galerkin considerando l'intero intervallo di variabilità del modulo elastico del terreno (1200 MPa – 9300 MPa), in modo da ottenere le rigidezze massima e minima con le quali eseguire le verifiche, ovvero:

$$k_{min} = \frac{E}{R(1+\nu)} = \frac{1200 \cdot 1000}{5{,}25 \cdot (1+0{,}25)} = 182857 \text{ kN/m}^3 \quad \rightarrow \quad 180\,000 \text{ kN/m}^3$$

$$k_{max} = \frac{E}{R(1+\nu)} = \frac{9300 \cdot 1000}{5{,}25 \cdot (1+0{,}25)} = 1417143 \text{ kN/m}^3 \quad \rightarrow \quad 1\,420\,000 \text{ kN/m}^3$$

Ciascuna condizione di esercizio è stata valutata considerando nei modelli di calcolo entrambi i valori estremi della costante di sottofondo del terreno (in particolare, nel prosieguo, nelle figure che riportano l'andamento delle sollecitazioni il modello superiore è riferito alla rigidezza massima mentre quello inferiore alla rigidezza minima).

13.4.1.1 Azioni permanenti

I carichi permanenti agenti sul concio di base, oltre al peso proprio della corona circolare, sono quelli associati al calcestruzzo armato e alla soletta di completamento, nonché alle azioni trasmesse dal rivestimento interno. I primi vengono valutati considerando la sezione effettiva (1,30 m^2) mentre per i secondi si fa riferimento allo sforzo normale massimo trasmesso dalla volta valutato con i modelli di calcolo avanzati attraverso i quali è stata studiata l'interazione geotecnica. In particolare:

$G2_{sol} = 25{,}0 \cdot 1{,}50 \cdot 1{,}70 = 63{,}75$ kN

$G2_{volta} = 4800$ kN/m , in direzione tangente alla circonferenza del tunnel

Si noti che il peso della soletta è stato maggiorato considerando una sezione di 1,50 m^2 anziché 1,30 m^2. Il motivo è dovuto al fatto che il carico è distribuito secondo un settore circolare mentre nel modello di calcolo è stato inserito come carico uniformemente distribuito. Per quanto riguarda il carico trasmesso dalla volta, per tutte le fasi di esercizio si considera un'eccentricità accidentale del carico valutata come il maggiore tra 20 mm e il 5% dell'altezza della sezione, ovvero 25 mm.

13.4.1.2 Struttura resistente

Ai fini dei calcoli si considera come struttura resistente la corona circolare esterna spessa 50 cm e armata con **14 Φ14** sia all'estradosso che all'intradosso con rinforzi a taglio pari a **Φ10 a 4br./250**. Per tutti i carichi associati al transito dei mezzi si considera una loro diffusione fino al piano medio della corona circolare di calcolo.

13.4.2 Condizione di transito della locomotiva

Si considera una locomotiva di massa pari a 20 t, ovvero peso di 200 kN, distribuita (a favore di sicurezza) su due assi. La locomotiva può transitare solo sui due binari centrali che nel punto di contatto di ciascuna delle due ruote risultano caricati con un peso pari a 50 kN. Assumendo una diffusione a 45° del carico concentrato fino al piano medio della soletta, l'azione è ripartita su di una superficie rettangolare di circa 115x195 cm.

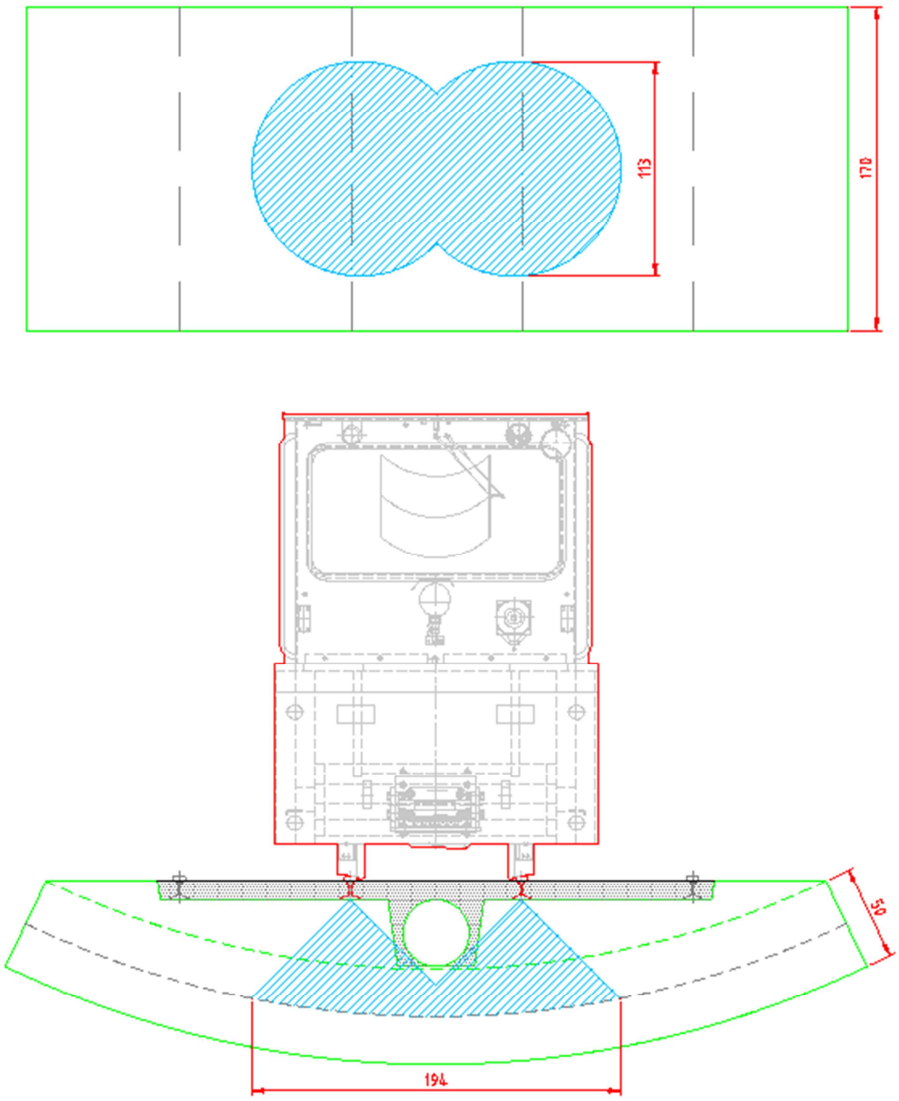


Figura 13-10: Transito della locomotiva; diffusione dei carichi

*13.4.2.1 Analisi **dei carichi***

La struttura è prevalentemente soggetta al carico permanente dato dal peso proprio della struttura stessa (compreso il "riempimento" non strutturale all'estradosso che completa la geometria) e l'azione accidentale dovuta al transito della locomotiva, come riassunto in tabella.

Carico	Valore	u.m.
peso proprio	25,0	kN/m^3
completamento estradosso	8,41	kN/m^2
locomotiva	44,60	kN/m^2
volta	4 800	kN/m

Tabella 13-6: Transito della locomotiva; carichi agenti sulla struttura

In condizioni di esercizio si considera la sola combinazione caratteristica. Inoltre, per portare in conto gli effetti dinamici associati al transito della locomotiva, il suo peso è amplificato di un fattore pari a 1,5.

13.4.2.2 Schema di calcolo

Questa situazione di esercizio è stata analizzata con un modello agli elementi finiti di tipo bidimensionale (elementi shell) in cui l'interazione con il terreno è stata modellata alla Winkler con un letto di molle elastico. Come già precisato sono state considerate sia la costante di sottofondo massima che quella minima stimate con la relazione di Galerkin.

13.4.2.3 Stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

Le sollecitazioni massime (o minime) restituite dal modello di calcolo nei diversi stati limite considerati sono riassunte nella tabella seguentein cui si è adottata la classica convenzione per le piastre, ovvero il momento flettente $M_{Ed,x}$ è l'azione agente sulla faccia di normale *x*. Si noti che il momento flettente di progetto in direzione *y* non è stato riportato perché in parte condizionato dalle modalità di applicazione del carico trasmesso dal rivestimento lungo i bordi. D'altro canto, valutando l'azione flettente dovuta al solo carico accidentale si otterrebbe un valore massimo inferiore a 5,0 kNm, che verifica tutte le condizioni di progetto sia ultime che di esercizio.

Comb.	N_{Ed} (kN/m)	$M_{Ed,x}$ (kNm/m)	$M_{Ed,y}$ (kNm/m)	V_{Ed} (kN/m)
SLU	6325,0	160,0	-	140,0
SLE rara	4860,0	125,0	-	-

Tabella 13-7: Transito della locomotiva; sollecitazioni di progetto

Il concio è armato con **14Φ14** (sup. e inf.) in direzione *x* e staffe **Φ10 4br./250** che costituiscono anche l'armatura a momento flettente in direzione *y*.Le figure seguenti riassumono le verifiche effettuate in condizioni ultime e di esercizio in accordo alle NTC2008. Si noti che le verifiche di fessurazione sono implicitamente soddisfatte visto che la sezione di calcestruzzo non è parzializzata (centro di pressione all'interno del nocciolo d'inerzia).

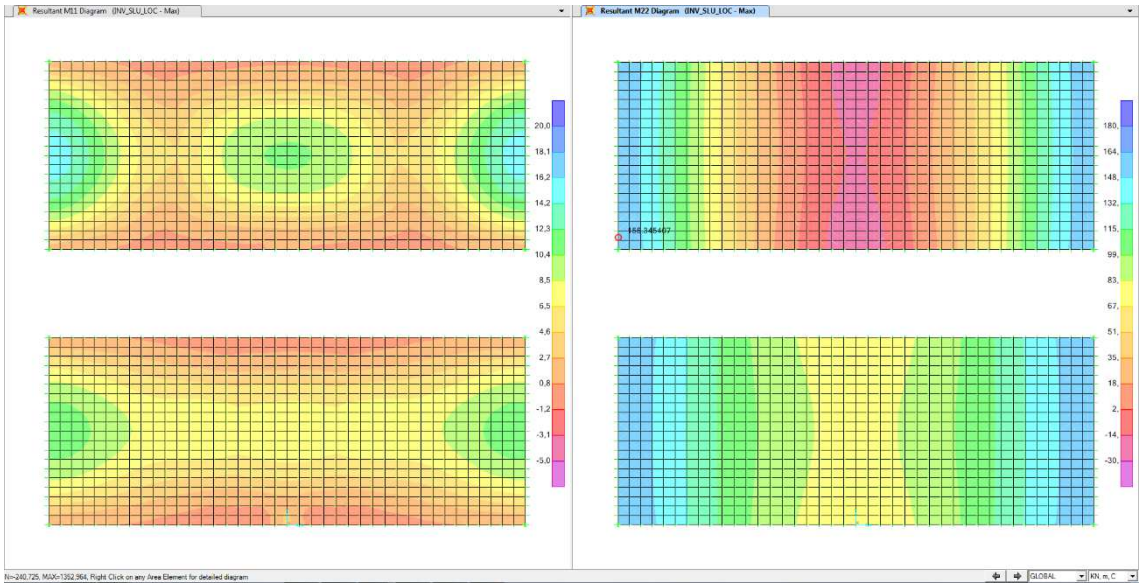


Figura 13-11: Transito della locomotiva; azioni flettenti allo stato limite ultimo

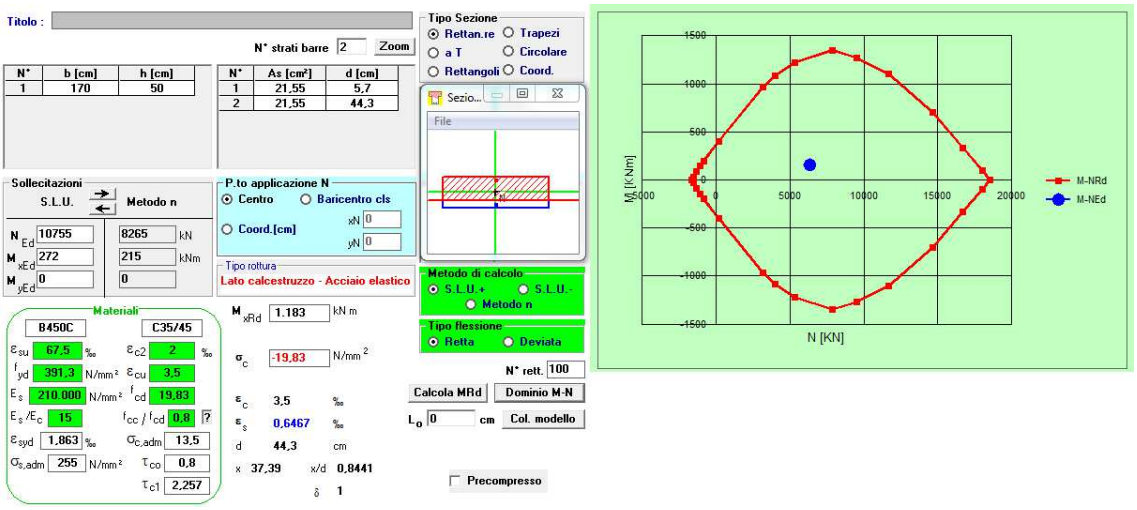


Figura 13-12: Transito della locomotiva; verifiche allo stato limite ultimo (SLU) in direzione *x*. Le azioni sollecitanti sono state estese all'intera larghezza del concio moltiplicandole per 1,7 m

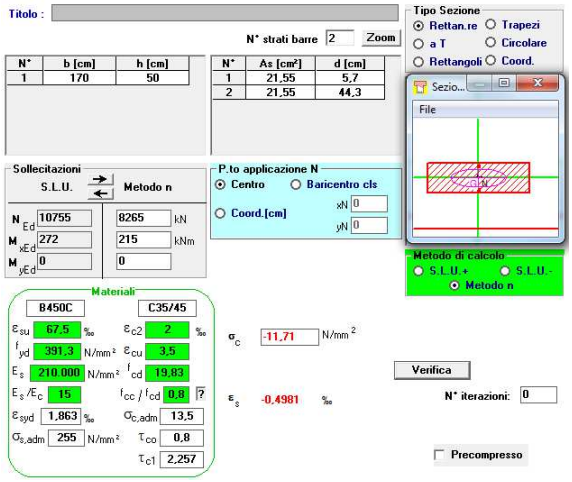


Figura 13-13: Transito della locomotiva; verifiche allo stato limite di esercizio (SLE) in direzione *x*. Le azioni sollecitanti sono state estese all'intera larghezza del concio moltiplicandole per 1,7 m

SEZIONE			
b [mm]	1700	diametro staffe [mm]	10
h [mm]	500	numero bracci	4
d' [mm]	57	passo staffe [mm]	250
d [mm]	443	A_{sw} [mm^2]	314,1593
f_{ck} [N/mm^2]	35		
f_{cd} [N/mm^2]	19,83333		
f_{yk} [N/mm^2]	450		
f_{yd} [N/mm^2]	391,3043		
θ	0,171628		
tan(θ)	0,173334		
cotan(θ)	**5,769219**		
cotan(θ)	2,5		
V_{Rsd} **[kN]**	490,1294		
V_{Rcd} **[kN]**	2317,73		
V_{Rd} [kN]	490,1294	taglio resistente	

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

Figura 13-14: Transito della locomotiva; taglio resistente della sezione trasversale

13.4.3 *Movimentazione su quattro rotaie*

Questa condizione di carico è associata alla movimentazione del materiale su carrelli. Si assume che su ciascun concio gravi al più una sola ruota per rotaia e che ciascuna ruota scarichi un peso complessivo di 75 kN. Si considera il caso di carico in cui tutte le rotaie siano contemporaneamente caricate. Assumendo una diffusione a 45° del carico concentrato fino al piano medio della soletta strutturale, l'azione è ripartita su di una superficie rettangolare di circa 100x335 cm.

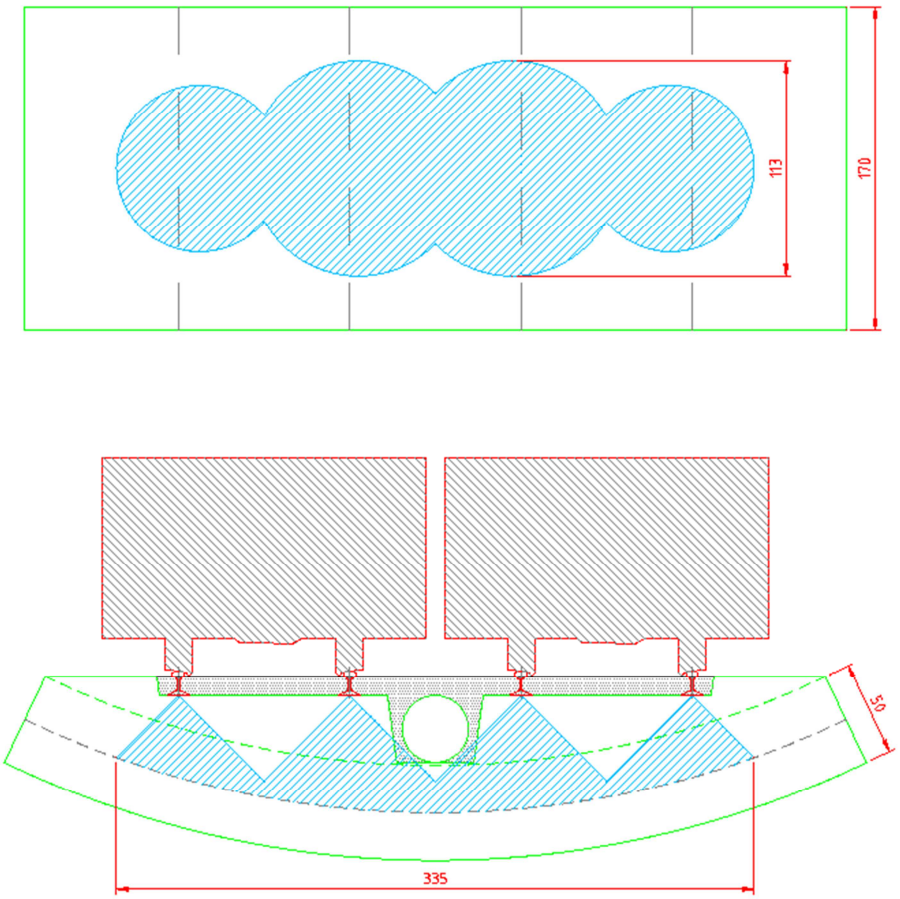


Figura 13-15: Trasporto su rotaia; diffusione dei carichi

13.4.3.1 Analisi dei carichi

La struttura è prevalentemente soggetta al carico permanente dato dal peso proprio della struttura stessa (compreso il "riempimento" non strutturale all'estradosso che completa la geometria) e l'azione accidentale dovuta al transito dei vagoni, come riassunto in tabella.

Carico	Valore	u.m.
peso proprio	25,0	kN/m^3
completamento estradosso	8,41	kN/m^2
trasporto su rotaia (carico per ruota)	75,0	kN
volta	4 800	kN/m

Tabella 13-8: Trasporto su rotaia; carichi agenti sulla struttura

In condizioni di esercizio l'azione accidentale è stata cumulata con i coefficienti da carico stradale, ovvero ψ_0 = 0,75, ψ_1 = 0,75, ψ_2 = 0,00. Inoltre, si considera che il carico associato ad ogni ruota sia già comprensivo degli effetti dinamici.

13.4.3.2 Schema di calcolo

Questa situazione di esercizio è stata analizzata con un modello agli elementi finiti di tipo bidimensionale (elementi shell) in cui l'interazione con il terreno è stata modellata alla Winkler con un letto di molle

elastico. Come già precisato sono state considerate sia la costante di sottofondo massima che quella minima stimate con la relazione di Galerkin.

13.4.3.3 Stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

Le sollecitazioni massime (o minime) restituite dal modello di calcolo nei diversi stati limite considerati sono riassunte nella tabella seguente in cui si è adottata la classica convenzione per le piastre, ovvero il momento flettente $M_{Ed,x}$ è l'azione agente sulla faccia di normale *x*. Si noti che il momento flettente di progetto in direzione *y* non è stato riportato perché in parte condizionato dalle modalità di applicazione del carico trasmesso dal rivestimento lungo i bordi. D'altro canto, valutando l'azione flettente dovuta al solo carico accidentale si otterrebbe un valore massimo pari a circa 7,0 kNm, che verifica tutte le condizioni di progetto sia ultime che di esercizio.

Comb.	$N_{Ed,x}$ (kN/m)	$M_{Ed,x}$ (kNm/m)	$M_{Ed,y}$ (kNm/m)	V_{Ed} (kN/m)
SLU	6325,0	160,0	-	140,0
SLE rara	4860,0	125,0	-	-

Tabella 13-9: Trasporto su rotaia; sollecitazioni di progetto (valore assoluto)

Le sollecitazioni di progetto sono le stesse verificate nel caso di transito della locomotiva.

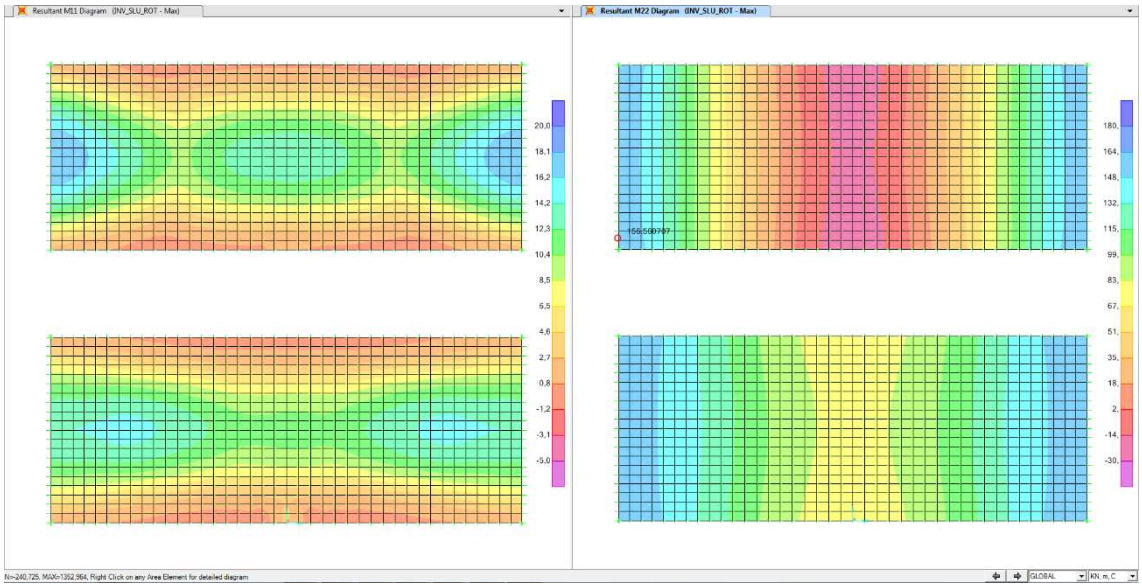


Figura 13-16: Trasporto su rotaia; azioni flettenti allo stato limite ultimo

13.4.3.4 Osservazione

La sezione più sollecitata sia a livello flessionale che di compressione è quella in corrispondenza del collegamento con la volta gettata in opera. L'azione trasmessa e la relativa eccentricità considerata risultano pertanto le azioni che "guidano" la progettazione e la verifica dell'elemento in fase di esercizio della galleria. Le diverse azioni accidentali, sebbene modificano lo stato di sollecitazione nei punti interni del concio, non risultano vincolanti ai fini delle verifiche.

13.4.3.5 Modello monodimensionale (frame)

Questa condizione di carico è stata analizzata anche con un modello di calcolo di tipo monodimensionale realizzato con elementi frame. Il carico associato al transito su rotaia, ovvero 89,55 kN/m^2 è stato

applicato, a vantaggio della sicurezza, sull'intera profondità del concio, ovvero si è considerato un carico totale uniformemente distribuito su una superficie di 3,35x1,70 m pari a 89,55·3,35·1,70 = 510 kN. La figura seguente riporta l'andamento delle sollecitazioni (inviluppo) sia in condizioni ultime che di esercizio mentre la tabella riassume le condizioni più gravose.

Comb.	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kNm)
SLU	10734,3	-173,3	-169,6
SLU	10598,8	180,1	206,3
SLU	10668,6	-214,6	-152,5
SLU	10618,5	214,6	126,8
SLU	10607,3	-10,9	-265,2
SLU	10607,3	33,3	265,2
SLE rara	8249,2	-132,2	-138,0
SLE rara	8152,7	133,5	157,8
SLE rara	8203,2	-165,2	-119,4
SLE rara	8164,6	165,2	95,4
SLE rara	8159,5	-9,1	-204,0
SLE rara	8159,5	25,8	204,0

Tabella 13-10: Trasporto su rotaia; sollecitazioni di progetto ottenute con un modello monodimensionale (azioni agenti su una sezione 170x50 cm)

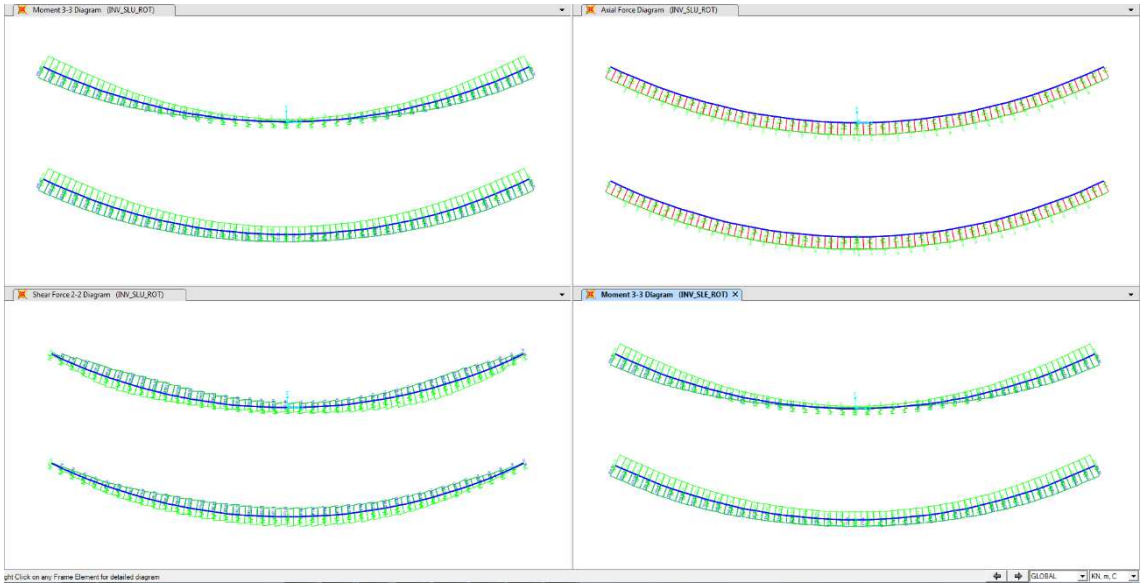


Figura 13-17: Trasporto su rotaia; diagrammi delle azioni sollecitanti calcolate con il modello FEM (SAP2000).

Le sollecitazioni di progetto ricavate con questo schema di calcolo sono compatibili con quelle ottenute con il modello bidimensionale, a conferma che il progetto è principalmente "guidato" dalle azioni associate al rivestimento finale.

13.4.4 Trasporto su gomma

Si considera un carico tandem di prima categoria, ovvero 300 kN per asse posti a interasse di 1,2 m (l'interasse tra le ruote è invece 2,0 m). Si considera una diffusione a 45° del carico concentrato fino al piano medio della soletta strutturale. Laddove i volumi di diffusione "sconfinano" nel concio adiacente si assume che la diffusione sia interrotta e che tutto il carico accidentale sia affidato al singolo concio. L'azione risulta quindi ripartita su di una superficie rettangolare di circa 170x330 cm (vista la dimensione ridotta, si considera caricata anche la striscia centrale).

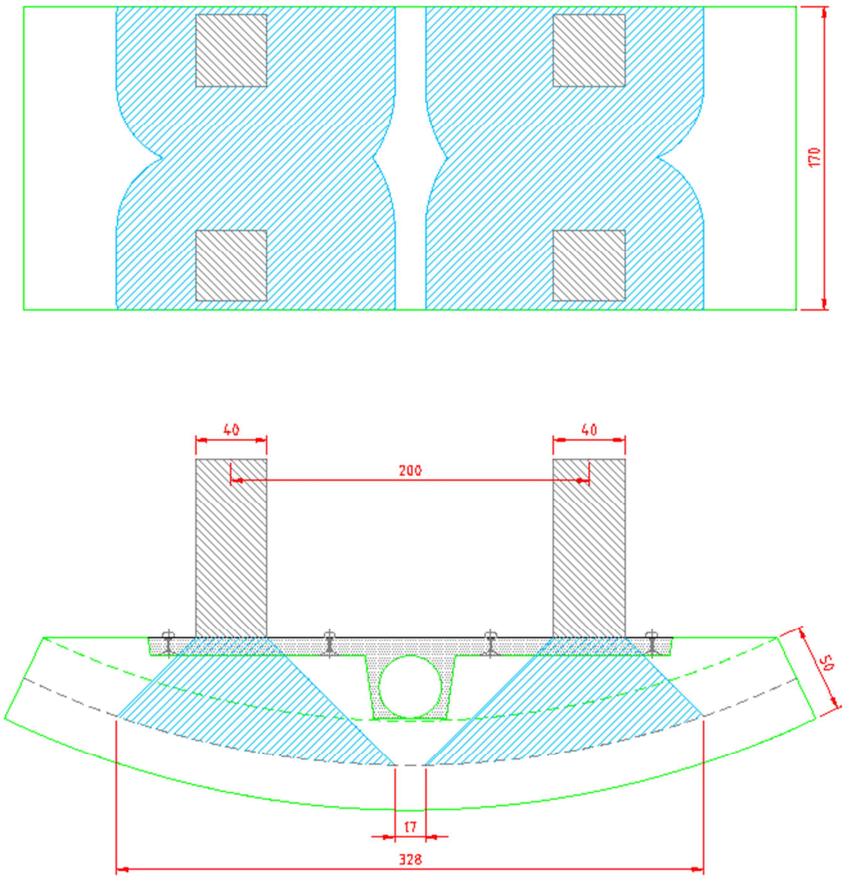


Figura 13-18: Transito su gomma; diffusione dei carichi

13.4.4.1 Analisi dei carichi

La struttura è prevalentemente soggetta al carico permanente dato dal peso proprio della struttura stessa (compreso il "riempimento" non strutturale all'estradosso che completa la geometria) e l'azione accidentale dovuta al transito dei mezzi su gomma, come riassunto in tabella.

Carico	Valore	u.m.
peso proprio	25,0	kN/m^3
completamento estradosso	8,41	kN/m^2
trasporto su gomma	181,8	kN/m
traffico	9,0	kN/m^2
volta	4 800	kN/m

Tabella 13-11: Trasporto su rotaia; carichi agenti sulla struttura

In condizioni di esercizio l'azione accidentale è stata cumulata con i coefficienti da carico stradale, ovvero ψ_0 = 0,75, ψ_1 = 0,75, ψ_2 = 0,00. Inoltre, si considera che il carico associato ad ogni ruota sia già comprensivo degli effetti dinamici.

13.4.4.2 Schema di calcolo

Questa situazione di esercizio è stata analizzata con un modello agli elementi finiti di tipo monodimensionale (elementi beam). In effetti, vista la condizione di vicolo (letto di molle) e l'uniformità del carico nella direzione del lato minore, un modello bidimensionale (elementi shell) non introdurrebbe un

affinamento del calcolo. Come già precisato, sono state considerate sia la costante di sottofondo massima che quella minima stimate con la relazione di Galerkin.

13.4.4.3 Stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE)

Le sollecitazioni massime (o minime) restituite dal modello di calcolo nei diversi stati limite considerati sono riassunte in tabella (sforzi normali positivi se di compressione).

Comb.	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kNm)
SLU	10761,0	-176,6	-154,5
SLU	10604,2	190,9	208,2
SLU	10682,9	-215,6	-148,4
SLU	10632,8	215,6	130,8
SLU	10607,3	-8,5	-265,2
SLU	10607,3	31,8	265,2
SLE rara	8266,9	-134,4	-128,0
SLE rara	8156,3	140,7	159,0
SLE rara	8212,8	-165,8	-116,7
SLE rara	8174,2	165,8	98,1
SLE rara	8159,5	-7,4	-204,0
SLE rara	8159,5	24,8	204,0

Tabella 13-12: Trasporto su gomma; sollecitazioni di progetto ottenute con un modello monodimensionale (azioni agenti su una sezione 170x50 cm)

Le sollecitazioni di progetto sono praticamente le stesse verificate nel caso di transito della locomotiva a ulteriore conferma che il progetto è principalmente "guidato" dalle azioni associate al rivestimento finale.

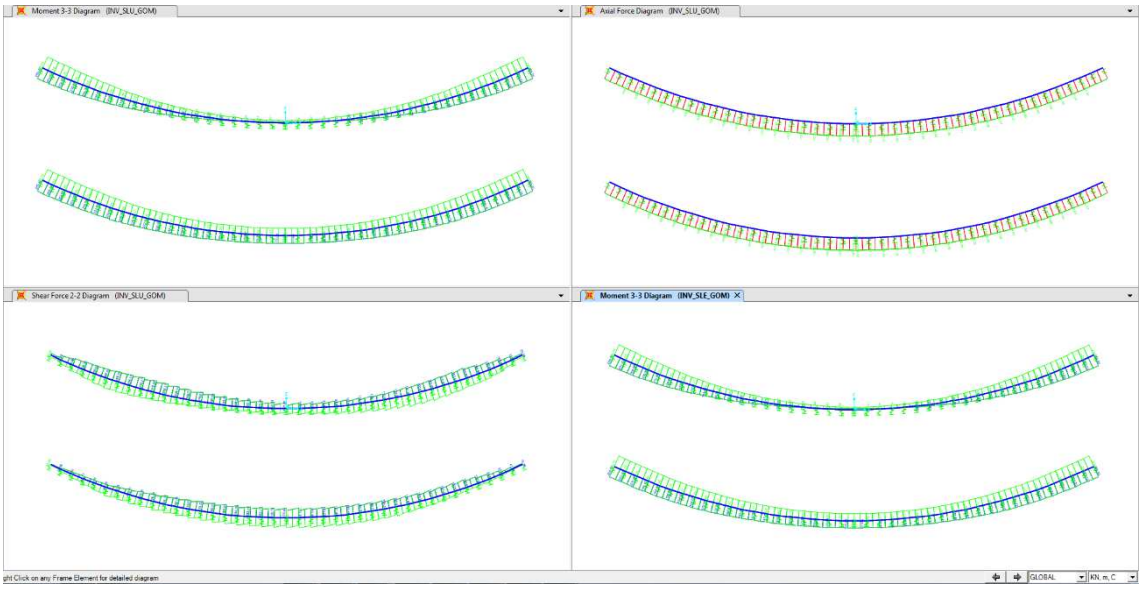


Figura 13-19: Trasporto su gomma; diagrammi delle azioni sollecitanti calcolate con il modello FEM (SAP2000)

13.5 Verifica delle ipotesi di calcolo

Si raccomanda che tutte le fasi transitorie nonché quelle di trasporto all'interno del tunnel, sia su gomma che su rotaia, soddisfino le condizioni di vincolo e di carico considerate in fase di progettazione e riportate

nel presente documento. Ogni variazione o modifica deve essere accordata previa verifica che le nuove condizioni non compromettano l'integrità strutturale e la vita attesa della struttura ai sensi della normativa vigente.

14 ALLEGATI

- **Allegato 1** – Analisi di calcolo agli elementi finiti – Sezione 1 – Allegati numerici
- **Allegato 2** – Analisi di calcolo agli elementi finiti – Sezione 2 – Allegati numerici
- **Allegato 3** – Analisi di calcolo agli elementi finiti – Sezione 3 – Allegati numerici
- **Allegato 4** – Analisi di calcolo agli elementi finiti – Sezione 4 – Allegati numerici
- **Allegato 5** – Analisi dei tetraedri instabili – Allegati numerici

Phase2 Analysis Information

Project1

Project Summary

- File Name: Montoggio_Pl strain- Calcolo _2
- Last saved with Phase2 version: 8.02
- Project Title: Project1

General Settings

- Number of Stages: 11
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.5
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.132 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: -0.066 (positive up)
- Seismic load applied in: falda piu sisma

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 6 noded triangles
- Number of elements on iniz: 5539
- Number of nodes on iniz: 11148
- Number of elements on p=1+ reset: 4206
- Number of nodes on p=1+ reset: 8562
- Number of elements on interm: 4206
- Number of nodes on interm: 8562
- Number of elements on FRONTE: 4206
- Number of nodes on FRONTE: 8562
- Number of elements on 6 sfondo: 4206
- Number of nodes on 6 sfondo: 8562
- Number of elements on LINER PLATE: 4206
- Number of nodes on LINER PLATE: 8562
- Number of elements on int spritz: 4206
- Number of nodes on int spritz: 8562
- Number of elements on maturazione spritz: 4206
- Number of nodes on maturazione spritz: 8562
- Number of elements on rive def: 4692
- Number of nodes on rive def: 9534
- Number of elements on flda: 4692
- Number of nodes on flda: 9534
- Number of elements on falda piu sisma: 4692
- Number of nodes on falda piu sisma: 9534

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

- Displacements reset after: p=1+ reset

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- Excavation Area: 93.220 m2
- Excavation Perimeter: 34.235 m
- External Boundary Area: 18673.401 m2
- External Boundary Perimeter: 621.145 m

iniz

- Excavation Area: 93.190 m2 (-0.0296991 m2 change from original area)
- Excavation Perimeter: 34.229 m (-0.00545207 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 18673.911 m2 (0.509249 m2 change from original area)
- External Boundary Perimeter: 621.123 m (-0.0217998 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: -0.54629 %

p=1+ reset

- Values not available until this stage is viewed in a window

interm

- Values not available until this stage is viewed in a window

FRONTE

- Values not available until this stage is viewed in a window

6 sfondo

- Values not available until this stage is viewed in a window

LINER PLATE

- Values not available until this stage is viewed in a window

int spritz

- Values not available until this stage is viewed in a window

maturazione spritz

- Values not available until this stage is viewed in a window

rive def

- Values not available until this stage is viewed in a window

flda

- Values not available until this stage is viewed in a window

falda piu sisma

- Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: Argillite di Montoggio (medi)

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0264 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	159.652 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	5 MPa
mb parameter	0.985481
s parameter	0.00127263
Residual mb parameter	0.49
Residual s parameter	0
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: cls 35/45

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.025 MN/m3
Elastic type	isotropic

Young's modulus	34500 MPa
Poisson's ratio	0.2
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	45 MPa
mb parameter	21
s parameter	1
Piezo to use	None
Ru value	0

Liner Properties

Liner: cls 35/45

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	0.0359375 MPa
Equivalent thickness	0.5 m
Poisson ratio	0

Concrete Properties

Thickness	0.5 m
Young's modulus	0.0345 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	45 MPa
Tensile strength	2.66 MPa

Liner: liner plate

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	42461.2 MPa
Equivalent thickness	0.164105 m
Poisson ratio	0

Reinforcement Properties

Type	I-beam(HE Europe): HE 140 B
Spacing	1 m

Section Depth	0.14 m
Area	0.008376 m2
Moment of inertia	2.719e-005 m4
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.25
Compressive strength	275 MPa
Tensile strength	275 MPa

Concrete Properties

Thickness	0.15 m
Young's modulus	32588 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	35 MPa
Tensile strength	2.33 MPa

Properties changed in iniz

- Thickness: 0 m (factor = 0)
- Young's modulus: 0 MPa (factor = 0)
- Compressive strength: 0 MPa (factor = 0)
- Tensile strength: 0 MPa (factor = 0)

Properties changed in int spritz

- Thickness: 0.15 m (factor = 1)

Properties changed in maturazione spritz

- Young's modulus: 32588 MPa (factor = 1)
- Compressive strength: 35 MPa (factor = 1)
- Tensile strength: 2.33 MPa (factor = 1)

Phase2 Analysis Information

Project1

Project Summary

- File Name: MontoggioFAGLIA_calcolo3
- Last saved with Phase2 version: 8.02
- Project Title: Project1

General Settings

- Number of Stages: 12
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as kPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.132 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: -0.066 (positive up)
- Seismic load applied in: falda+sisma

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 6 noded triangles
- Number of elements on Stage 1: 4694
- Number of nodes on Stage 1: 9571
- Number of elements on p=1+reset: 3261
- Number of nodes on p=1+reset: 6785
- Number of elements on intermedio: 3261
- Number of nodes on intermedio: 6785
- Number of elements on Fronte: 3261
- Number of nodes on Fronte: 6785
- Number of elements on 6sfondo: 3261
- Number of nodes on 6sfondo: 6785
- Number of elements on 7:liner plate: 3261
- Number of nodes on 7:liner plate: 6785
- Number of elements on 57:gettospritz: 3261
- Number of nodes on 57:gettospritz: 6785
- Number of elements on scarico: 3261
- Number of nodes on scarico: 6785
- Number of elements on maturazione spritz: 3261
- Number of nodes on maturazione spritz: 6785
- Number of elements on rive def: 3726
- Number of nodes on rive def: 7694
- Number of elements on falda: 3726
- Number of nodes on falda: 7694
- Number of elements on falda+sisma: 3726
- Number of nodes on falda+sisma: 7694

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

- Displacements reset after: p=1+reset

Material Properties

Material: Argillite_FAGLIA

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	26.4 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	81383.1 kPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	5000 kPa
mb parameter	0.689514
s parameter	0.000418942
Residual mb parameter	0.689514
Residual s parameter	0.000418942
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: cls35/45

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	25 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	3.45e+007 kPa
Poisson's ratio	0.2
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	45000 kPa
mb parameter	21
s parameter	1
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: argillite_cons

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	26.4 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	558783 kPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	10000 kPa
mb parameter	2.4637
s parameter	0.00127263
Residual mb parameter	2.4637
Residual s parameter	0.00127263
Piezo to use	None
Ru value	0

Properties changed in rive def

- Young's modulus: 81023.5 kPa (factor = 0.145)
- Compressive strength: 5000 kPa (factor = 0.5)
- mb parameter: 0.689836 (factor = 0.28)
- s parameter: 0.00039197 (factor = 0.308)
- Residual mb parameter: 0.689836 (factor = 0.28)
- Residual s parameter: 0.00039197 (factor = 0.308)

Liner Properties

Liner: liner plate

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	4.24612e+007 kPa
Equivalent thickness	0.164105 m
Poisson ratio	0

Reinforcement Properties

Type	I-beam(HE Europe): HE 140 B
Spacing	1 m
Section Depth	0.14 m
Area	0.008376 m2

Moment of inertia	2.719e-005 m4
Young's modulus	2.1e+008 kPa
Poisson ratio	0.25
Compressive strength	275000 kPa
Tensile strength	275000 kPa

Concrete Properties

Thickness	0.15 m
Young's modulus	3.2588e+007 kPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	35000 kPa
Tensile strength	2330 kPa

Properties changed in Stage 1

- Thickness: 0 m (factor = 0)
- Young's modulus: 0 kPa (factor = 0)
- Compressive strength: 0 kPa (factor = 0)
- Tensile strength: 0 kPa (factor = 0)

Properties changed in 57:gettospritz

- Thickness: 0.15 m (factor = 1)

Properties changed in maturazione spritz

- Young's modulus: 3.2588e+007 kPa (factor = 1)
- Compressive strength: 35000 kPa (factor = 1)
- Tensile strength: 2330 kPa (factor = 1)

Liner: rive def35/45

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	35.9375 kPa
Equivalent thickness	0.55 m
Poisson ratio	0

Concrete Properties

Thickness	0.55 m
Young's modulus	34.5 kPa

Poisson ratio	0.2
Compressive strength	45000 kPa
Tensile strength	2660 kPa

Phase2 Analysis Information

Project2

Project Summary

- File Name: Max copertura_Pl strain_calcolo H30_simmetrico
- Last saved with Phase2 version: 8.02
- Project Title: Project2

General Settings

- Number of Stages: 12
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 400
- Tolerance: 0.002
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.132 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: -0.066 (positive up)
- Seismic load applied in: Falda+Sisma

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 6 noded triangles
- Number of elements on Inizializzazione: 7356
- Number of nodes on Inizializzazione: 14825
- Number of elements on p=1 + reset displ: 5579
- Number of nodes on p=1 + reset displ: 11351
- Number of elements on (intermedio): 5579
- Number of nodes on (intermedio): 11351
- Number of elements on Fronte: 5579
- Number of nodes on Fronte: 11351
- Number of elements on (intermedio): 5579
- Number of nodes on (intermedio): 11351
- Number of elements on Super Swellex: 5579
- Number of nodes on Super Swellex: 11351
- Number of elements on (intermedio): 5579
- Number of nodes on (intermedio): 11351
- Number of elements on Istallazione Spritz: 5579
- Number of nodes on Istallazione Spritz: 11351
- Number of elements on Maturazione Spritz: 5579
- Number of nodes on Maturazione Spritz: 11351
- Number of elements on Rive definitivo: 6065
- Number of nodes on Rive definitivo: 12323
- Number of elements on Falda: 6065
- Number of nodes on Falda: 12323
- Number of elements on Falda+Sisma: 6065
- Number of nodes on Falda+Sisma: 12323

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

- Displacements reset after: p=1 + reset displ

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- Excavation Area: 89.830 m2
- Excavation Perimeter: 33.607 m
- External Boundary Area: 106790.943 m2
- External Boundary Perimeter: 1307.662 m

Inizializzazione

- Excavation Area: 89.830 m2 (1.06089e-005 m2 change from original area)
- Excavation Perimeter: 33.607 m (1.98446e-006 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 106790.956 m2 (0.0130379 m2 change from original area)
- External Boundary Perimeter: 1307.662 m (3.82897e-010 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: -0.014514 %

p=1 + reset displ

- Values not available until this stage is viewed in a window

(intermedio)

- Values not available until this stage is viewed in a window

Fronte

- Values not available until this stage is viewed in a window

(intermedio)

- Values not available until this stage is viewed in a window

Super Swellex

- Values not available until this stage is viewed in a window

(intermedio)

- Values not available until this stage is viewed in a window

Istallazione Spritz

- Values not available until this stage is viewed in a window

Maturazione Spritz

- Values not available until this stage is viewed in a window

Rive definitivo

- Values not available until this stage is viewed in a window

Falda

- Values not available until this stage is viewed in a window

Falda+Sisma

- Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: FMA(3) med

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.026 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	9360 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	45 MPa
mb parameter	2.8758
s parameter	0.01174
Residual mb parameter	1.4379
Residual s parameter	0
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: cls 35/45

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.025 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	34500 MPa
Poisson's ratio	0.2
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	45 MPa
mb parameter	21
s parameter	1
Piezo to use	None
Ru value	0

Liner Properties

Liner: spritz

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	33945.8 MPa
Equivalent thickness	0.1 m
Poisson ratio	0

Concrete Properties

Thickness	0.1 m
Young's modulus	32588 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	35 MPa
Tensile strength	2.33 MPa

Properties changed in Inizializzazione

- Thickness: 0 m (factor = 0)
- Young's modulus: 0 MPa (factor = 0)
- Compressive strength: 0 MPa (factor = 0)
- Tensile strength: 0 MPa (factor = 0)

Properties changed in Maturazione Spritz

- Thickness: 0.1 m (factor = 1)
- Young's modulus: 32588 MPa (factor = 1)
- Compressive strength: 35 MPa (factor = 1)
- Tensile strength: 2.33 MPa (factor = 1)

Liner: cls 35/45

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	3.60677e-005 MPa
Equivalent thickness	0.5 m
Poisson ratio	0

Concrete Properties

Thickness	0.5 m
Young's modulus	3.4625e-005 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	45 MPa
Tensile strength	2.67 MPa

Bolt Properties

Bolt name	Superswellex pm24
Color	
Bolt Type	Swellex / Split-Set bolt
Tensile Capacity	0.2 MN
Residual tensile capacity	0 MN
Tributary area	480.4 mm2
Young's modulus of bolt	210000 MPa
Bond Strength	0.3 MN/m
Residual Bond Strength	0.3 MN/m
Shear Stiffness	200 MN/m
Out-of-plane spacing	1.5 m
Face plates	attached
Pre-tensioning	0 MN
Pre-tensioning force	Constant in install stage
Bolt Model	Plastic
Allow Joints to Shear Bolt	Yes

Phase2 Analysis Information

Project2

Project Summary

- File Name: cop150_FAGLIA_calcolo_3
- Last saved with Phase2 version: 8.02
- Project Title: Project2

General Settings

- Number of Stages: 11
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.132 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: -0.066 (positive up)
- Seismic load applied in: falda piu sisma

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 6 noded triangles
- Number of elements on Inizializzazione: 3417
- Number of nodes on Inizializzazione: 6904
- Number of elements on p=1 + reset displ: 2076
- Number of nodes on p=1 + reset displ: 4304
- Number of elements on intermedio: 2076
- Number of nodes on intermedio: 4304
- Number of elements on fronte: 2076
- Number of nodes on fronte: 4304
- Number of elements on 6 sfondo: 2076
- Number of nodes on 6 sfondo: 4304
- Number of elements on liner plate: 2076
- Number of nodes on liner plate: 4304
- Number of elements on inst spritz: 2076
- Number of nodes on inst spritz: 4304
- Number of elements on maturazione spritz: 2076
- Number of nodes on maturazione spritz: 4304
- Number of elements on rive def: 2564
- Number of nodes on rive def: 5278
- Number of elements on falda: 2564
- Number of nodes on falda: 5278
- Number of elements on falda piu sisma: 2564
- Number of nodes on falda piu sisma: 5278

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

- Displacements reset after: p=1 + reset displ

Material Properties

Material: FMA FAGLIA

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.026 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	651.065 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	20 MPa
mb parameter	0.98502
s parameter	0.000418942
Residual mb parameter	0.98502
Residual s parameter	0.000418942
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: consolidamento

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.026 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	1596.52 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	25 MPa
mb parameter	1.40783
s parameter	0.00127263
Residual mb parameter	1.40783
Residual s parameter	0.00127263
Piezo to use	None
Ru value	0

Properties changed in rive def

- Young's modulus: 649.584 MPa (factor = 0.406875)
- Compressive strength: 20 MPa (factor = 0.8)
- mb parameter: 0.984881 (factor = 0.699574)
- s parameter: 0.000391578 (factor = 0.307692)
- Residual mb parameter: 0.984881 (factor = 0.699574)
- Residual s parameter: 0.000391578 (factor = 0.307692)

Material: cls 35/45

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.025 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	34500 MPa
Poisson's ratio	0.2
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	45 MPa
mb parameter	21
s parameter	1
Piezo to use	None
Ru value	0

Liner Properties

Liner: liner plate

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	42461.2 MPa
Equivalent thickness	0.164105 m
Poisson ratio	0

Reinforcement Properties

Type	I-beam(HE Europe): HE 140 B
Spacing	1 m
Section Depth	0.14 m
Area	0.008376 m2
Moment of inertia	2.719e-005 m4
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.25

Compressive strength	275 MPa
Tensile strength	275 MPa

Concrete Properties

Thickness	0.15 m
Young's modulus	32588 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	35 MPa
Tensile strength	2.33 MPa

Properties changed in Inizializzazione

- Thickness: 0 m (factor = 0)
- Young's modulus: 0 MPa (factor = 0)
- Compressive strength: 0 MPa (factor = 0)
- Tensile strength: 0 MPa (factor = 0)

Properties changed in inst spritz

- Thickness: 0.15 m (factor = 1)

Properties changed in maturazione spritz

- Young's modulus: 32588 MPa (factor = 1)
- Compressive strength: 35 MPa (factor = 1)
- Tensile strength: 2.33 MPa (factor = 1)

Liner: cls 35/45

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	0.0359375 MPa
Equivalent thickness	0.55 m
Poisson ratio	0

Concrete Properties

Thickness	0.55 m
Young's modulus	0.0345 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	45 MPa
Tensile strength	2.66 MPa

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 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: 43°
- Dip Direction: 301°

Joint 2
- Dip: 61°
- Dip Direction: 029°

Joint 3
- Dip: 39°
- Dip Direction: 120°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 40°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 146.887
Wedge Volume: 0.102 m3
Wedge Weight: 0.003 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0030 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.28 m

Floor wedge [3]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 1.070 m3
Wedge Weight: 0.028 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.84 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 1.709
Wedge Volume: 5.682 m3
Wedge Weight: 0.151 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1755 MN
Driving Force: 0.1027 MN
Apex Height: 1.83 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 1.309
Wedge Volume: 5.786 m3
Wedge Weight: 0.153 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1188 MN
Driving Force: 0.0907 MN
Apex Height: 1.83 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 3.291
Wedge Volume: 1.078 m3
Wedge Weight: 0.029 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0822 MN
Driving Force: 0.0250 MN
Apex Height: 0.85 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 31.469

Wedge Volume: 0.096 m3
Wedge Weight: 0.003 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0801 MN
Driving Force: 0.0025 MN
Apex Height: 0.28 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 1.154
Wedge Volume: 4.160 m3
Wedge Weight: 0.110 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0818 MN
Driving Force: 0.0709 MN
Apex Height: 1.25 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.036
Wedge Volume: 4.160 m3
Wedge Weight: 0.110 MN
Support Pressure: 0.0006 MN
Resisting Force: 0.0719 MN
Driving Force: 0.0694 MN
Apex Height: 1.25 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 4b_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: 28°
- Dip Direction: 290°

Joint 2
- Dip: 58°
- Dip Direction: 141°

Joint 3
- Dip: 55°
- Dip Direction: 069°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 40°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 3.456 m3
Wedge Weight: 0.092 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 1.09 m

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 5.090
Wedge Volume: 0.925 m3
Wedge Weight: 0.025 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0258 MN
Driving Force: 0.0051 MN
Apex Height: 0.60 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 1.578
Wedge Volume: 1.954 m3
Wedge Weight: 0.052 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0384 MN
Driving Force: 0.0243 MN
Apex Height: 0.84 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 0.789
Wedge Volume: 2.019 m3
Wedge Weight: 0.054 MN
Support Pressure: 0.0013 MN
Resisting Force: 0.0326 MN
Driving Force: 0.0413 MN
Apex Height: 0.86 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 5.213
Wedge Volume: 0.929 m3
Wedge Weight: 0.025 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1052 MN
Driving Force: 0.0202 MN
Apex Height: 0.60 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 4.548

Wedge Volume: 3.375 m3
Wedge Weight: 0.089 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.4068 MN
Driving Force: 0.0894 MN
Apex Height: 1.09 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 3.889
Wedge Volume: 5.474 m3
Wedge Weight: 0.145 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1458 MN
Driving Force: 0.0375 MN
Apex Height: 1.58 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.524
Wedge Volume: 5.474 m3
Wedge Weight: 0.145 MN
Support Pressure: 0.0067 MN
Resisting Force: 0.0645 MN
Driving Force: 0.1230 MN
Apex Height: 1.58 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 4b_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: 28°
- Dip Direction: 290°

Joint 2
- Dip: 58°
- Dip Direction: 141°

Joint 3
- Dip: 69°
- Dip Direction: 239°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 40°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 5.090
Wedge Volume: 0.014 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0004 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.11 m

Lower Left wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 31.276 m3
Wedge Weight: 0.829 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 3.74 m

Lower Right wedge [3]
Factor of Safety: 1.578
Wedge Volume: 0.577 m3
Wedge Weight: 0.015 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0113 MN
Driving Force: 0.0072 MN
Apex Height: 0.58 m

Upper Left wedge [6]
Factor of Safety: 10.290
Wedge Volume: 0.577 m3
Wedge Weight: 0.015 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1335 MN
Driving Force: 0.0130 MN
Apex Height: 0.58 m

Upper Right wedge [7]
Factor of Safety: 1.727
Wedge Volume: 31.219 m3
Wedge Weight: 0.827 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.3337 MN
Driving Force: 0.7724 MN
Apex Height: 3.74 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 0.000

Wedge Volume: 0.013 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0010 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0003 MN
Apex Height: 0.09 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 2.554
Wedge Volume: 53.514 m3
Wedge Weight: 1.418 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.5309 MN
Driving Force: 0.5995 MN
Apex Height: 4.90 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.878
Wedge Volume: 53.479 m3
Wedge Weight: 1.417 MN
Support Pressure: 0.0051 MN
Resisting Force: 0.9783 MN
Driving Force: 1.1146 MN
Apex Height: 4.90 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 4b_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: 28°
- Dip Direction: 290°

Joint 2
- Dip: 55°
- Dip Direction: 069°

Joint 3
- Dip: 69°
- Dip Direction: 239°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 40°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.173 MN
- Plate Capacity: 0.1 MN
- Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
- Plate Capacity: 0.1 MN
- Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
- No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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
  - Perimeter Bolt Pattern: 2
    - Property: Bolt Property 2
    - Strength type: Grouted Dowel
    - Bolt Length: 4.50 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

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure
No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 1.562 m3
Wedge Weight: 0.041 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.82 m

Lower Right wedge [3]
Factor of Safety: 1.578
Wedge Volume: 0.071 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0014 MN
Driving Force: 0.0009 MN
Apex Height: 0.20 m

Upper Right wedge [4]
Factor of Safety: 2.554
Wedge Volume: 13.272 m3
Wedge Weight: 0.352 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.3797 MN
Driving Force: 0.1487 MN
Apex Height: 2.22 m

Lower Left wedge [5]
Factor of Safety: 10.891
Wedge Volume: 13.241 m3
Wedge Weight: 0.351 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.6065 MN
Driving Force: 0.0557 MN
Apex Height: 2.21 m

Upper Left wedge [6]
Factor of Safety: 134.555
Wedge Volume: 0.075 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2187 MN
Driving Force: 0.0016 MN
Apex Height: 0.19 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 4.622

Wedge Volume: 1.598 m3
Wedge Weight: 0.042 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1957 MN
Driving Force: 0.0423 MN
Apex Height: 0.83 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 2.554
Wedge Volume: 133.639 m3
Wedge Weight: 3.541 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.8230 MN
Driving Force: 1.4971 MN
Apex Height: 12.68 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 10.891
Wedge Volume: 133.679 m3
Wedge Weight: 3.542 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 6.1230 MN
Driving Force: 0.5622 MN
Apex Height: 12.68 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 4b_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: 58°
- Dip Direction: 141°

Joint 2
- Dip: 55°
- Dip Direction: 069°

Joint 3
- Dip: 69°
- Dip Direction: 239°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 40°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: -0.25 m
Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 4.50 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: 1.25 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Lower Left wedge [1]
Factor of Safety: 10.891
Wedge Volume: 0.039 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0018 MN
Driving Force: 0.0002 MN
Apex Height: 0.18 m

Lower Left wedge [2]
Factor of Safety: 0.789
Wedge Volume: 0.163 m3
Wedge Weight: 0.004 MN
Support Pressure: 0.0006 MN
Resisting Force: 0.0026 MN
Driving Force: 0.0033 MN
Apex Height: 0.36 m

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 1.233
Wedge Volume: 29.793 m3
Wedge Weight: 0.790 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.8258 MN
Driving Force: 0.6695 MN
Apex Height: 4.04 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 29.647 m3
Wedge Weight: 0.786 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 4.03 m

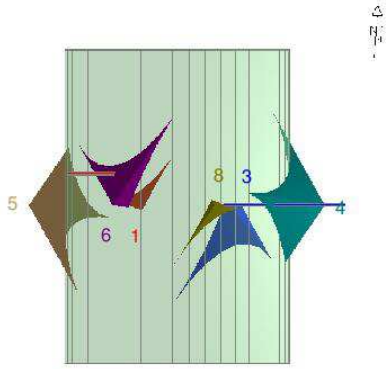
Upper Right wedge [7]
Factor of Safety: 25.680
Wedge Volume: 0.157 m3
Wedge Weight: 0.004 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0997 MN
Driving Force: 0.0039 MN
Apex Height: 0.35 m

Upper Right wedge [8]
Factor of Safety: 50.767

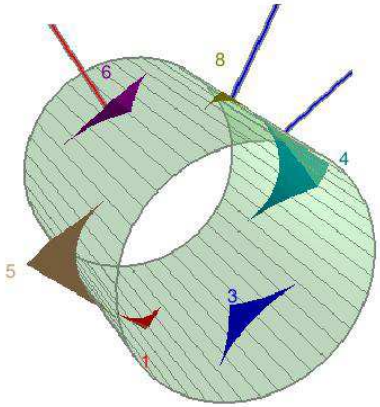
Wedge Volume: 0.039 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0521 MN
Driving Force: 0.0010 MN
Apex Height: 0.19 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 6.111 m3
Wedge Weight: 0.162 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 1.82 m

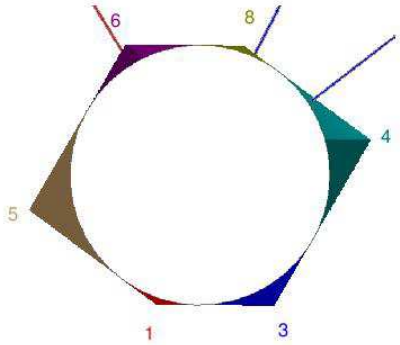
Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.524
Wedge Volume: 6.111 m3
Wedge Weight: 0.162 MN
Support Pressure: 0.0077 MN
Resisting Force: 0.0720 MN
Driving Force: 0.1373 MN
Apex Height: 1.82 m



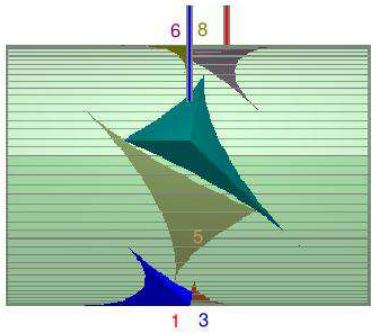
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 146.887
- Wedge Volume: 0.102 m3
- Wedge Weight: 0.003 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0030 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.28 m

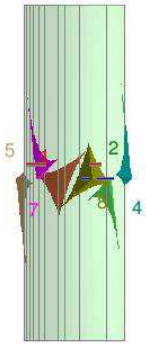
Floor wedge [3]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 1.070 m3
- Wedge Weight: 0.028 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.84 m

Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 1.709
- Wedge Volume: 5.682 m3
- Wedge Weight: 0.151 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1755 MN
- Driving Force: 0.1027 MN
- Apex Height: 1.83 m

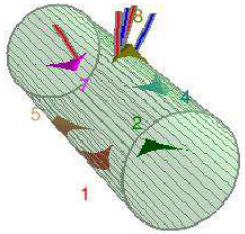
Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 1.309
- Wedge Volume: 5.786 m3
- Wedge Weight: 0.153 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1188 MN
- Driving Force: 0.0907 MN
- Apex Height: 1.83 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 3.291
- Wedge Volume: 1.078 m3
- Wedge Weight: 0.029 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0822 MN
- Driving Force: 0.0250 MN
- Apex Height: 0.85 m

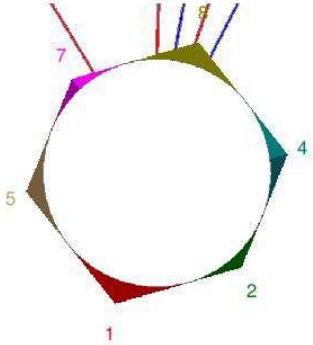
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 31.469
- Wedge Volume: 0.096 m3



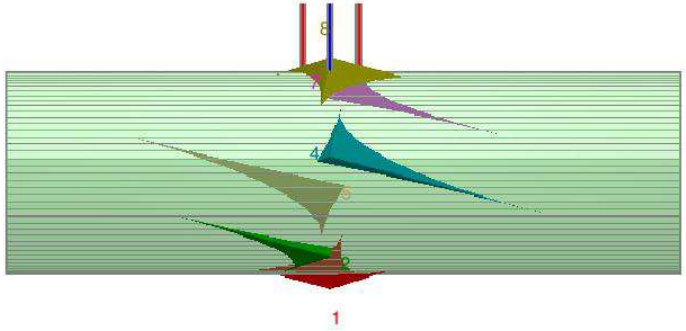
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 3.456 m3
- Wedge Weight: 0.092 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 1.09 m

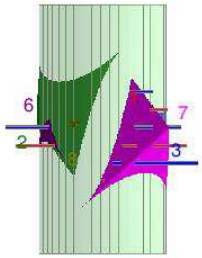
Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 5.090
- Wedge Volume: 0.925 m3
- Wedge Weight: 0.025 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0258 MN
- Driving Force: 0.0051 MN
- Apex Height: 0.60 m

Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 1.578
- Wedge Volume: 1.954 m3
- Wedge Weight: 0.052 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0384 MN
- Driving Force: 0.0243 MN
- Apex Height: 0.84 m

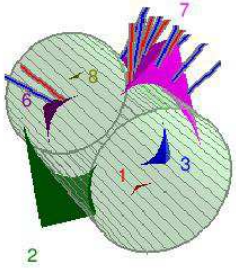
Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 0.789
- Wedge Volume: 2.019 m3
- Wedge Weight: 0.054 MN
- Support Pressure: 0.0013 MN
- Resisting Force: 0.0326 MN
- Driving Force: 0.0413 MN
- Apex Height: 0.86 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 5.213
- Wedge Volume: 0.929 m3
- Wedge Weight: 0.025 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1052 MN
- Driving Force: 0.0202 MN
- Apex Height: 0.60 m

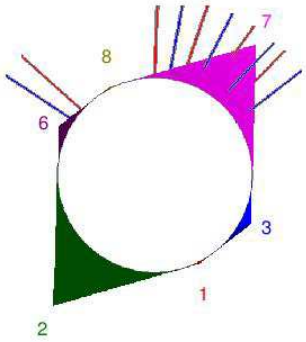
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 4.548
- Wedge Volume: 3.375 m3



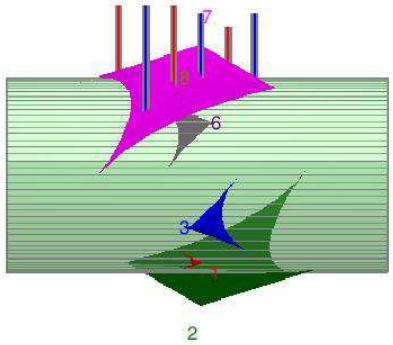
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 5.090
- Wedge Volume: 0.014 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0004 MN
- Driving Force: 0.0001 MN
- Apex Height: 0.11 m

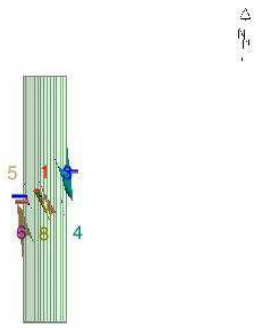
Lower Left wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 31.276 m3
- Wedge Weight: 0.829 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 3.74 m

Lower Right wedge [3]
- Factor of Safety: 1.578
- Wedge Volume: 0.577 m3
- Wedge Weight: 0.015 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0113 MN
- Driving Force: 0.0072 MN
- Apex Height: 0.58 m

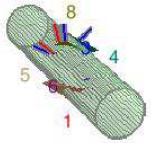
Upper Left wedge [6]
- Factor of Safety: 10.290
- Wedge Volume: 0.577 m3
- Wedge Weight: 0.015 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1335 MN
- Driving Force: 0.0130 MN
- Apex Height: 0.58 m

Upper Right wedge [7]
- Factor of Safety: 1.727
- Wedge Volume: 31.219 m3
- Wedge Weight: 0.827 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.3337 MN
- Driving Force: 0.7724 MN
- Apex Height: 3.74 m

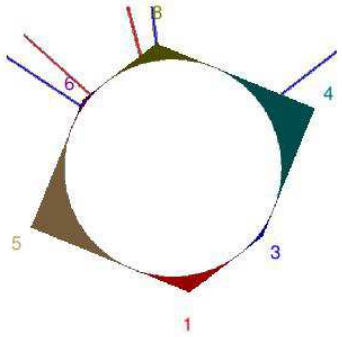
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 0.000
- Wedge Volume: 0.013 m3



Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 1.562 m3
- Wedge Weight: 0.041 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.82 m

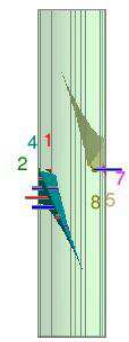
Lower Right wedge [3]
- Factor of Safety: 1.578
- Wedge Volume: 0.071 m3
- Wedge Weight: 0.002 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0014 MN
- Driving Force: 0.0009 MN
- Apex Height: 0.20 m

Upper Right wedge [4]
- Factor of Safety: 2.554
- Wedge Volume: 13.272 m3
- Wedge Weight: 0.352 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.3797 MN
- Driving Force: 0.1487 MN
- Apex Height: 2.22 m

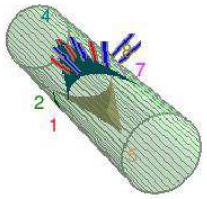
Lower Left wedge [5]
- Factor of Safety: 10.891
- Wedge Volume: 13.241 m3
- Wedge Weight: 0.351 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.6065 MN
- Driving Force: 0.0557 MN
- Apex Height: 2.21 m

Upper Left wedge [6]
- Factor of Safety: 134.555
- Wedge Volume: 0.075 m3
- Wedge Weight: 0.002 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.2187 MN
- Driving Force: 0.0016 MN
- Apex Height: 0.19 m

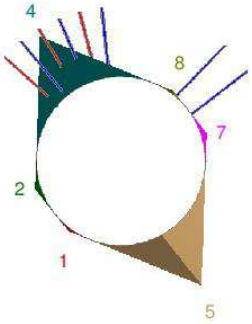
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 4.622
- Wedge Volume: 1.598 m3



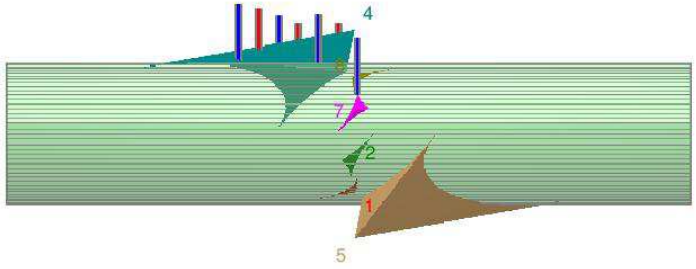
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Lower Left wedge [1]
- Factor of Safety: 10.891
- Wedge Volume: 0.039 m3
- Wedge Weight: 0.001 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0018 MN
- Driving Force: 0.0002 MN
- Apex Height: 0.18 m

Lower Left wedge [2]
- Factor of Safety: 0.789
- Wedge Volume: 0.163 m3
- Wedge Weight: 0.004 MN
- Support Pressure: 0.0006 MN
- Resisting Force: 0.0026 MN
- Driving Force: 0.0033 MN
- Apex Height: 0.36 m

Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 1.233
- Wedge Volume: 29.793 m3
- Wedge Weight: 0.790 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.8258 MN
- Driving Force: 0.6695 MN
- Apex Height: 4.04 m

Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 29.647 m3
- Wedge Weight: 0.786 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 4.03 m

Upper Right wedge [7]
- Factor of Safety: 25.680
- Wedge Volume: 0.157 m3
- Wedge Weight: 0.004 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0997 MN
- Driving Force: 0.0039 MN
- Apex Height: 0.35 m

Upper Right wedge [8]
- Factor of Safety: 50.767
- Wedge Volume: 0.039 m3

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 5_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: 30°
- Dip Direction: 030°

Joint 2
- Dip: 25°
- Dip Direction: 170°

Joint 3
- Dip: 73°
- Dip Direction: 194°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Lower Right wedge [3]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 2228.545 m3
Wedge Weight: 59.056 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 118.71 m

Upper Left wedge [6]
Factor of Safety: 6.417
Wedge Volume: 2225.830 m3
Wedge Weight: 58.985 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 80.4744 MN
Driving Force: 12.5406 MN
Apex Height: 118.66 m

Roof wedge [7]
Factor of Safety: 0.248
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.00 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 46.932 m3
Wedge Weight: 1.244 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 11.34 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 6.392
Wedge Volume: 46.932 m3
Wedge Weight: 1.244 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.6902 MN
Driving Force: 0.2644 MN
Apex Height: 11.34 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 5_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: 30°
- Dip Direction: 030°

Joint 2
- Dip: 25°
- Dip Direction: 170°

Joint 3
- Dip: 75°
- Dip Direction: 144°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 5.092
Wedge Volume: 0.004 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0001 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.07 m

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 0.017 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.16 m

Upper Left wedge [3]
Factor of Safety: 2.351
Wedge Volume: 87.497 m3
Wedge Weight: 2.319 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.4059 MN
Driving Force: 1.0234 MN
Apex Height: 8.87 m

Lower Right wedge [6]
Factor of Safety: 7.116
Wedge Volume: 87.461 m3
Wedge Weight: 2.318 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.6943 MN
Driving Force: 0.5192 MN
Apex Height: 8.87 m

Roof wedge [7]
Factor of Safety: 0.217
Wedge Volume: 0.013 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0012 MN
Resisting Force: 0.0001 MN
Driving Force: 0.0003 MN
Apex Height: 0.14 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 0.000

Wedge Volume: 0.002 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0006 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.07 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 1.403
Wedge Volume: 7.315 m3
Wedge Weight: 0.194 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1359 MN
Driving Force: 0.0969 MN
Apex Height: 1.80 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.737
Wedge Volume: 7.315 m3
Wedge Weight: 0.194 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1423 MN
Driving Force: 0.0819 MN
Apex Height: 1.80 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 5_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: 30°
- Dip Direction: 030°

Joint 2
- Dip: 73°
- Dip Direction: 194°

Joint 3
- Dip: 75°
- Dip Direction: 144°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 8.776
Wedge Volume: 0.004 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0001 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.08 m

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 6.786 m3
Wedge Weight: 0.180 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.80 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: 2.008
Wedge Volume: 0.588 m3
Wedge Weight: 0.016 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0138 MN
Driving Force: 0.0069 MN
Apex Height: 0.89 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 2.851
Wedge Volume: 0.592 m3
Wedge Weight: 0.016 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0428 MN
Driving Force: 0.0150 MN
Apex Height: 0.90 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 1.565
Wedge Volume: 6.724 m3
Wedge Weight: 0.178 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2694 MN
Driving Force: 0.1721 MN
Apex Height: 2.80 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 0.000

Wedge Volume: 0.004 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0008 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.09 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 1.403
Wedge Volume: 22.520 m3
Wedge Weight: 0.597 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.4185 MN
Driving Force: 0.2984 MN
Apex Height: 1.97 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.281
Wedge Volume: 22.593 m3
Wedge Weight: 0.599 MN
Support Pressure: 0.0119 MN
Resisting Force: 0.1601 MN
Driving Force: 0.5703 MN
Apex Height: 1.97 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 5_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: 25°
- Dip Direction: 170°

Joint 2
- Dip: 73°
- Dip Direction: 194°

Joint 3
- Dip: 75°
- Dip Direction: 144°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
- Bolt Type: Grouted Dowel
- Tensile Capacity: 0.173 MN
- Plate Capacity: 0.1 MN
- Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
- Plate Capacity: 0.1 MN
- Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
- No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 1.70 m
  - Perimeter Bolt Pattern: 2
    - Property: Bolt Property 2
    - Strength type: Grouted Dowel
    - Bolt Length: 4.50 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: 0.20 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 5.874
Wedge Volume: 1.317 m3
Wedge Weight: 0.035 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0459 MN
Driving Force: 0.0078 MN
Apex Height: 1.35 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: 6.392
Wedge Volume: 1.613 m3
Wedge Weight: 0.043 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0581 MN
Driving Force: 0.0091 MN
Apex Height: 1.48 m

Floor wedge [4]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 0.017 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.19 m

Roof wedge [5]
Factor of Safety: 215.050
Wedge Volume: 0.017 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0930 MN
Driving Force: 0.0004 MN
Apex Height: 0.18 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 1.365
Wedge Volume: 1.650 m3
Wedge Weight: 0.044 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0571 MN
Driving Force: 0.0418 MN
Apex Height: 1.50 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 3.917

Wedge Volume: 1.282 m3
Wedge Weight: 0.034 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1285 MN
Driving Force: 0.0328 MN
Apex Height: 1.33 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 30.235 m3
Wedge Weight: 0.801 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.59 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.281
Wedge Volume: 30.307 m3
Wedge Weight: 0.803 MN
Support Pressure: 0.0156 MN
Resisting Force: 0.2147 MN
Driving Force: 0.7650 MN
Apex Height: 2.59 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 5b.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: 26°
- Dip Direction: 280°

Joint 2
- Dip: 70°
- Dip Direction: 120°

Joint 3
- Dip: 69°
- Dip Direction: 160°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 7.725
Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.02 m

Floor wedge [2]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 9.038 m3
Wedge Weight: 0.240 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.49 m

Lower Right wedge [3]
Factor of Safety: 2.553
Wedge Volume: 3.533 m3
Wedge Weight: 0.094 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0853 MN
Driving Force: 0.0334 MN
Apex Height: 1.59 m

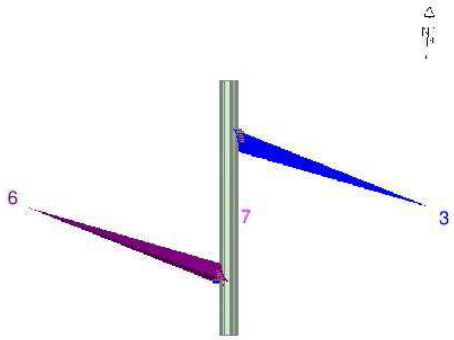
Upper Left wedge [6]
Factor of Safety: 4.289
Wedge Volume: 3.493 m3
Wedge Weight: 0.093 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.3730 MN
Driving Force: 0.0870 MN
Apex Height: 1.59 m

Roof wedge [7]
Factor of Safety: 2.281
Wedge Volume: 8.889 m3
Wedge Weight: 0.236 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.5373 MN
Driving Force: 0.2355 MN
Apex Height: 2.47 m

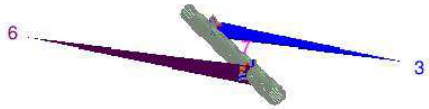
Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable

Wedge Volume: 25.973 m3
Wedge Weight: 0.688 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 3.06 m

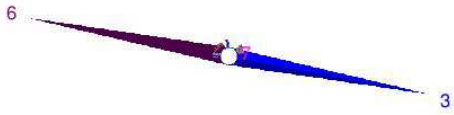
Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.311
Wedge Volume: 25.803 m3
Wedge Weight: 0.684 MN
Support Pressure: 0.0186 MN
Resisting Force: 0.1984 MN
Driving Force: 0.6384 MN
Apex Height: 3.06 m



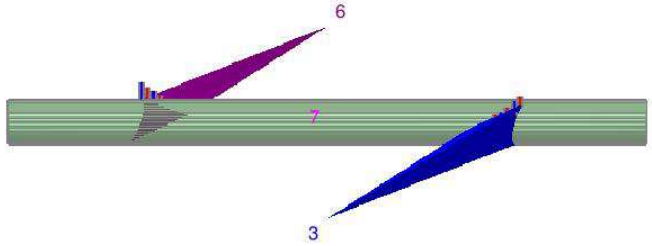
Top



Perspective



Front



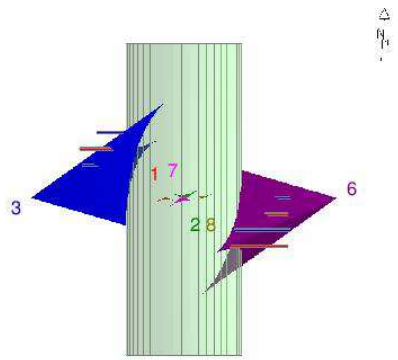
Side

Wedge Information

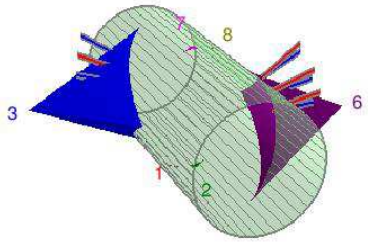
Lower Right wedge [3]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 2228.545 m3
- Wedge Weight: 59.056 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 118.71 m

Upper Left wedge [6]
- Factor of Safety: 6.417
- Wedge Volume: 2225.830 m3
- Wedge Weight: 58.985 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 80.4744 MN
- Driving Force: 12.5406 MN
- Apex Height: 118.66 m

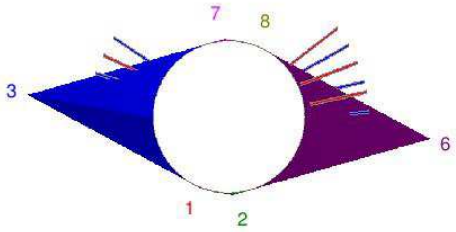
Roof wedge [7]
- Factor of Safety: 0.248
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.00 m



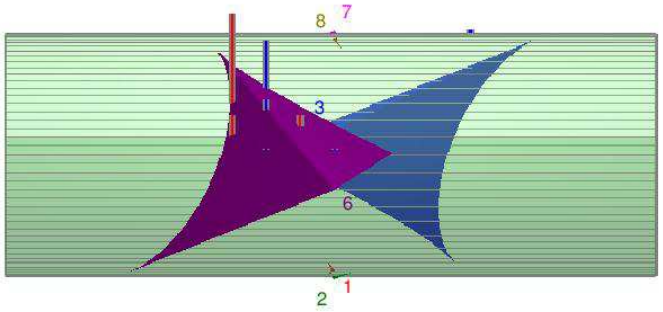
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 5.092
- Wedge Volume: 0.004 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0001 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.07 m

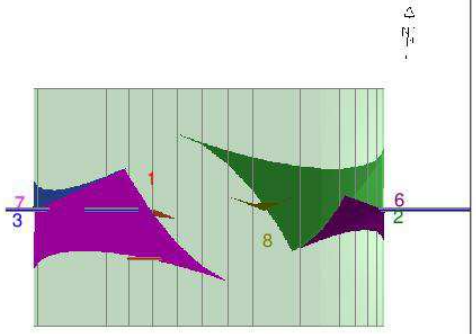
Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 0.017 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.16 m

Upper Left wedge [3]
- Factor of Safety: 2.351
- Wedge Volume: 87.497 m3
- Wedge Weight: 2.319 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 2.4059 MN
- Driving Force: 1.0234 MN
- Apex Height: 8.87 m

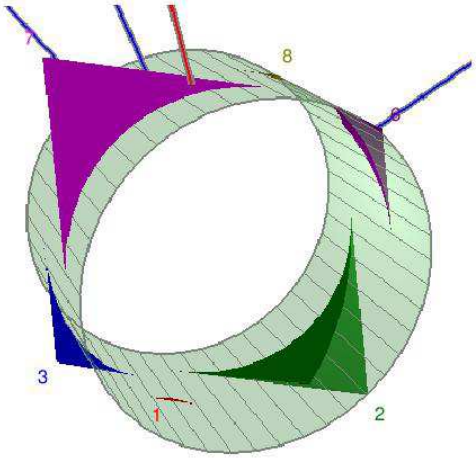
Lower Right wedge [6]
- Factor of Safety: 7.116
- Wedge Volume: 87.461 m3
- Wedge Weight: 2.318 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 3.6943 MN
- Driving Force: 0.5192 MN
- Apex Height: 8.87 m

Roof wedge [7]
- Factor of Safety: 0.217
- Wedge Volume: 0.013 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0012 MN
- Resisting Force: 0.0001 MN
- Driving Force: 0.0003 MN
- Apex Height: 0.14 m

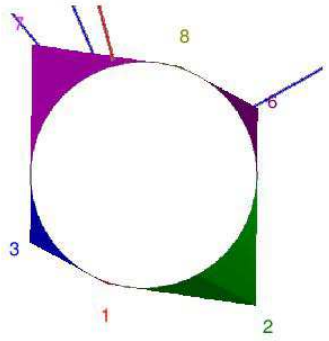
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 0.000
- Wedge Volume: 0.002 m3



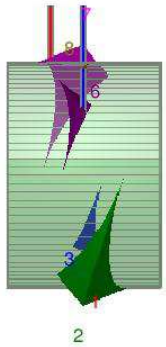
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 8.776
- Wedge Volume: 0.004 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0001 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.08 m

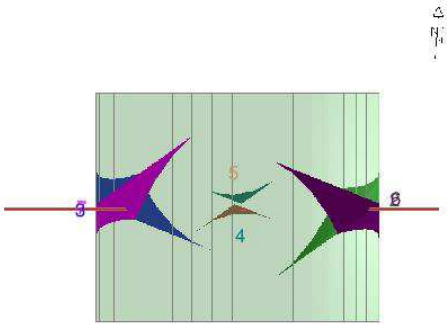
Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 6.786 m3
- Wedge Weight: 0.180 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 2.80 m

Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: 2.008
- Wedge Volume: 0.588 m3
- Wedge Weight: 0.016 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0138 MN
- Driving Force: 0.0069 MN
- Apex Height: 0.89 m

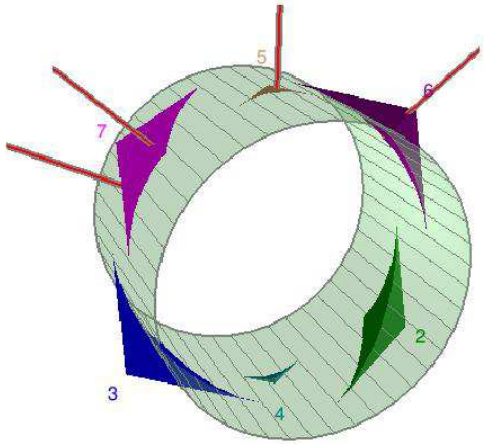
Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 2.851
- Wedge Volume: 0.592 m3
- Wedge Weight: 0.016 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0428 MN
- Driving Force: 0.0150 MN
- Apex Height: 0.90 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 1.565
- Wedge Volume: 6.724 m3
- Wedge Weight: 0.178 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.2694 MN
- Driving Force: 0.1721 MN
- Apex Height: 2.80 m

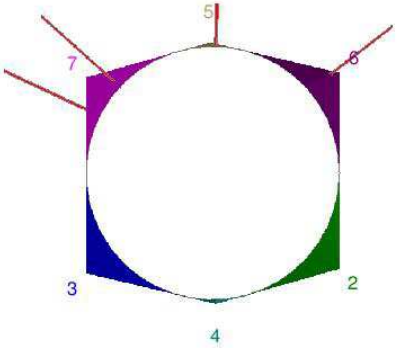
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 0.000
- Wedge Volume: 0.004 m3



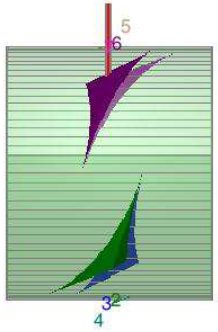
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 5.874
- Wedge Volume: 1.317 m3
- Wedge Weight: 0.035 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0459 MN
- Driving Force: 0.0078 MN
- Apex Height: 1.35 m

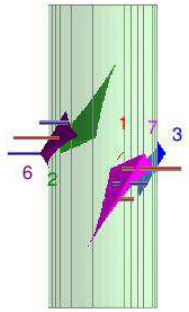
Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: 6.392
- Wedge Volume: 1.613 m3
- Wedge Weight: 0.043 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0581 MN
- Driving Force: 0.0091 MN
- Apex Height: 1.48 m

Floor wedge [4]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 0.017 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.19 m

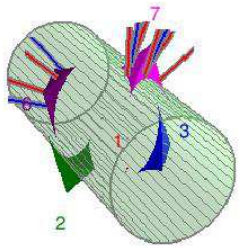
Roof wedge [5]
- Factor of Safety: 215.050
- Wedge Volume: 0.017 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0930 MN
- Driving Force: 0.0004 MN
- Apex Height: 0.18 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 1.365
- Wedge Volume: 1.650 m3
- Wedge Weight: 0.044 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0571 MN
- Driving Force: 0.0418 MN
- Apex Height: 1.50 m

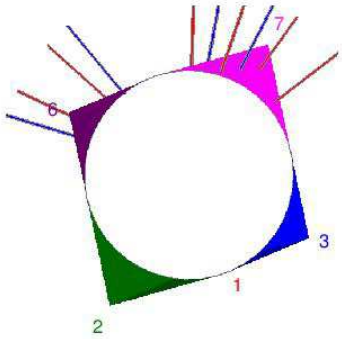
Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 3.917
- Wedge Volume: 1.282 m3



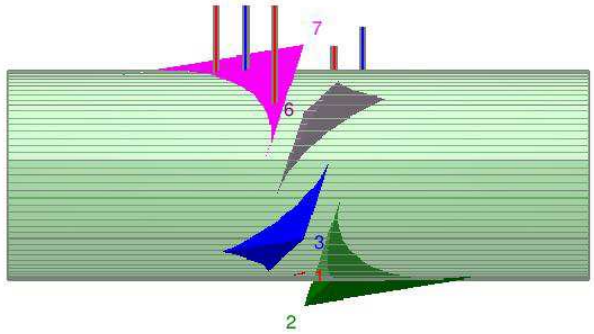
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 7.725
- Wedge Volume: 0.001 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.02 m

Floor wedge [2]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 9.038 m3
- Wedge Weight: 0.240 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 2.49 m

Lower Right wedge [3]
- Factor of Safety: 2.553
- Wedge Volume: 3.533 m3
- Wedge Weight: 0.094 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0853 MN
- Driving Force: 0.0334 MN
- Apex Height: 1.59 m

Upper Left wedge [6]
- Factor of Safety: 4.289
- Wedge Volume: 3.493 m3
- Wedge Weight: 0.093 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.3730 MN
- Driving Force: 0.0870 MN
- Apex Height: 1.59 m

Roof wedge [7]
- Factor of Safety: 2.281
- Wedge Volume: 8.889 m3
- Wedge Weight: 0.236 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.5373 MN
- Driving Force: 0.2355 MN
- Apex Height: 2.47 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6_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: 44°
- 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: 46°
- Dip Direction: 186°

Joint 2
- Dip: 61°
- Dip Direction: 314°

Joint 3
- Dip: 57°
- Dip Direction: 002°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Lower Right wedge [1]
Factor of Safety: 29.934
Wedge Volume: 1.438 m3
Wedge Weight: 0.038 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0493 MN
Driving Force: 0.0016 MN
Apex Height: 0.75 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 91.052 m3
Wedge Weight: 2.413 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 5.74 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 1.330
Wedge Volume: 90.375 m3
Wedge Weight: 2.395 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 2.7861 MN
Driving Force: 2.0947 MN
Apex Height: 5.72 m

Upper Left wedge [8]
Factor of Safety: 5.478
Wedge Volume: 1.546 m3
Wedge Weight: 0.041 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2244 MN
Driving Force: 0.0410 MN
Apex Height: 0.77 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 0.526
Wedge Volume: 13.714 m3
Wedge Weight: 0.363 MN
Support Pressure: 0.0131 MN
Resisting Force: 0.1603 MN
Driving Force: 0.3048 MN
Apex Height: 2.81 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 2.027

Wedge Volume: 13.709 m3
Wedge Weight: 0.363 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.3655 MN
Driving Force: 0.1803 MN
Apex Height: 2.81 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6_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: 44°
- 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: 46°
- Dip Direction: 186°

Joint 2
- Dip: 61°
- Dip Direction: 314°

Joint 3
- Dip: 65°
- Dip Direction: 077°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 29.117 m3
Wedge Weight: 0.772 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 2.95 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: 11.021
Wedge Volume: 9.047 m3
Wedge Weight: 0.240 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.6342 MN
Driving Force: 0.1483 MN
Apex Height: 1.64 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 3.107
Wedge Volume: 8.863 m3
Wedge Weight: 0.235 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.6383 MN
Driving Force: 0.2054 MN
Apex Height: 1.64 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 1.802
Wedge Volume: 29.812 m3
Wedge Weight: 0.790 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 1.4239 MN
Driving Force: 0.7900 MN
Apex Height: 2.95 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 1.392
Wedge Volume: 8.217 m3
Wedge Weight: 0.218 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2070 MN
Driving Force: 0.1486 MN
Apex Height: 1.59 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.782

Wedge Volume: 8.217 m3
Wedge Weight: 0.218 MN
Support Pressure: 0.0032 MN
Resisting Force: 0.1225 MN
Driving Force: 0.1566 MN
Apex Height: 1.59 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6_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: 44°
- 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: 46°
- Dip Direction: 186°

Joint 2
- Dip: 57°
- Dip Direction: 002°

Joint 3
- Dip: 65°
- Dip Direction: 077°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 m
Orientation: normal to boundary
Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m
Pattern Spacing - Out of Plane: 3.10 m
Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.10 m
Perimeter Bolt Pattern: 2
Property: Bolt Property 2
Strength type: Grouted Dowel
Bolt Length: 4.50 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: 1.60 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 0.120 m3
Wedge Weight: 0.003 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.38 m

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 70.989
Wedge Volume: 1.980 m3
Wedge Weight: 0.052 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1608 MN
Driving Force: 0.0023 MN
Apex Height: 1.39 m

Lower Left wedge [3]
Factor of Safety: 6.716
Wedge Volume: 0.812 m3
Wedge Weight: 0.022 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0894 MN
Driving Force: 0.0133 MN
Apex Height: 0.92 m

Upper Right wedge [6]
Factor of Safety: 6.553
Wedge Volume: 0.813 m3
Wedge Weight: 0.022 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1184 MN
Driving Force: 0.0181 MN
Apex Height: 0.93 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 4.776
Wedge Volume: 2.020 m3
Wedge Weight: 0.054 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.2317 MN
Driving Force: 0.0485 MN
Apex Height: 1.41 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 27.137

Wedge Volume: 0.128 m3
Wedge Weight: 0.003 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0918 MN
Driving Force: 0.0034 MN
Apex Height: 0.40 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 0.676
Wedge Volume: 7.809 m3
Wedge Weight: 0.207 MN
Support Pressure: 0.0033 MN
Resisting Force: 0.1136 MN
Driving Force: 0.1680 MN
Apex Height: 1.46 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 0.782
Wedge Volume: 7.783 m3
Wedge Weight: 0.206 MN
Support Pressure: 0.0029 MN
Resisting Force: 0.1160 MN
Driving Force: 0.1484 MN
Apex Height: 1.46 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6_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: 44°
- 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: 61°
- Dip Direction: 314°

Joint 2
- Dip: 57°
- Dip Direction: 002°

Joint 3
- Dip: 65°
- Dip Direction: 077°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Lower Right wedge [2]
Factor of Safety: 281.797
Wedge Volume: 0.002 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0131 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.07 m

Floor wedge [3]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 718.127 m3
Wedge Weight: 19.030 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 29.89 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 0.545
Wedge Volume: 719.906 m3
Wedge Weight: 19.078 MN
Support Pressure: 0.2105 MN
Resisting Force: 8.7250 MN
Driving Force: 15.9997 MN
Apex Height: 29.91 m

Upper Left wedge [7]
Factor of Safety: 0.378
Wedge Volume: 0.005 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0004 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.07 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 0.526
Wedge Volume: 28.158 m3
Wedge Weight: 0.746 MN
Support Pressure: 0.0279 MN
Resisting Force: 0.3291 MN
Driving Force: 0.6258 MN
Apex Height: 5.98 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: stable

Wedge Volume: 28.158 m3
Wedge Weight: 0.746 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 5.98 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6b_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: 44°
- 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: 25°
- Dip Direction: 211°

Joint 2
- Dip: 55°
- Dip Direction: 258°

Joint 3
- Dip: 09°
- Dip Direction: 250°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Roof wedge [2]
Factor of Safety: 1.737
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.02 m

Floor wedge [3]
Factor of Safety: 44.191
Wedge Volume: 0.042 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0012 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.22 m

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 4.002
Wedge Volume: 106.309 m3
Wedge Weight: 2.817 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.3609 MN
Driving Force: 1.0896 MN
Apex Height: 9.44 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: 13.963
Wedge Volume: 106.137 m3
Wedge Weight: 2.813 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 5.0645 MN
Driving Force: 0.3627 MN
Apex Height: 9.45 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 100.924
Wedge Volume: 0.036 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0800 MN
Driving Force: 0.0008 MN
Apex Height: 0.22 m

Floor wedge [7]
Factor of Safety: stable

Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.03 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 8.833 m3
Wedge Weight: 0.234 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 3.31 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.737
Wedge Volume: 8.833 m3
Wedge Weight: 0.234 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1718 MN
Driving Force: 0.0989 MN
Apex Height: 3.31 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6b_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: 44°
- 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: 25°
- Dip Direction: 211°

Joint 2
- Dip: 55°
- Dip Direction: 258°

Joint 3
- Dip: 70°
- Dip Direction: 082°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 26.451
Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0001 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.06 m

Floor wedge [3]
Factor of Safety: 3.084
Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.03 m

Upper Left wedge [4]
Factor of Safety: 3.517
Wedge Volume: 136.396 m3
Wedge Weight: 3.614 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 4.9161 MN
Driving Force: 1.3979 MN
Apex Height: 15.96 m

Lower Right wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 136.063 m3
Wedge Weight: 3.606 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 15.96 m

Roof wedge [6]
Factor of Safety: 0.567
Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0003 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.04 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 0.000

Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0005 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.06 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 132.156 m3
Wedge Weight: 3.502 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 12.45 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 2.854
Wedge Volume: 132.100 m3
Wedge Weight: 3.501 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 3.8646 MN
Driving Force: 1.3539 MN
Apex Height: 12.45 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6b_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: 44°
- 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: 25°
- Dip Direction: 211°

Joint 2
- Dip: 09°
- Dip Direction: 250°

Joint 3
- Dip: 70°
- Dip Direction: 082°

Joint Properties

Joint Properties 1
- Water Pressure
  - Elevation: 0 m
- Waviness: 0°
- Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
  - Phi: 39°
  - Cohesion: 0 MPa
  - Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]
Factor of Safety: 28.946
Wedge Volume: 0.005 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0001 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.08 m

Upper Left wedge [3]
Factor of Safety: 3.686
Wedge Volume: 328.540 m3
Wedge Weight: 8.706 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 9.9234 MN
Driving Force: 2.6919 MN
Apex Height: 15.71 m

Roof wedge [4]
Factor of Safety: 1.737
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.03 m

Floor wedge [5]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 0.001 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.04 m

Lower Right wedge [6]
Factor of Safety: 12.463
Wedge Volume: 328.343 m3
Wedge Weight: 8.701 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 13.9845 MN
Driving Force: 1.1221 MN
Apex Height: 15.71 m

Roof wedge [8]
Factor of Safety: 0.000

Wedge Volume: 0.004 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0007 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0001 MN
Apex Height: 0.08 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 9.138 m3
Wedge Weight: 0.242 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 3.09 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 1.737
Wedge Volume: 9.138 m3
Wedge Weight: 0.242 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.1777 MN
Driving Force: 0.1023 MN
Apex Height: 3.09 m

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: ANALISI 6b_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: 44°
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: 55°
Dip Direction: 258°
Joint 2
Dip: 09°
Dip Direction: 250°
Joint 3
Dip: 70°
Dip Direction: 082°

Joint Properties

Joint Properties 1
Water Pressure
Elevation: 0 m
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 39°
Cohesion: 0 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1
Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 0.173 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.03 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: 2.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
No Shotcrete on Perimeter

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: 4.50 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: 4.50 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
No Shotcrete on Ends

Wedge Information

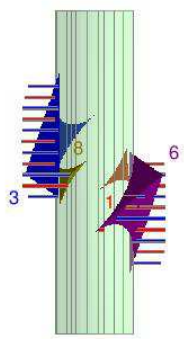
Upper Left wedge [3]
Factor of Safety: 26.481
Wedge Volume: 3979.805 m3
Wedge Weight: 105.465 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 182.7792 MN
Driving Force: 6.9021 MN
Apex Height: 202.40 m

Roof wedge [4]
Factor of Safety: 0.567
Wedge Volume: 0.000 m3
Wedge Weight: 0.000 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 0.00 m

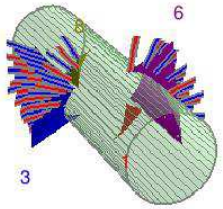
Lower Right wedge [6]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 3998.824 m3
Wedge Weight: 105.969 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 202.72 m

Near End wedge [9]
Factor of Safety: stable
Wedge Volume: 855.500 m3
Wedge Weight: 22.671 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 0.0000 MN
Driving Force: 0.0000 MN
Apex Height: 89.31 m

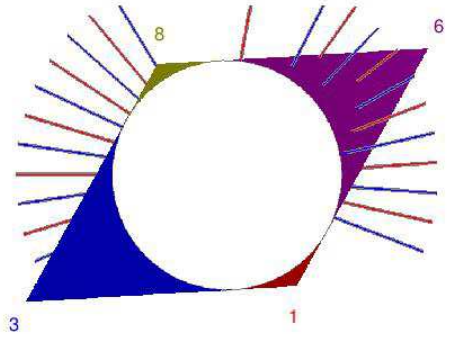
Far End wedge [10]
Factor of Safety: 26.451
Wedge Volume: 855.617 m3
Wedge Weight: 22.674 MN
Support Pressure: 0.0000 MN
Resisting Force: 39.2511 MN
Driving Force: 1.4839 MN
Apex Height: 89.31 m



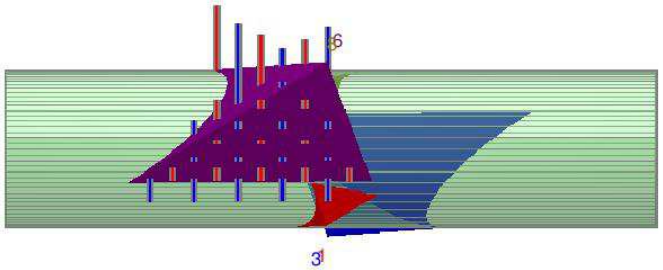
Top



Perspective



Front



Side

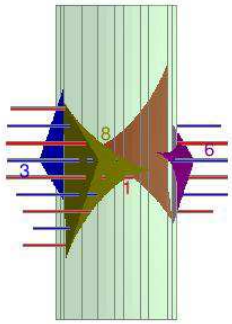
Wedge Information

Lower Right wedge [1]
- Factor of Safety: 29.934
- Wedge Volume: 1.438 m3
- Wedge Weight: 0.038 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0493 MN
- Driving Force: 0.0016 MN
- Apex Height: 0.75 m

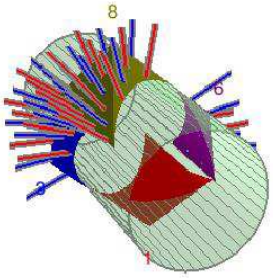
Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 91.052 m3
- Wedge Weight: 2.413 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 5.74 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 1.330
- Wedge Volume: 90.375 m3
- Wedge Weight: 2.395 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 2.7861 MN
- Driving Force: 2.0947 MN
- Apex Height: 5.72 m

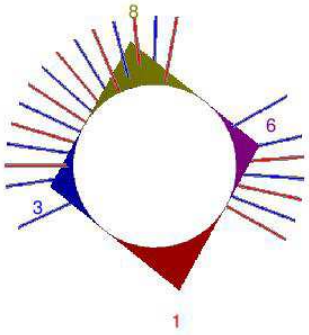
Upper Left wedge [8]
- Factor of Safety: 5.478
- Wedge Volume: 1.546 m3
- Wedge Weight: 0.041 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.2244 MN
- Driving Force: 0.0410 MN
- Apex Height: 0.77 m



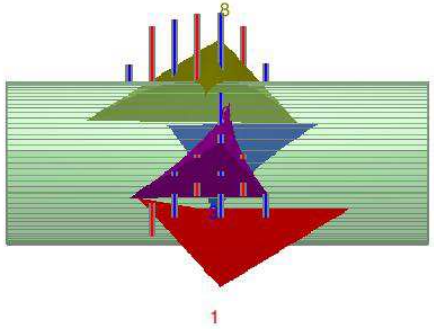
Top



Perspective



Front



Side

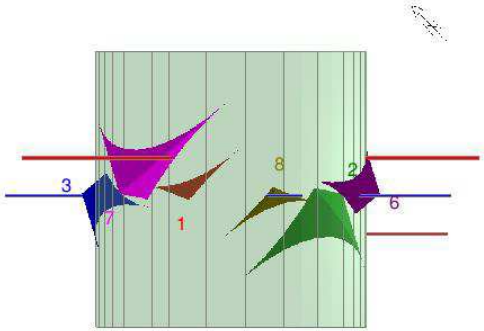
Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 29.117 m3
- Wedge Weight: 0.772 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 2.95 m

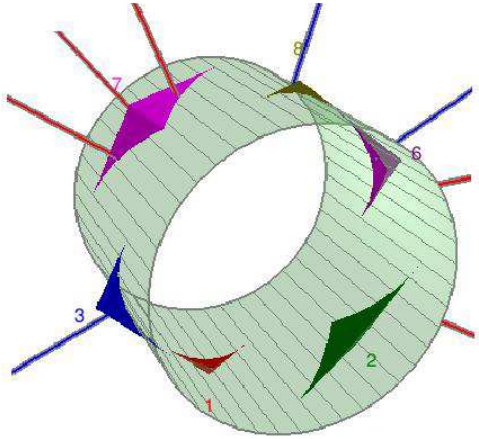
Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: 11.021
- Wedge Volume: 9.047 m3
- Wedge Weight: 0.240 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.6342 MN
- Driving Force: 0.1483 MN
- Apex Height: 1.64 m

Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 3.107
- Wedge Volume: 8.863 m3
- Wedge Weight: 0.235 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.6383 MN
- Driving Force: 0.2054 MN
- Apex Height: 1.64 m

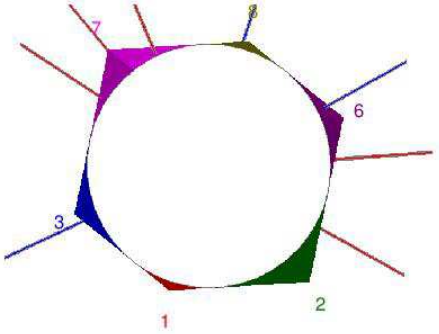
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 1.802
- Wedge Volume: 29.812 m3
- Wedge Weight: 0.790 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 1.4239 MN
- Driving Force: 0.7900 MN
- Apex Height: 2.95 m



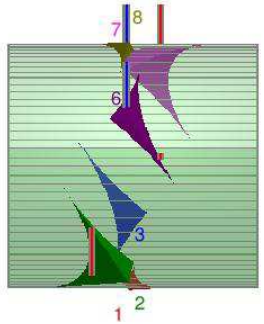
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 0.120 m3
- Wedge Weight: 0.003 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.38 m

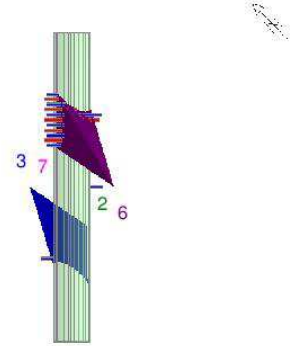
Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 70.989
- Wedge Volume: 1.980 m3
- Wedge Weight: 0.052 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1608 MN
- Driving Force: 0.0023 MN
- Apex Height: 1.39 m

Lower Left wedge [3]
- Factor of Safety: 6.716
- Wedge Volume: 0.812 m3
- Wedge Weight: 0.022 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0894 MN
- Driving Force: 0.0133 MN
- Apex Height: 0.92 m

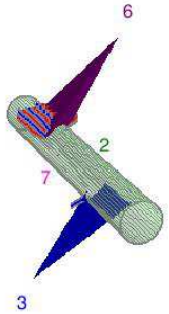
Upper Right wedge [6]
- Factor of Safety: 6.553
- Wedge Volume: 0.813 m3
- Wedge Weight: 0.022 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.1184 MN
- Driving Force: 0.0181 MN
- Apex Height: 0.93 m

Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 4.776
- Wedge Volume: 2.020 m3
- Wedge Weight: 0.054 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.2317 MN
- Driving Force: 0.0485 MN
- Apex Height: 1.41 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 27.137
- Wedge Volume: 0.128 m3



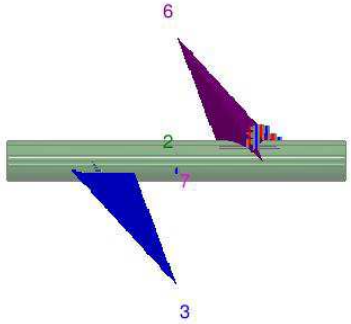
Top



Perspective



Front



Side

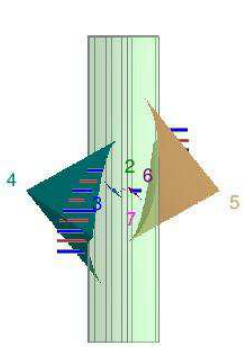
Wedge Information

Lower Right wedge [2]
- Factor of Safety: 281.797
- Wedge Volume: 0.002 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0131 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.07 m

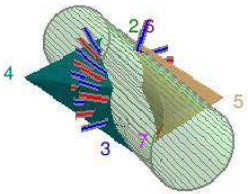
Floor wedge [3]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 718.127 m3
- Wedge Weight: 19.030 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 29.89 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 0.545
- Wedge Volume: 719.906 m3
- Wedge Weight: 19.078 MN
- Support Pressure: 0.2105 MN
- Resisting Force: 8.7250 MN
- Driving Force: 15.9997 MN
- Apex Height: 29.91 m

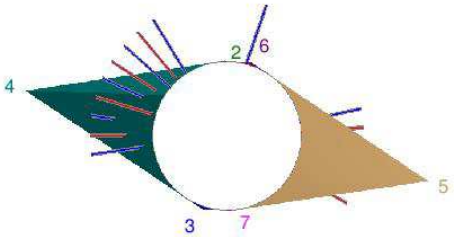
Upper Left wedge [7]
- Factor of Safety: 0.378
- Wedge Volume: 0.005 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0004 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0001 MN
- Apex Height: 0.07 m



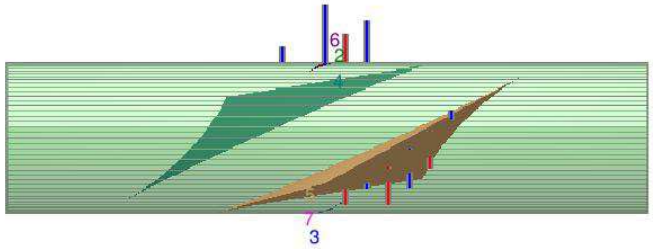
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Roof wedge [2]
- Factor of Safety: 1.737
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.02 m

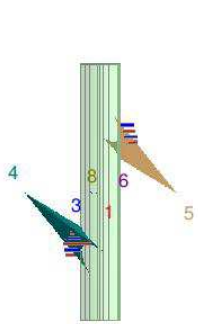
Floor wedge [3]
- Factor of Safety: 44.191
- Wedge Volume: 0.042 m3
- Wedge Weight: 0.001 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0012 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.22 m

Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 4.002
- Wedge Volume: 106.309 m3
- Wedge Weight: 2.817 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.3609 MN
- Driving Force: 1.0896 MN
- Apex Height: 9.44 m

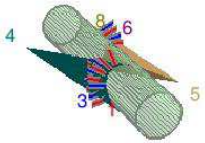
Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: 13.963
- Wedge Volume: 106.137 m3
- Wedge Weight: 2.813 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 5.0645 MN
- Driving Force: 0.3627 MN
- Apex Height: 9.45 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 100.924
- Wedge Volume: 0.036 m3
- Wedge Weight: 0.001 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0800 MN
- Driving Force: 0.0008 MN
- Apex Height: 0.22 m

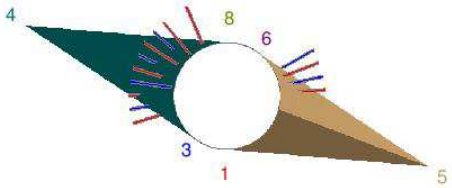
Floor wedge [7]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 0.001 m3



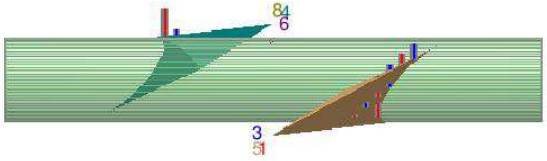
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 26.451
- Wedge Volume: 0.001 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0001 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.06 m

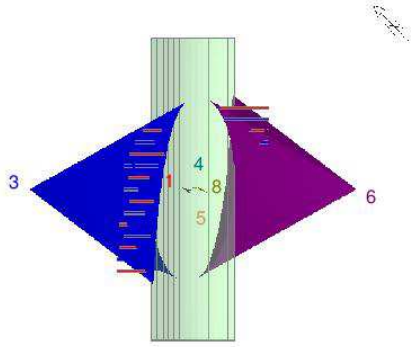
Floor wedge [3]
- Factor of Safety: 3.084
- Wedge Volume: 0.001 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.03 m

Upper Left wedge [4]
- Factor of Safety: 3.517
- Wedge Volume: 136.396 m3
- Wedge Weight: 3.614 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 4.9161 MN
- Driving Force: 1.3979 MN
- Apex Height: 15.96 m

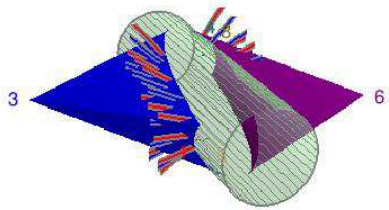
Lower Right wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 136.063 m3
- Wedge Weight: 3.606 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 15.96 m

Roof wedge [6]
- Factor of Safety: 0.567
- Wedge Volume: 0.001 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0003 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.04 m

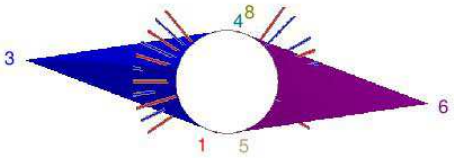
Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 0.000
- Wedge Volume: 0.001 m3



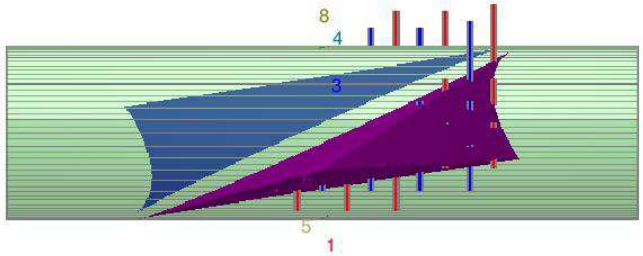
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Floor wedge [1]
- Factor of Safety: 28.946
- Wedge Volume: 0.005 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0001 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.08 m

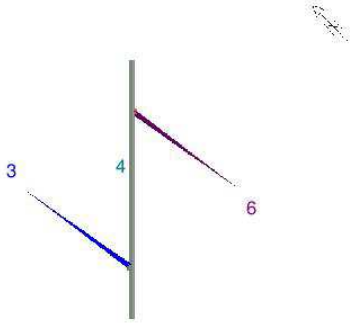
Upper Left wedge [3]
- Factor of Safety: 3.686
- Wedge Volume: 328.540 m3
- Wedge Weight: 8.706 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 9.9234 MN
- Driving Force: 2.6919 MN
- Apex Height: 15.71 m

Roof wedge [4]
- Factor of Safety: 1.737
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.03 m

Floor wedge [5]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 0.001 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.04 m

Lower Right wedge [6]
- Factor of Safety: 12.463
- Wedge Volume: 328.343 m3
- Wedge Weight: 8.701 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 13.9845 MN
- Driving Force: 1.1221 MN
- Apex Height: 15.71 m

Roof wedge [8]
- Factor of Safety: 0.000
- Wedge Volume: 0.004 m3



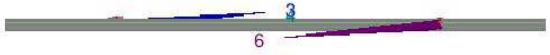
Top



Perspective



Front



Side

Wedge Information

Upper Left wedge [3]
- Factor of Safety: 26.481
- Wedge Volume: 3979.805 m3
- Wedge Weight: 105.465 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 182.7792 MN
- Driving Force: 6.9021 MN
- Apex Height: 202.40 m

Roof wedge [4]
- Factor of Safety: 0.567
- Wedge Volume: 0.000 m3
- Wedge Weight: 0.000 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 0.00 m

Lower Right wedge [6]
- Factor of Safety: stable
- Wedge Volume: 3998.824 m3
- Wedge Weight: 105.969 MN
- Support Pressure: 0.0000 MN
- Resisting Force: 0.0000 MN
- Driving Force: 0.0000 MN
- Apex Height: 202.72 m