COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

:

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

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

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO DEFINITIVO

CAVA VECCHIE FORNACI (EX CAVA BUZZI)
RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE
Relazione geotecnica e di calcolo e opere di imbocco

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.	
Consorzio Cociv Project Manager (Ing. G. Guagnozzi) Data: 30/10/2012		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A301	00	D	CV	RB	AD9100	001	G

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
E00	Adeguamento terre e rocce da scavo	Ing. M. Frandino	16/03/2012	Ing.D. Spoglianti	20/03/2012	Ing. E. Pagani	23/03/2012	Ing. E. Ghislandi ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO DOTT. ING. GHISLANDI ENRICO Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione n° A 16993 Data: 30/10/2012
F00	A30100D07ISAD9100001A del 18/05/2012	Ing. M. Frandino	04/06/2012	Ing.D. Spoglianti	06/06/2012	Ing. E. Pagani	07/06/2012	
G00	Integrazioni Regione Liguria prot.n° 94/2012/0145093 del 12 ottobre 2012	Ing. M. Frandino	25/10/2012	Ing.D. Spoglianti	26/10/2012	Ing. E. Pagani	30/10/2012	

	n. Elab.:	File: A301-00-D-CV-RB-AD91-00-001-G00

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE 3
1. INTRODUZIONE 5
1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA 6
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI 7
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO 10
4. VERIFICHE DELLE OPERE DI IMBOCCO 12
4.1 SOFTWARE UTILIZZATI 12
4.2 ANALISI E VERIFICHE DELLE PARETI DI SBANCAMENTO E DELLE CHIODATURE 12
4.2.1 Verifiche grafiche di stabilità degli sbancamenti 13
4.2.2 Imbocco lato Savona 14
4.2.3 Imbocco lato Borzoli 18
4.2.4 Verifiche allo scivolamento dei cunei rocciosi 23
4.2.5 Verifiche delle chiodature 24
4.2.6 Imbocco lato Savona 24
4.2.7 Imbocco lato Borzoli 26
4.2.8 Analisi dei risultati 29
5. VERIFICHE GALLERIA NATURALE 30
5.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO 30
5.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A) 31
5.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B) 31
5.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C) 31
5.2 CALCOLO DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO ALLO SCAVO 32
5.2.1 Linee caratteristiche della cavità 32
5.2.2 Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento 33
6. FASE DI TERAPIA 34
6.1 CATEGORIE DI COMPORTAMENTO 34
6.2 SEZIONI TIPO APPLICATE 36
6.2.1 Sezione tipo 1 37
6.2.2 Sezione tipo 2 37
6.2.3 Sezione tipo 3 38
6.2.4 Sezione Allargata 39
6.2.1 Materiali impiegati 39
6.3 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI DISCONTINUI 40
6.3.1 VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI 42

6.4 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI CONTINUI 47
6.4.1 Analisi mediante linee caratteristiche 47
6.4.2 Analisi bidimensionali agli elementi finiti 48
6.4.3 Modelli di calcolo impiegati 52
6.4.4 Curve di “relax” nel modello di calcolo 59
7. CRITICITA’ ESECUTIVE 60
8. CONCLUSIONI 63
ALLEGATO 1 – LINEE CARATTERISTICHE 65
ALLEGATO 2 – ANALISI NUMERICHE – MODELLO 1 66
ALLEGATO 3 – ANALISI NUMERICHE – MODELLO 2 70

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco e della galleria di servizio nell'ambito della riqualificazione ambientale dell'area della cava Vecchie Fornaci (ex Cava Buzzi).

Si prevede la realizzazione di una galleria naturale di area di scavo pari a circa 32m^2 nella sezione corrente e pari a 53m^2 circa nella sezione allargata, prevista lungo lo sviluppo per consentire l'incrocio dei mezzi.

La galleria in oggetto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 867m circa comprensivi delle 5 sezioni allargate previste.

Le coperture massime risultano superiori ai 200m e l'opera ricade nella formazione delle Dolomie del Monte Gazzo.

Di seguito, dopo aver esaminato il quadro geologico-geotecnico sino ad oggi noto (FASE CONOSCITIVA), sulla base dei dati e delle considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti (dal 1992 ad oggi), verrà individuato il più probabile comportamento che l'ammasso manifesterà a seguito del proseguimento degli scavi (FASE DI DIAGNOSI).

In base a ciò verranno quindi stabilite le principali tipologie di intervento che si ritengono necessarie a garantire la stabilità globale della cavità (FASE DI TERAPIA).

La sequenza delle varie fasi progettuali può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

- Fase conoscitiva che consente, attraverso una analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso interessato dallo scavo;
- Fase di diagnosi nella quale, utilizzando il metodo delle "linee caratteristiche", analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l'analisi la stabilità del fronte di scavo (sistema ADECO-RS):
    - caso "A", fronte stabile,
    - caso "B" fronte stabile a breve termine,
    - caso "C" fronte instabile;
- Fase di terapia che consente, successivamente all'individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto, per la realizzazione delle gallerie.

All'interno del presente documento saranno inoltre dimensionate le opera di imbocco della galleria di servizio. In considerazione della natura degli ammassi da scavare, si sono previsti imbocchi diretti, mediante sbancamento (ove necessario) della roccia in posto e chiodatura delle pareti di scavo, mediante barre tipo "gewi" e rete metallica esagonale a doppia torsione.

1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Le opere in oggetto ricadono nell'area del Monte Gazzo. Di seguito si riporta l'inquadramento dell'area oggetto delle opere.



Figura 1 – Area Imbocco lato Borzoli



Figura 2 – Area del tracciato



Figura 3 – Area Imbocco lato Savona

2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

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

- Legge 5/11/1971 n. 1086

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

- Legge n°64 del 2 febbraio 1974

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

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

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

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

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

- Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

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

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

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

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

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

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

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

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

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

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996

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

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

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

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

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

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

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

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

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

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

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999

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

- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

- Decreto Ministeriale 14/09/2005

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

- Ordinanza Ministeriale 3274

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

RACCOMANDAZIONI

- A.I.C.A.P. 1993

Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni

- Eurocodice 1 UNI-EN-1991

Criteri generali di progettazione strutturale

- Eurocodice 2 UNI-EN-1992

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- Eurocodice 3 UNI-EN-1993

Progettazione delle strutture in acciaio

- Eurocodice 4 UNI-EN-1994

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

- Eurocodice 7 UNI-EN-1997

Progettazione Geotecnica

- Eurocodice 8 UNI-EN-1998

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

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

Il tracciato della galleria incontra una unica formazione:

- Formazione delle "Dolomie del Monte Gazzo" (Carnico sup.-Norico) dell'Unità tettonometamorfica "Gazzo-Isoverde": metadolomie e subordinati metacalcari dolomitici con frequenti brecce intraclastiche sinsedimentarie.

All'interno dell'area interessata dalla galleria, l'assetto della formazione si mantiene coerente: *la stratificazione*, quando visibile, si mantiene sub-verticale con una immergenza media circa verso est; gli strati sono in genere da metrici a plurimetrici.

Rispetto alla galleria la stratificazione risulta quindi sempre da molto inclinata a verticalizzata con direzione degli strati variabile, da circa diagonale nel primo tratto rettilineo a circa parallelo all'asse della galleria nel secondo tratto rettilineo sotto alla parete est della cava.

Rispetto alle pareti della cava la stratificazione è sulla parete ovest di ugual direzione ma con maggiore inclinazione, a traverpoggio molto inclinato sulla parete nord-est e a reggipoggio molto inclinato sulla parete est.

Altro aspetto geologico importante caratterizzante lo stato di fratturazione e conservazione degli ammassi rocciosi nell'area di affioramento delle dolomie è la presenza di tre settori più o meno tettonizzati a cavallo di altrettante *linee di faglia sub-verticali orientate circa E-W*; le due più importanti saranno chiamate, in base alla loro posizione, "faglia nord" e "faglia sud" mentre quella centrale, caratterizzata da un settore più limitato di risentimento tettonico, sarà chiamata "faglia intermedia".

Le caratteristiche in sito che hanno guidato il riconoscimento e la delimitazione di questi settori di faglia, sono stati:

- l'evidenza di superfici di scorrimento, in genere ripetute più volte all'interno del settore di faglia; queste superfici, con aspetto levigato e traslucido e caratterizzate dalla presenza delle tipiche striature da scorrimento e frizionamento (cfr. "Relazione geologica"), un "pacchetto" di dolomie molto brecciate (queste superfici di scorrimento sono a volte riconoscibili anche sulle superfici della stratificazione e sono riconducibili ai movimenti tettonici alpini della faglia Sestri-Voltaggio)
- la tessitura da brecciata a molto brecciata, spesso riorientata, della dolomia
- la colorazione color ruggine per alterazione della roccia che arriva ad essere marrone nei settori di maggiore presenza d'acqua.

Si segnala infine la presenza di forme carsiche ipogee all'interno della formazione della "Dolomia del Monte Gazzo". Su questo argomento si veda quanto descritto e riportato nella "Relazione geologica".

In galleria si potranno, pertanto, incontrare strutture di strato e faglia, verticalizzate e diversamente orientate, con tessiture di ammasso da molto fratturato a cataclasato, talora più massivo, oppure brecciato; la tessitura brecciata è apparsa in genere discretamente cementata con possibilità comunque di volumi meno coesivi specie nei settori di maggiore alterazione come le faglie.

I piani o le fasce di possibile maggiore debolezza, tutti verticalizzati, potrebbero essere rappresentati dalla superfici levigate e striate di scorrimento e dai setti verticali poco sopra descritti.

Dal punto di vista geotecnico, non avendo a disposizione prove realizzate in corrispondenza dell'area in esame, i valori descritti nel profilo geomeccanico si riferiscono a studi pregressi eseguiti in quest'area e, in particolare, su questo stesso ammasso roccioso, nell'ambito delle studi ed indagini eseguiti per la progettazione definitiva del Terzo Valico.

Di seguito si riportano i valori medi assunti per i principali parametri geomeccanici:

- peso di volume: $\gamma = 26 – 27$ kN/m^3
- coesione drenata: c = 0.30 – 1.00 MPa
- angolo d'attrito: $\phi = 35° - 40°$
- modulo di deformabilità: E = 5 – 10 GPa
- coefficiente di poisson: $\nu = 0.25 – 0.30$
- RMRbase: 45 – 55
- GSI: 40 – 50.

4. VERIFICHE DELLE OPERE DI IMBOCCO

Nel seguito si descrivono in dettaglio le verifiche di stabilità degli scavi per la realizzazione degli imbocchi di tipo diretto della galleria in esame, lato Savona e lato Borzoli.

L'area in esame è classificata in zona sismica di IV categoria.

Le analisi numeriche sono state condotte in assenza di spinta idrostatica, dato che il livello piezometrico si trova al di sotto del piano di scavo.

Per entrambi gli imbocchi della galleria, in considerazione della presenza della formazione rocciosa denominata "Dolomia del Monte Gazzo" con buone proprietà geomeccaniche, si è previsto un attacco di tipo diretto, effettuando sbancamenti in roccia e provvedendo alla stabilizzazione delle pareti mediante la messa in opera di chiodature, reti metalliche di contenimento e spritz-beton. Si sono adottate chiodature disposte a maglia quinconcia 2.0 m $\times$ 2.0 m, della lunghezza di 6 m, ancorate per l'intera lunghezza, con una inclinazione di circa 5° - 15° ed ortogonali rispetto alla parete di scavo. Si adotteranno barre in acciaio tipo "GEWI", di diametro ϕ 25 mm.

Gli sbancamenti sono stati impostati con pendenze di scavo pari a 5 (verticale) su 1 (orizzontale), ovvero circa 78 - 79°, in corrispondenza della pare te d'attacco (frontale). Lo scavo verrà condotto con demolitore meccanico e/o microcariche di esplosivo, secondo modalità tipiche di sbancamenti in versanti rocciosi. I bulloni dovranno essere posti in opera a seguito delle successive fasi di ribasso, che saranno, al massimo 2,5 – 3,0 metri.

Per entrambi gli imbocchi, preliminarmente all'operazione di riprofilatura tramite gli sbancamenti, sarà realizzata una pulizia del versante mediante bonifica della coltre superficiale.

Per i dettagli costruttivi ed esecutivi, si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

4.1 SOFTWARE UTILIZZATI

- DIPS edito dalla Rockscience di Toronto, Canada.
- SWEDGE (Analysis of the geometry and stability of surfaces wedges) edito da Rock Engineering Group dell'Università di Toronto

4.2 ANALISI E VERIFICHE DELLE PARETI DI SBANCAMENTO E DELLE CHIODATURE

Sono state eseguite due tipologie differenti di analisi:

- una prima verifica grafica di tipo qualitativo (test di Markland) finalizzata a definire i possibili movimenti di versante;
- una analisi deterministica, con la definizione di un fattore di sicurezza, per lo scivolamento di cunei rocciosi, per verificare anche la corretta azione degli interventi di chiodatura.

4.2.1 Verifiche grafiche di stabilità degli sbancamenti

Sulla base delle condizioni geostrutturali e geomeccaniche rilevate, le scarpate derivanti dagli scavi di imbocco risultano instabili a causa della presenza di giunti di fratturazione e di stratificazione. Si rende quindi necessario procedere a verifiche di stabilità volte ad individuare i possibili cinematismi ed i necessari interventi di stabilizzazione.

L'analisi di tipo grafico, tramite il test di Markland eseguita col programma DIPS, è progettualmente molto utile, in quanto individua i potenziali "meccanismi di movimento" sui piani di scavo, valutando se tali meccanismi siano possibili dal punto di vista puramente geometrico (condizioni geometriche).

Questi movimenti possono in realtà effettivamente verificarsi solo se gli sforzi di taglio indotti dalla gravità superano la "resistenza al taglio" disponibile lungo le discontinuità interessate (condizioni meccaniche).

In considerazione delle condizioni geomeccaniche riscontrate e della durata a lungo termine prevista per parte dell'intervento di consolidamento, viene utilizzato a favore di sicurezza, nelle verifiche di tipo grafico, un angolo di attrito pari a 30°.

Per quanto concerne i possibili movimenti di blocchi rocciosi, i cinematismi che devono essere presi in considerazione sono i seguenti:

- Scivolamento planare lungo una discontinuità (planar sliding);
- Scivolamento di cunei lungo la linea di intersezione tra due discontinuità (swedge sliding);
- Ribaltamento di blocchi (toppling).

Per i primi due meccanismi la condizione geometrica necessaria è che il piano e la linea di scivolamento abbiano direzione di immersione circa coincidente a quella del fronte di scavo (con uno scarto di circa ± 30°) ed inclinazione inferiore.

Per il terzo meccanismo la condizione geometrica necessaria è che il piano di scivolamento abbia una immersione pari a circa 180° da quella del fronte di scavo (con uno scarto di circa ± 30°) ed inclinazione subverticale.

Tali condizioni geometriche possono essere analizzate attraverso l'utilizzo delle proiezioni stereografiche riportate nel seguito per la parete di scavo dell'imbocco, ossia la parete d'attacco frontale.

Per le analisi sono stati utilizzati i dati dei rilievi geostrutturali eseguiti in corrispondenza delle due zone di imbocco. I giunti utilizzati per le verifiche rappresentano dei valori di giacitura media dei principali sistemi di discontinuità rilevati, sistemi sempre presenti e/o maggiormente ricorrenti, non sono stati considerati i sistemi di discontinuità occasionali.

4.2.2 **Imbocco lato Savona**

L'imbocco della galleria lato Savona si trova all'interno della "Cava Vecchie Fornaci" o anche ex Cava Buzzi, attualmente non produttiva. La parete d'attacco della galleria si trova nell'area prospiciente i fabbricati, ormai in disuso, precedentemente adibiti alla lavorazione della pietra cavata, come da Figura 4.

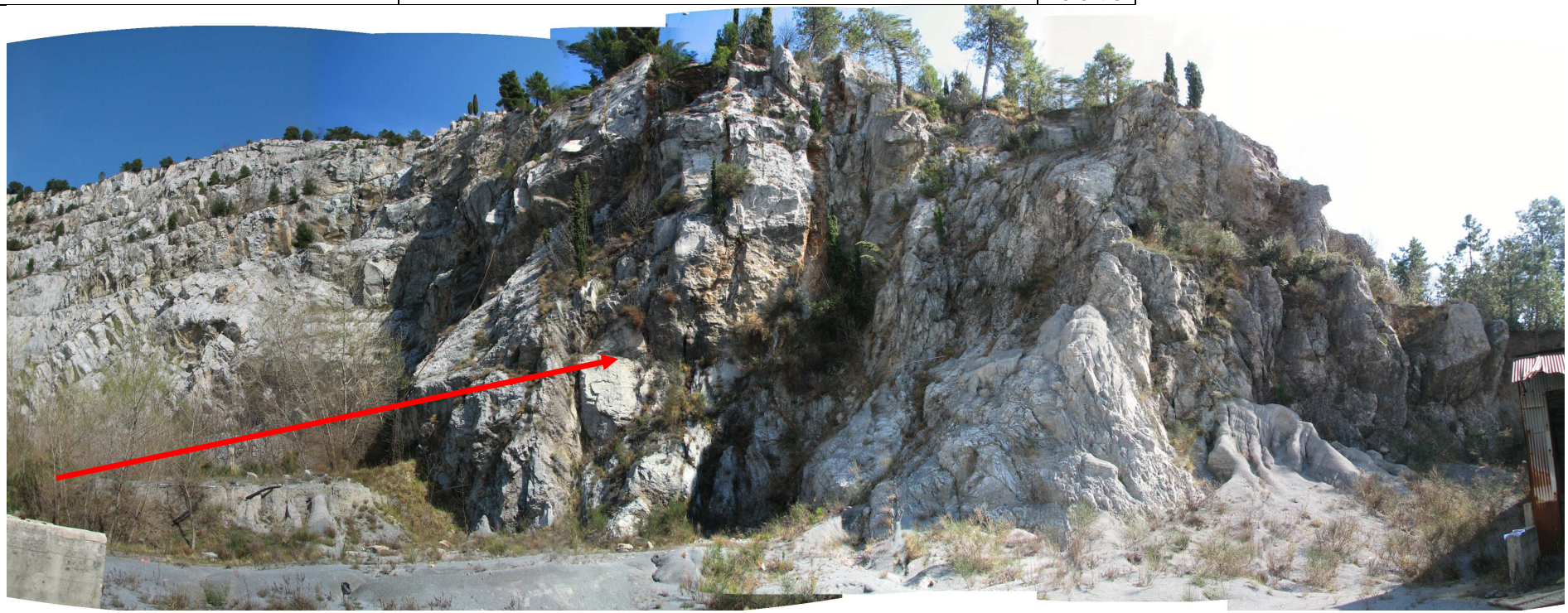


Figura 4 – Area Imbocco lato Savona

La verifica strutturale è stata condotta sulla parete frontale:

- parete d'attacco con giacitura 278/78 ed altezza di 12.00 m.

Di seguito si riportano i sistemi di giunti utilizzati nelle verifiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza dell'area di imbocco.

Famiglie di discontinuità

Tipo discontinuità	Immersione / inclinazione
Giunto di Stratificazione St	080/75
Giunto di fratturazione K2	190/75
Giunto di fratturazione K3	280/70

Scivolamento planare

Lo stereogramma riportato in Figura 5, evidenzia che solo i poli del sistema K3 (e solo quelli meno inclinati), ricadono nella regione di potenziale scivolamento planare. Pertanto, questo tipo di movimento è cinematicamente possibile.

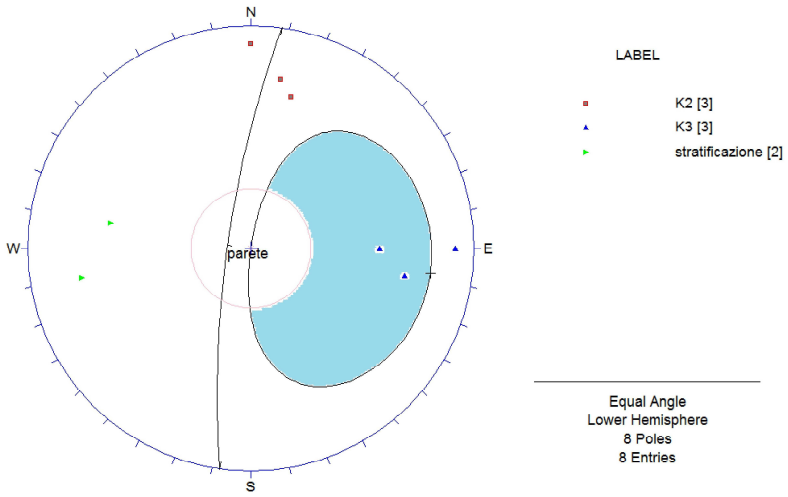


Figura 5 – Stereogramma – Scivolamento planare

Scivolamento dei cunei

Il meccanismo di scivolamento dei cunei risulta cinematicamente possibile lungo le intersezioni delle famiglie delle discontinuità K2/K3 e K3/giunti di strato; il fattore di sicurezza ed il rischio che il fenomeno accada viene analizzato nella verifica quantitativa di scivolamento cunei nel successivo capitolo.

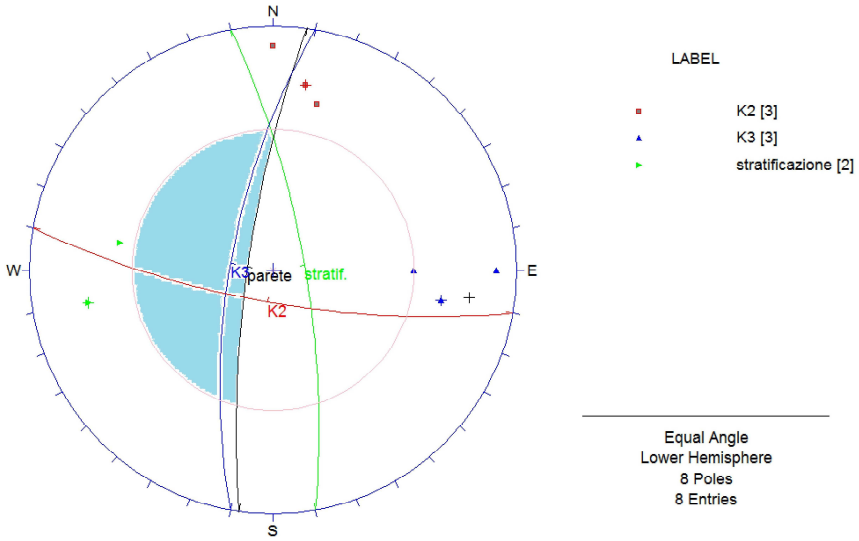


Figura 6 – Stereogramma – Scivolamento dei cunei

Ribaltamento

Dall'analisi dello stereogramma si vede che i poli dei giunti di strato ricadono nell'area soggetta a ribaltamento, si ritiene pertanto cinematicamente possibile questo fenomeno.

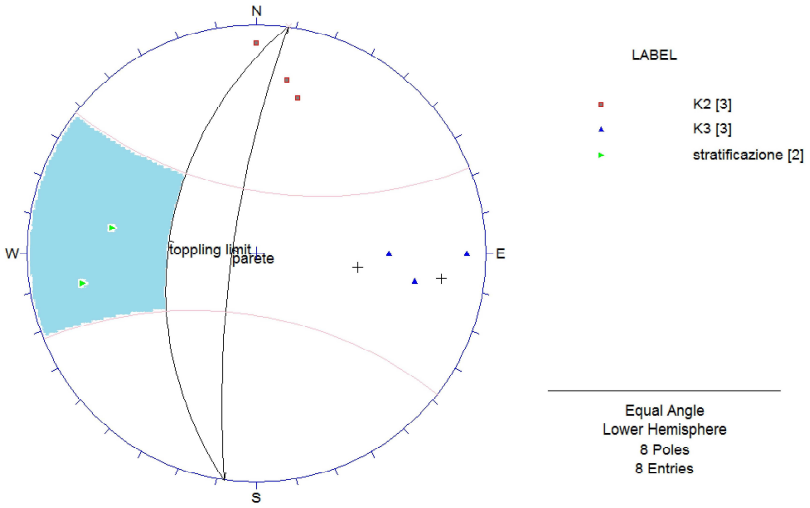


Figura 7 – Stereogramma - Ribaltamento

4.2.3 Imbocco lato Borzoli

L'imbocco della galleria lato Savona si trova all'interno della Cava Unicalce, attualmente produttiva. La parete d'attacco della galleria si trova a monte degli impianti di frantumazione, come da Figura 8.



Figura 8 – Imbocco Lato Borzoli

La verifica strutturale è stata condotta sulla parete frontale:

- parete d'attacco con giacitura 305/88 ed altezza di 17.00 m.

Di seguito si riportano i sistemi di giunti utilizzati nelle verifiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza dell'area di imbocco.

Famiglie di discontinuità

Tipo discontinuità	Immersione / inclinazione
Giunto di Stratificazione St	095/80
Giunto di fratturazione K2	180/85
Giunto di fratturazione K3	310/75
Giunto di fratturazione K4	010/35

Scivolamento planare

Lo stereogramma riportato in Figura 9, evidenzia che i poli del sistema K4 ed alcuni poli del sistema K3 (solo quelli meno inclinati), ricadono nella regione di potenziale scivolamento planare. Pertanto, questo tipo di movimento è cinematicamente possibile.

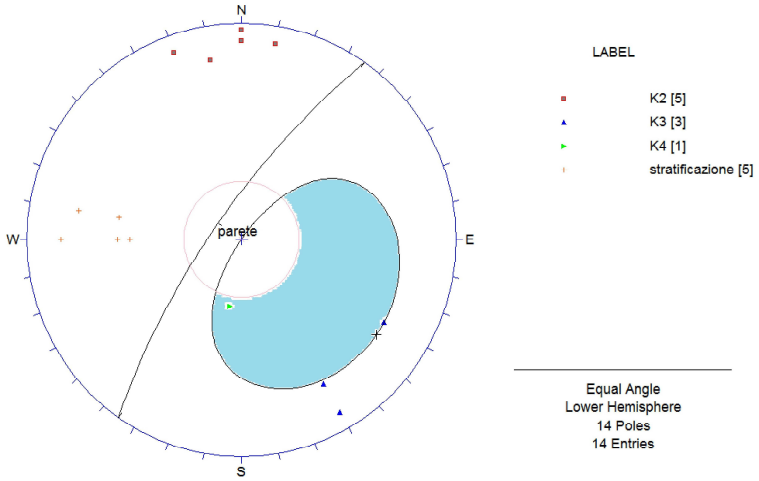


Figura 9 – Stereogramma –Scivolamento planare

Scivolamento dei cunei

Il meccanismo di scivolamento dei cunei risulta cinematicamente possibile lungo le intersezioni delle famiglie delle discontinuità K2/K3, K3/giunti di strato, K4/giunti di strato e K3/K4; il fattore di sicurezza ed il rischio che il fenomeno accada viene analizzato nella verifica quantitativa di scivolamento cunei nel successivo capitolo.

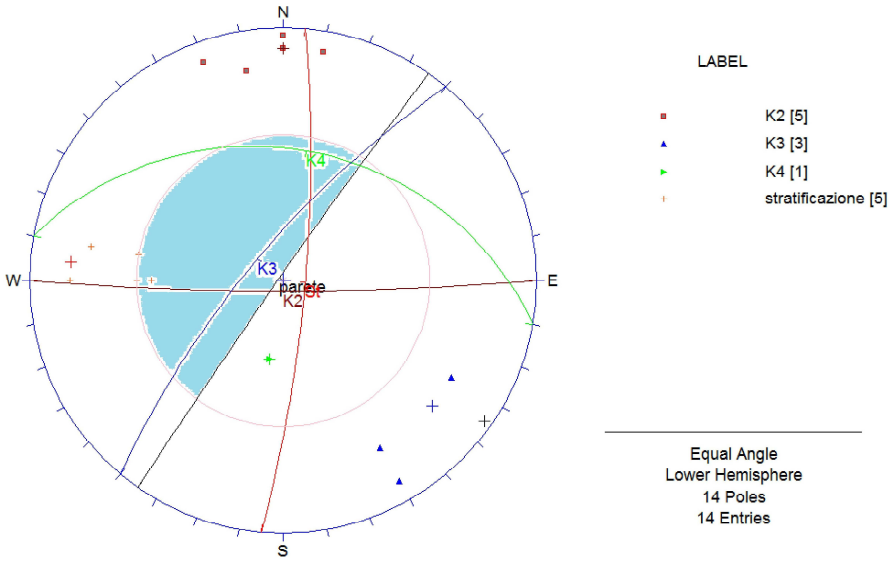


Figura 10 – Stereogramma –Scivolamento cunei

Ribaltamento

Dall'analisi dello stereogramma di Figura 11, si vede che i poli dei giunti di strato ricadono nell'area soggetta a ribaltamento, si ritiene pertanto cinematicamente possibile questo fenomeno.

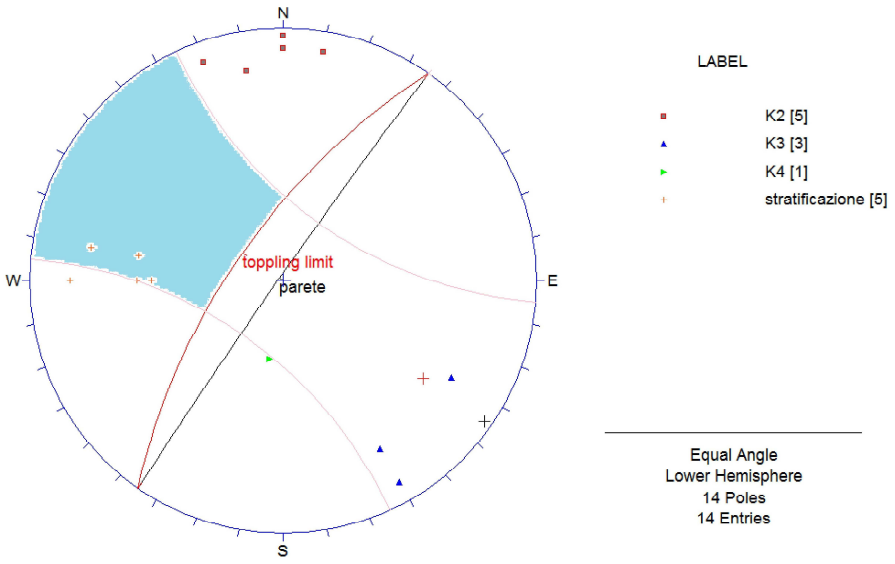


Figura 11 – Stereogramma –Ribaltamento

4.2.4 Verifiche allo scivolamento dei cunei rocciosi

Tramite un'analisi geometrica tridimensionale, si è proceduto ad individuare i cunei di roccia potenzialmente instabili; successivamente si è determinato il valore dei carichi gravitativi che è necessario sostenere tramite un adeguato intervento di bullonatura e sono state effettuate le relative verifiche statiche.

L'analisi è stata effettuata tramite il programma di calcolo SWEDGE (Analysis of the geometry and stability of surfaces wedges), che permette di identificare i cunei di roccia di primo ordine prodotti dall'intersezione dei diversi piani di discontinuità con la superficie di sbancamento.

Sono stati utilizzati gli stessi dati geostrutturali delle verifiche grafiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza della parete d'attacco dell'imbocco.

Anche le giaciture delle pareti interessate dall'analisi sono le stesse, ed anche in questo caso sono state condotte 3 verifiche, sulla base delle combinazioni strutturali possibili.

I dati d'ingresso riguardanti le proprietà geomeccaniche dei giunti (inclinazione, immersione, coesione, angolo d'attrito e densità della roccia) sono inseriti manualmente nel programma, il quale, esaminando le intersezioni tra i giunti e la superficie del pendio, isola i cunei di possibile distacco ed individua quelli cinematicamente instabili.

Per la suddetta analisi sono stati considerati i seguenti parametri:

peso di volume γ = 26 kN/m3

coesione c' = 0 kPa

angolo d'attrito ϕ' = 30°

Il programma calcola automaticamente le dimensioni dei cunei che si formano al fronte dello sbancamento fornendone una rappresentazione tridimensionale e il relativo fattore di sicurezza.

Una volta individuata la geometria e la massa del cuneo di distacco, è possibile inserire i vettori che simulano l'azione della forza sismica. Nel caso in esame è stato inserito un coefficiente sismico pari a 0.07, ottenuto moltiplicando l'accelerazione massima del suolo a_g (pari a 0.05 – zona 4) per un coefficiente topografico S_t pari a 1.4.

Deve essere precisato che il programma è in grado di elaborare soltanto due famiglie di giunti per volta, quindi, per l'imbocco lato Savona, con tre sistemi di giunti, il numero di combinazioni strutturali possibili è uguale a 3; per l'imbocco lato Borzoli, con quattro sistemi di giunti, il numero di combinazioni strutturali possibili è uguale a 6.

L'ultimo step di calcolo prevede di inserire i supporti previsti, ovvero bulloni ad ancoraggio continuo, così da poter ottenere il coefficiente di sicurezza totale.

Nel paragrafo successivo si analizzano le caratteristiche dei bulloni utilizzati.

4.2.5 **Verifiche delle chiodature**

E' possibile analizzare l'effetto prodotto da un intervento di bullonatura sulla stabilità del singolo blocco inserendo i parametri tecnici specifici dell'intervento e la lunghezza dei bulloni.

Le chiodature previste sono barre in acciaio tipo "GEWI", di diametro ϕ 25 mm e lunghezza 6 m, messe in opera ortogonalmente alla parete di scavo.

La resistenza a rottura delle suddette barre è pari a

Fy = 24.6 tonn

La resistenza allo sfilamento è pari a:

$$F = \tau A = \tau \pi \phi L$$

dove:

τ tensione tangenziale limite d'aderenza malta - terreno

ϕ diametro del foro

L lunghezza bullone esterno al cuneo

Letteratura e prove sperimentali forniscono, per la roccia in esame, un valore di tensione tangenziale limite compreso nel range 1.9 – 1.7 MPa.

Nelle analisi effettuate si considera τ = 1.7 MPa e ϕ = 48 mm.

Pertanto si ottiene una tenuta a sfilamento per metro di bullone pari a:

F = 26.14 t/m

La resistenza del bullone si ottiene moltiplicando la forza unitaria per ogni metro lineare di bullone esterno al cuneo, ancorato nell'ammasso, e comunque non superiore al valore di resistenza a rottura del bullone (24.6 tonn).

I bulloni sono disposti a maglia quinconcia 2.0 x 2.0 m, ovvero con una densità di 0.125 bulloni al m^2. Questo dato è importante poiché nel programma di calcolo, una volta determinata la geometria del cuneo, quindi anche l'area della superficie lungo il pendio, si ottiene il numero totale dei chiodi interessati, così da poter calcolare la capacità portante totale ed il relativo coefficiente di sicurezza.

4.2.6 **Imbocco lato Savona**

I quattro sistemi di discontinuità principali rilevati hanno evidenziato che, tra le tre combinazioni strutturali possibili, quelle che generano cunei potenzialmente instabili sono le combinazioni K3 – giunti di strato e K2 - K3. Di seguito si inseriscono le figure tridimensionali dei cunei generati, le tabelle con le caratteristiche geometriche ed il relativo fattore di sicurezza.

Stratificazione – K3

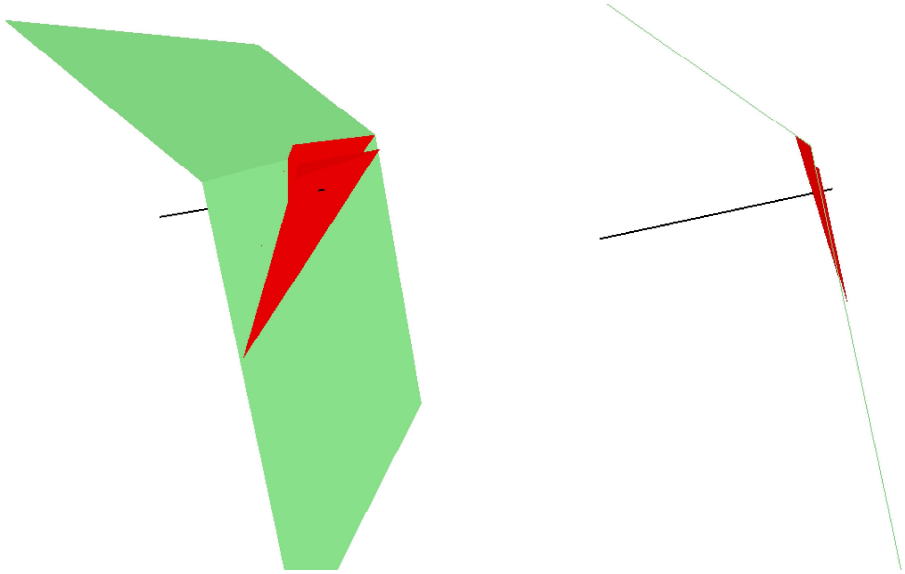


Figura 12 – Stratificazione K3- statico

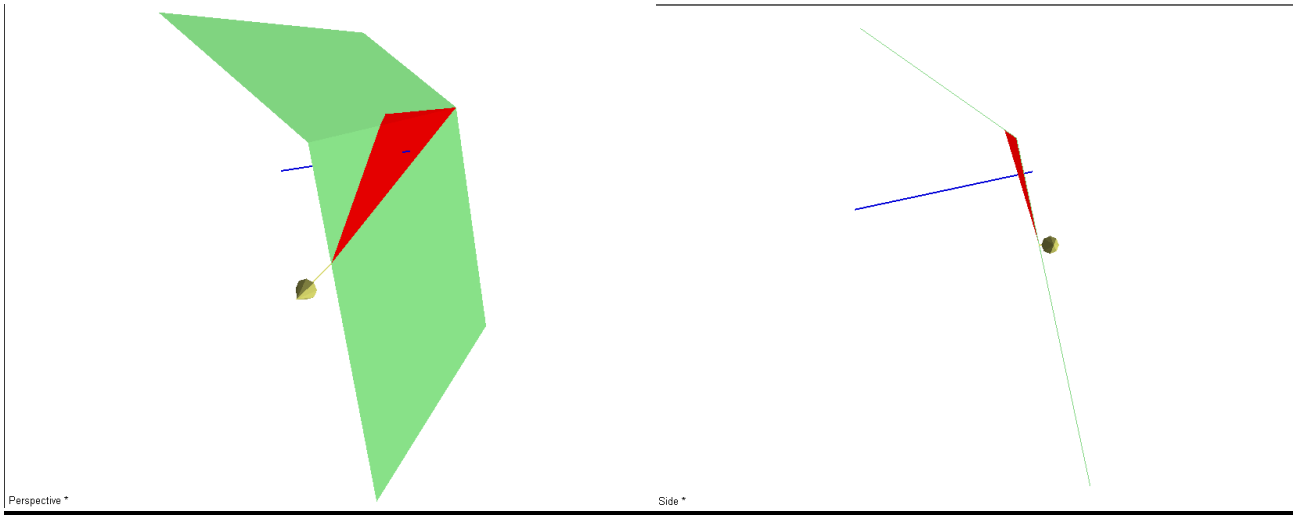


Figura 13 – Stratificazione K3-sismico

Combinazione	Caso	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
St – K3	STATICO	5.87	2.257	19.58	20.82
St – K3	SISMICO	5.87	2.257	19.58	20.60

K2 – K3

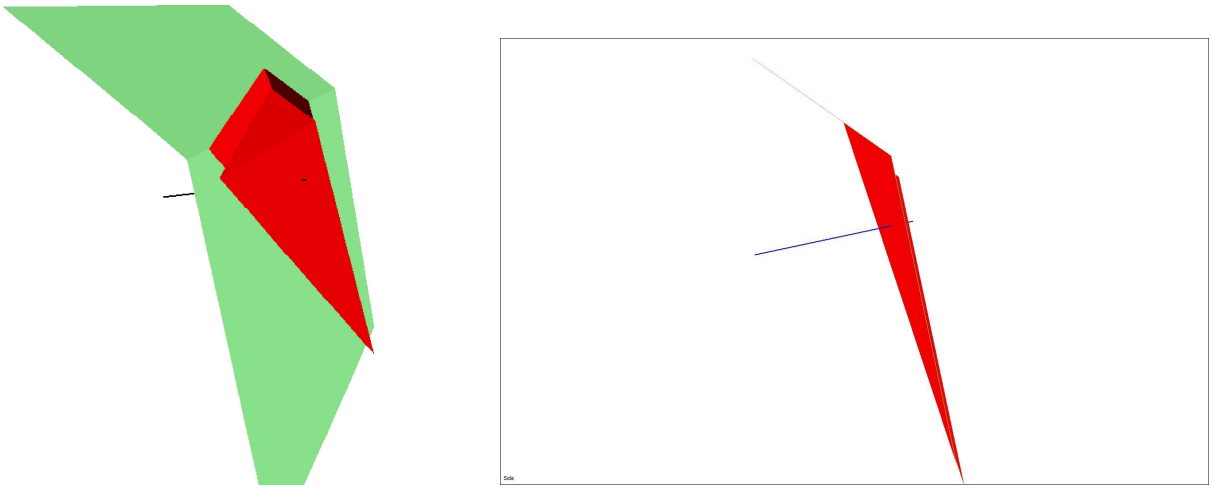


Figura 14 – Stratificazione K2-K3 - Statico

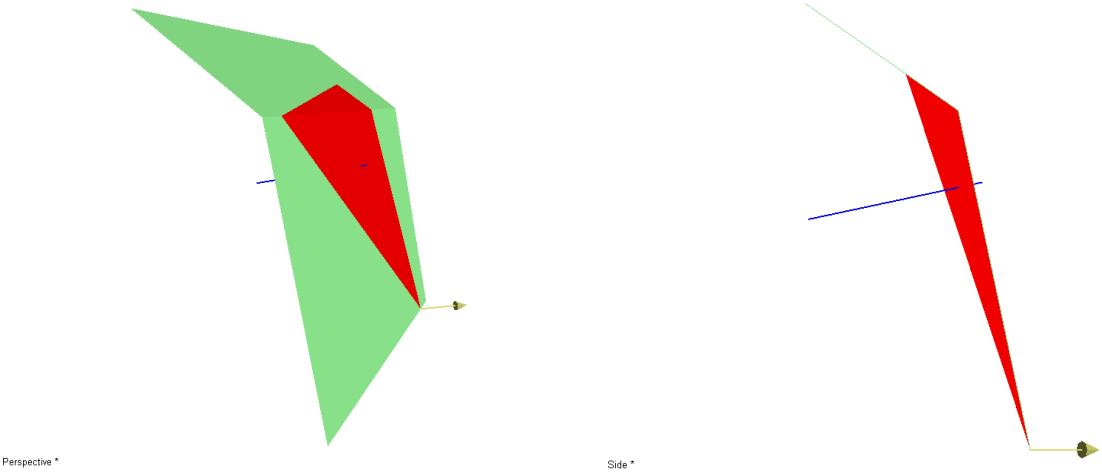


Figura 15 – Stratificazione K2-K3 – Sismico

Combinazione	Caso	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
K2 – K3	STATICO	83.13	31.974	61.99	5.135
K2 – K3	SISMICO	83.13	31.974	61.99	4.9227

4.2.7 Imbocco lato Borzoli

I tre sistemi di discontinuità principali rilevati hanno evidenziato che, tra le sei combinazioni strutturali possibili, quelle che generano cunei potenzialmente instabili sono le combinazioni K2 – K3

e K4 – giunti di strato. Di seguito si inseriscono le figure tridimensionali dei cunei generati, le tabelle con le caratteristiche geometriche ed il relativo fattore di sicurezza.

Come dedotto anche dalle verifiche grafiche, anche le combinazioni K3/K4 e la K3 e K3/giunti di strato, possono generare cunei potenzialmente instabili, ma come dedotto anche dalle verifiche grafiche, le probabilità che il fenomeno avvenga sono ridotte, poiché l'intersezione delle discontinuità sopraccitate ricadono lungo il perimetro dell'area a rischio.

K2 – K3

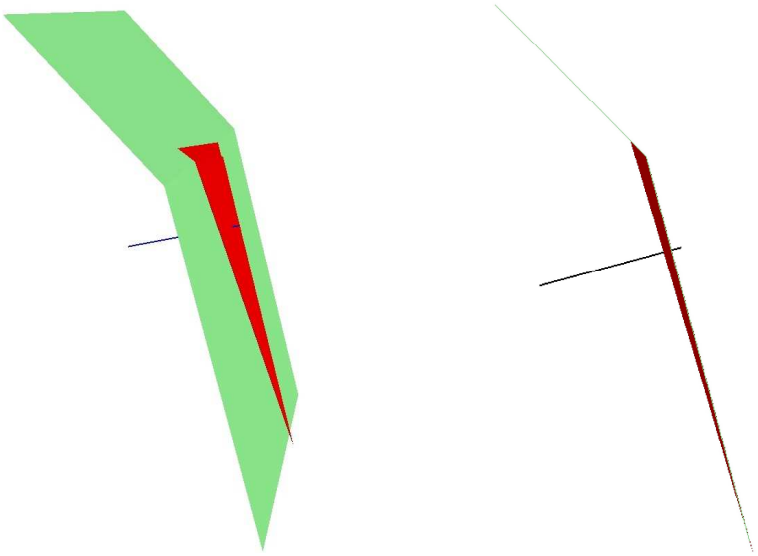


Figura 16 – Stratificazione K2-K3 - Statico

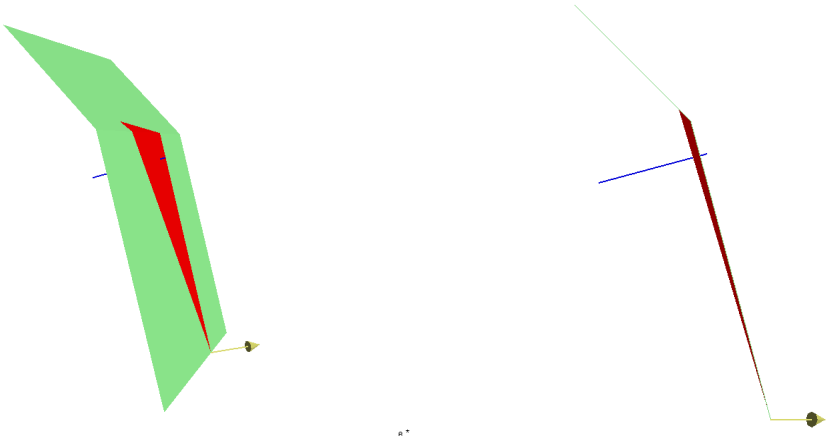


Figura 17 – Stratificazione K2-K3 – Sismico

Combinazione	Caso	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
K2 – K3	STATICO	19.35	7.441	45.80	17.56
K2 – K3	SISMICO	19.35	7.441	45.80	16.84

St – K4

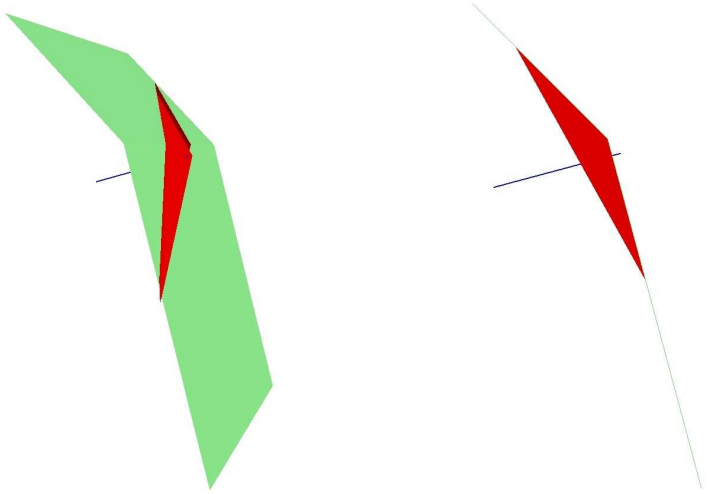


Figura 18 – Stratificazione St-K4 - Statico

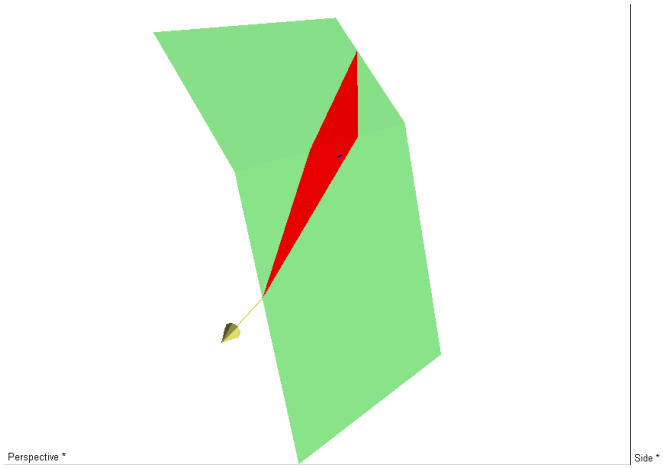


Figura 19 – Stratificazione St-K4 - Sismico

Combinazione	Caso	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
St – K4	STATICO	43.06	16.563	15.65	4.452
St – K4	SISMICO	43.06	16.563	15.65	3.948

4.2.8 **Analisi dei risultati**

Le analisi condotte hanno evidenziato la necessità di prevedere l'installazione di chiodi, i quali costituiscono un'opera di protezione passiva che agisce sulla stabilità del versante ed in particolare sui blocchi di maggiori dimensioni, assicurando una continuità di coesione nei primi metri superficiali dell'ammasso, che vengono in tal modo "collegati" all'ammasso profondo. L'intervento di messa in sicurezza del versante dovrà inoltre prevedere una rete elettrosaldata, la quale ha invece la funzione di trattenere gli elementi di minori dimensioni che potranno essere smossi durante le operazioni di scavo. Le verifiche mostrate nei precedenti paragrafi hanno dimostrato l'efficacia dell'intervento previsto, per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato relativo.

Dato il dislivello del versante non è possibile predisporre rinforzi corticali su tutta l'estensione dello stesso. Per questa ragione a quote "strategiche" sono state ubicate barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia (barriera deformabile). La scelta di tale tipologia di barriera è stata determinata in funzione della geometria stessa del versante, il quale prosegue praticamente senza interruzioni di pendenza significative fino a quote molto elevate.

5. VERIFICHE GALLERIA NATURALE

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale 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.

5.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO

La valutazione di come si evolve lo stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile solo attraverso l'attenta analisi dei fenomeni deformativi in quanto essi ci possono dare indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

In particolare, l'elemento centrale per l'analisi dell'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno del cavo, attraverso la quale è possibile valutare la stabilità della galleria, è il comportamento del fronte di scavo.

Tale comportamento è condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento.

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.

5.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A)

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

In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta; il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

5.1.2 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 in tal modo non può più avere 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 e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna causata dal fatto che localmente viene superata la resistenza di picco.

Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento al fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal caso verrà fornito l'opportuno contenimento all'ammasso che potrà così essere condotto verso la stabilità, ed il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

In caso contrario lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni d'instabilità del cavo.

5.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti manifestandosi già prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso, provocando in tal modo la mobilizzazione della resistenza di fasce di terreno concentriche alla galleria e sempre più esterne, a scapito di ulteriori deformazioni inducendo quindi forme di instabilità irreversibili fino a causare il crollo della galleria.

Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

5.2 CALCOLO DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO ALLO SCAVO

Si vuole adesso determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo per ognuno dei gruppi a caratteristiche geomeccaniche omogenee precedentemente individuati, ed in funzione anche dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato.

Si è quindi considerato opportuno in questa fase di diagnosi prescindere dalla geologia locale per impostare un discorso di tipo parametrico che consenta una più agile previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo. Per ogni singolo gruppo sarà quindi possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in gioco. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, non si potrà evitare di considerare le condizioni geologiche puntuali: quindi ad una stessa classe di comportamento corrispondono diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo si può utilizzare il "metodo delle linee caratteristiche".

5.2.1 Linee caratteristiche della cavità

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

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

Per ogni galleria è possibile costruire due linee caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta linea caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo,
- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta linea caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

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

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni si scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue

condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

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

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

5.2.2 **Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento**

Per determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo, si sono valutate le linee caratteristiche per le possibili condizioni geomeccaniche riscontrabili durante gli scavi sotto le massime coperture presenti. In seguito si riportano, in base ai differenti contesti geomeccanici individuati, i parametri di resistenza e di deformabilità assunti per il calcolo delle linee caratteristiche, nonché i valori di copertura per i quali è stata effettuata la determinazione della categoria di comportamento allo scavo e i principali risultati ottenuti.

Per maggiori dettagli si faccia riferimento all'allegato 1 dove sono presenti gli output relativi al programma di calcolo.

PARAMETRI GEOMECCANICI

Formazione geologica	γ	C_p	C_r	Φ_p	Φ_r	v	E
	[kN/m^3]	[Mpa]	[Mpa]	[°]	[°]	[-]	[Mpa]
DOL1	27	1	0.8	40	32	0.3	5000
DOL2	27	0.65	0.52	37	30	0.3	3750
DOL3	27	0.3	0.24	35	28	0.3	2500

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI DIAGNOSI

Formazione geologica	Copertura* (m)	R_m (m)	H/D_{medio} (m)	U_{rad} (cm)	R_{pl} (m)	R_{pl}/R_m	U_{fronte} (cm)	U_{fronte}/R_m	$R_{pl\ fronte}$ (m)	$R_{pl\ fronte}/R_m$	Comportamento
DOL1	250	3.19	39.2	1.01	4.60	1.44	0.290	0.091%	3.68	1.15	A/B
DOL2	250	3.19	39.2	2.11	5.89	1.85	0.610	0.191%	4.14	1.30	B
DOL3	250	3.19	39.2	7.94	9.45	2.96	2.300	0.721%	5.23	1.64	B
DOL2	250	4.1	30.5	2.72	7.57	1.85	0.790	0.193%	5.33	1.30	B

*Coperture in chiave calotta

Le analisi effettuate hanno evidenziato che il comportamento del fronte è sempre assimilabile al tipo stabile (A) o stabile a breve termine (B).

6. FASE DI TERAPIA

In questo capitolo verranno presentati inizialmente gli interventi da provvedere in funzione delle differenti categorie di comportamento del fronte che si possono verificare durante lo scavo di gallerie. Nella seconda parte invece saranno descritte le sezioni le sezioni tipo adottate per lo scavo della Galleria Naturale della Cava Vecchie Fornaci e saranno presentate le analisi effettuate per definire e verificare l'efficacia degli interventi previsti. In particolare si svilupperanno due differenti tipi di analisi:

- Modelli discontinui: valutazione della stabilità dei cunei di roccia tramite il software UNWEDGE.
- Modelli continui: si sono svolte analisi mediante linee caratteristiche tramite il software GV4 ed analisi ad elementi finiti impiegando il programma PLAXIS 11.0

6.1 CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi di preconsolidamento, consolidamento e supporto, nonché le relative fasi operative, da adottare durante la realizzazione delle gallerie e necessari a garantire la stabilità del cavo nel breve e nel lungo termine.

Gli interventi di stabilizzazione e di rivestimento di 1ª fase qui previsti verranno adeguati e tarati in corso d'opera sulla base dei rilievi geologico-geostrutturali del fronte di scavo e del comportamento deformativo del fronte (estrusioni) e del cavo (convergenze).

E' possibile definire tre differente tipi di comportamento dell'ammasso allo scavo, che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geologiche e fisiche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte:

CASO A) fronte stabile:

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

atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo con esplosivo.

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

CASO B) fronte stabile a breve termine:

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

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

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

- chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;

- drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- prerivestimento costituito da spritz-beton;

- centine metalliche.

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

CASO C) fronte instabile:

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

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

- jet-grouting sub-orizzontale;

- anello consolidato da iniezioni cementizie;

- chiodi in vetroresina al fronte;

- drenaggi.

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

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurne il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui prerivestimenti.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei prerivestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz- beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto contemporaneo di arco rovescio e murette a 1-2 diametri dal fronte di scavo.

6.2 SEZIONI TIPO APPLICATE

In base alle analisi effettuate si sono definite tre differenti sezioni tipo, da applicarsi in base a quanto indicato in seguito, considerando il contesto geomeccanico attraversato ed eventuali criticità. Tutte le sezioni previste prevedono l'impiego di uno strato di spritz-beton al contorno col fine di garantire la sicurezza nel passaggio dei mezzi, mentre non sono previsti rivestimenti definitivi. Per le sezioni tipo 1 e 2 gli interventi di consolidamento al contorno del cavo sono costituiti, oltre che dallo spritz beton, da centine metalliche accoppiate, mentre per la sezione tipo 3 è previsto il possibile impiego di bulloni radiali per prevenire splaccaggi e contrastare eventuali localizzati cunei instabili.

I valori attesi delle convergenze medie e degli spostamenti massimi delle mire valutati in situ potranno discostarsi dai risultati emersi in sede di calcolo in quanto nella pratica è necessario tenere conto dell'importanza di fattori difficilmente schematizzabili e modellabili numericamente, quali anisotropie nel comportamento deformativo del cavo, condizioni geomeccaniche particolari e localizzate, fasi esecutive e cadenze d'avanzamento. Per questi motivi i range delle convergenze e degli spostamenti delle mire attesi può essere più elevato di quelli calcolati numericamente. In funzione delle caratteristiche d'ammasso e degli spostamenti registrati in corso d'opera sarà compito del progettista operare sulla variabilità delle sezioni tipo in modo da garantire la sicurezza dell'opera nel breve e nel lungo termine.

L'utilizzo degli interventi previsti per le singole sezioni tipo sarà funzione di tali "parametri caratteristici" e dei risultati delle misure riscontrate in corso d'opera (convergenze ed estrusioni).

Per maggiori dettagli sul campo d'applicazione di ciascuna sezione tipo si rimanda alla fase successiva di progettazione esecutiva.

Nel seguito vengono descritte le sezioni tipo previste per l'opera in oggetto.

6.2.1 **Sezione tipo 1**

La sezione Tipo 1, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilato IPN140 passo p = 1.0 m, controventate tra loro;

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, nelle zone maggiormente fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture, nelle zone di maggior criticità (parietalità, faglie ecc): per maggiore dettaglio si faccia riferimento al profilo geomeccanico. In tali contesti i parametri geomeccanici sono assimilabili ai valori minimi del range definito per la formazione.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN140 passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

6.2.2 **Sezione tipo 2**

La sezione Tipo 2, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilato IPN140 passo p = 1.6 m, controventate tra loro;

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, zone mediamente fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture. Per maggiore dettaglio si veda il profilo geomeccanico.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN140 passo 1.60m e da uno strato di spritz-beton di spessore 15 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

6.2.3 **Sezione tipo 3**

La sezione Tipo 3, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato
- Eventuali bulloni radiali ad ancoraggio puntuale diametro 24mm e lunghezza minima 4m

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, nelle zone poco fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture: per maggiore dettaglio si veda il profilo geomeccanico. In tali contesti i parametri geomeccanici sono assimilabili ai valori massimi del range rilevati per la formazione.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da uno strato di spritz-beton di spessore 15 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato.

Ove necessario, al fine di contrastare eventuali e localizzati cunei instabili sarà possibile procedere con l'installazione di bulloni radiali ad ancoraggio puntuale, diametro 24mm e lunghezza minima 4m.

6.2.4 **Sezione Allargata**

La sezione Allargata, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da due profilati accoppiati di tipo IPN140 passo p = 1.4 m;

Campo di applicazione

Prevista nelle zone di allargo per passaggio mezzi. Per maggiore dettaglio si veda il profilo geomeccanico.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 2.8 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN140 passo 1.40m e da uno strato di spritz-beton di spessore 15 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

6.2.1 **Materiali impiegati**

Il prerivestimento in spritz-beton è stato schematizzato nelle analisi presentate in seguito come un materiale a comportamento elastico-lineare avente le seguenti caratteristiche:

fcm = 25 MPa $\sigma_{sb,amm}$= 19.2 MPa

Le centine sono costituite da acciaio tipo Fe430 con $\sigma_{steel,amm}$= 210 MPa

6.3 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI DISCONTINUI

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 (Analysis of wedge geometry and stability of underground excavations, edito da Rock Engineering Group dell'Università di Toronto), che permette:

- l'identificazione e la visualizzazione 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, inserite come dati di input.

L'analisi dei rilievi geostrutturali ha fornito i dati per eseguire, conformemente agli obiettivi del presente studio, verifiche strutturali sui cunei potenzialmente instabili.

Avendo a disposizione i rilievi in corrispondenza delle due zone di imbocco, l'analisi è stata condotta per due differenti tratte: la prima per la tratta rettilinea in corrispondenza della ex cava Buzzi e la seconda per la tratta rettilinea subito dopo l'imbocco lato Borzoli. Le verifiche sono state eseguite per le tratte in cui l'ammasso roccioso costituito dalla Dolomia del Monte Gazzo, può essere considerato rappresentativo delle tratte con comportamento di tipo "A".

L'analisi è stata eseguita nelle seguenti ipotesi:

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

Il calcolo eseguito ha le seguenti caratteristiche:

- vengono individuate le geometrie e dei volumi principali di distacco dei tetraedri rocciosi all'interno del cavo;
- non viene preso in considerazione il regime tensionale al contorno della cavità; poiché questo esercita un'azione stabilizzante sui solidi particolarmente estesi in profondità rispetto alle pareti del cavo, attraverso azioni normali e conseguenti

azioni tangenziali sulle facce del cuneo, tali solidi non sono stati considerati suscettibili a movimento;

- non sono prese in considerazione le pressioni idrauliche;
- viene individuata l'estensione della fascia al contorno del cavo interessata dai potenziali crolli gravitativi (questa analisi risulta particolarmente importante per il dimensionamento della lunghezza degli interventi di consolidamento).

Il programma di calcolo utilizzato individua tutti i cunei di roccia potenzialmente instabili per:

- scivolamento e rotazione lungo un piano o due piani di discontinuità;
- caduta.

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

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

I dati caratteristici relativi ai singoli diedri instabili sono:

- volume del diedro roccioso (m3),
- peso (t),
- dimensione del diedro longitudinale alla cavità (m)
- altezza del diedro inteso come solido pseudopiramidale, con base coincidente con l'area di intersezione con la superficie della cavità (m),

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

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

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

Equazione di Barton

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

6.3.1 VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI

L'analisi viene eseguita tenendo conto anche dei dati geometrici della galleria, ovvero la sagoma di scavo e la direzione dell'asse della singola galleria:

- la tratta lato ex Cava Buzzi ha un asse con direzione N177°E
- la tratta lato imbocco Borzoli ha un asse con direzione N125°S.

La sagoma di scavo è la stessa per tutti i casi analizzati, ed è rappresentata in Figura 20.

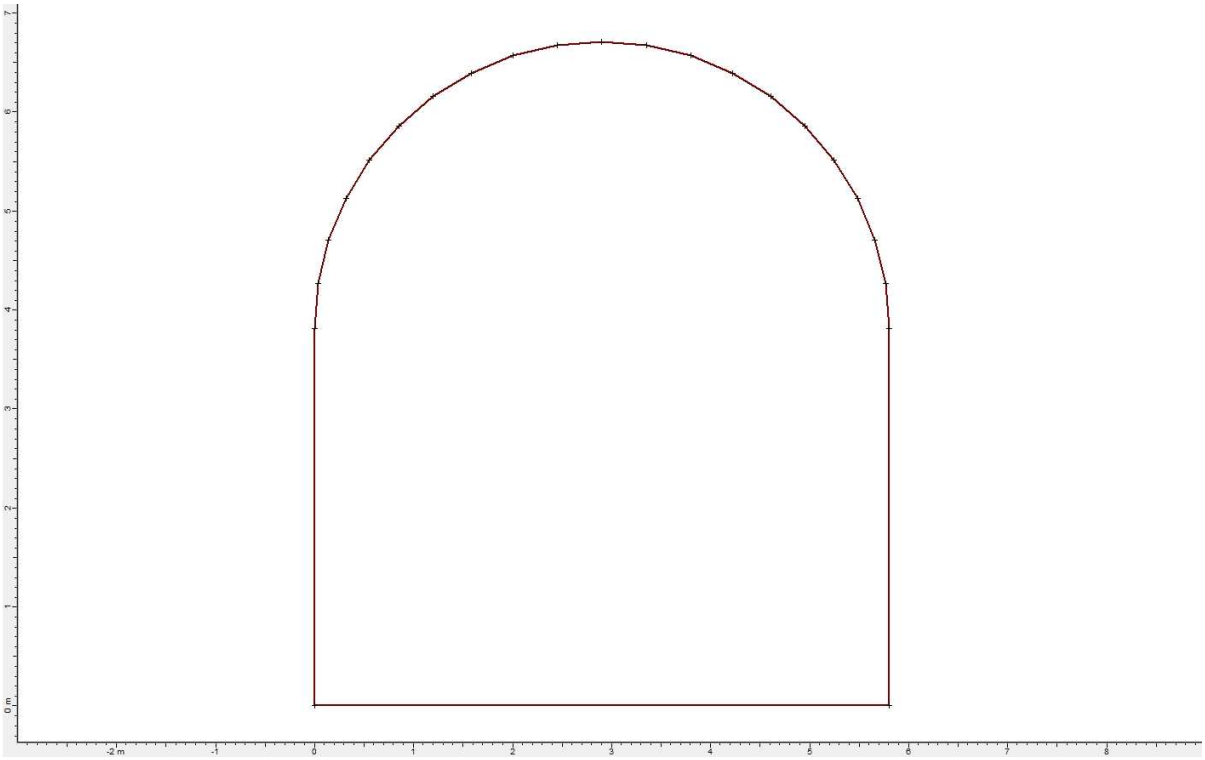


Figura 20 – Sagoma

L'analisi è stata condotta introducendo i dati relativi all'intervento di chiodatura previsto per la sezione tipo "3". Tale intervento è costituito da una bullonatura radiale sistematica, mediante bulloni radiali puntuali in acciaio, di lunghezza pari a 4 m, disposti con una maglia 1*2m, a quinconcia. In questo modo risulta verificato l'incremento del fattore di sicurezza ed il raggiungimento del valore minimo di progetto pari a 1,3.

Le analisi eseguite hanno permesso di individuare i seguenti cinematismi e i relativi coefficienti di sicurezza.

Analisi 1 – tratta lato ex Cava Buzzi

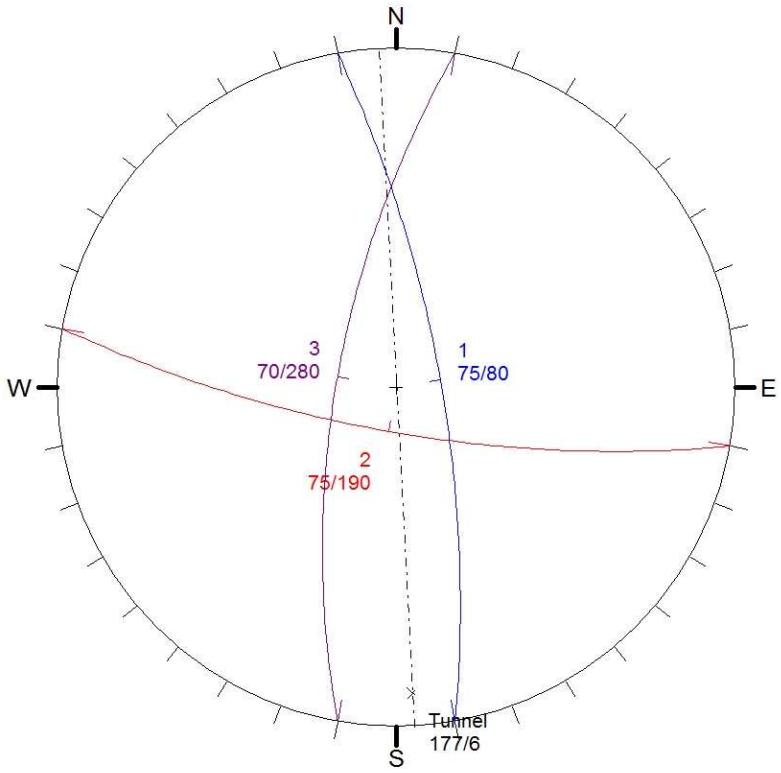


Figura 21 – Stereogramma delle discontinuità e dell'asse della galleria

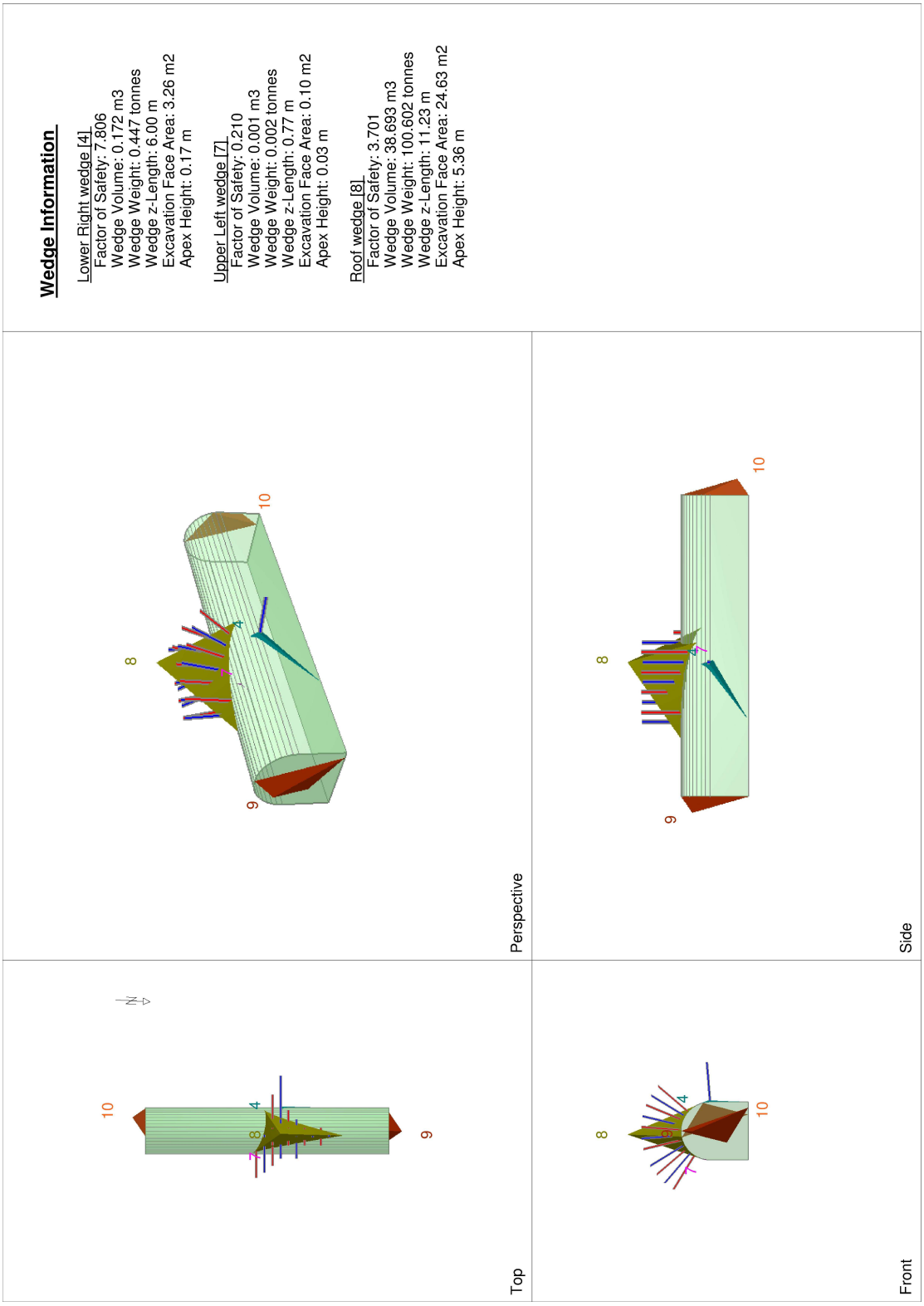


Figura 22 – Analisi tratta ex cava Buzzi

Cuneo	Fattore di sicurezza	Volume (m^3)	Peso (t)	Lunghezza longitudinale (m)	Altezza (m)
4	7.806	0.172	0.447	6.00	0.17
7	0.210	0.001	0.002	0.77	0.03
8	3.701	38.693	100.602	12.23	5.36

Cunei analizzati nell'analisi 1

Come si evince dalla tabella sopra riportata i cunei analizzati possiedono un fattore di sicurezza superiore al minimo progettuale di 1.3; l'unico cuneo avente un fattore di sicurezza inferiore presenta volume e peso irrilevanti, quasi splaccaggi.

Analisi 2 – tratta lato Borzoli

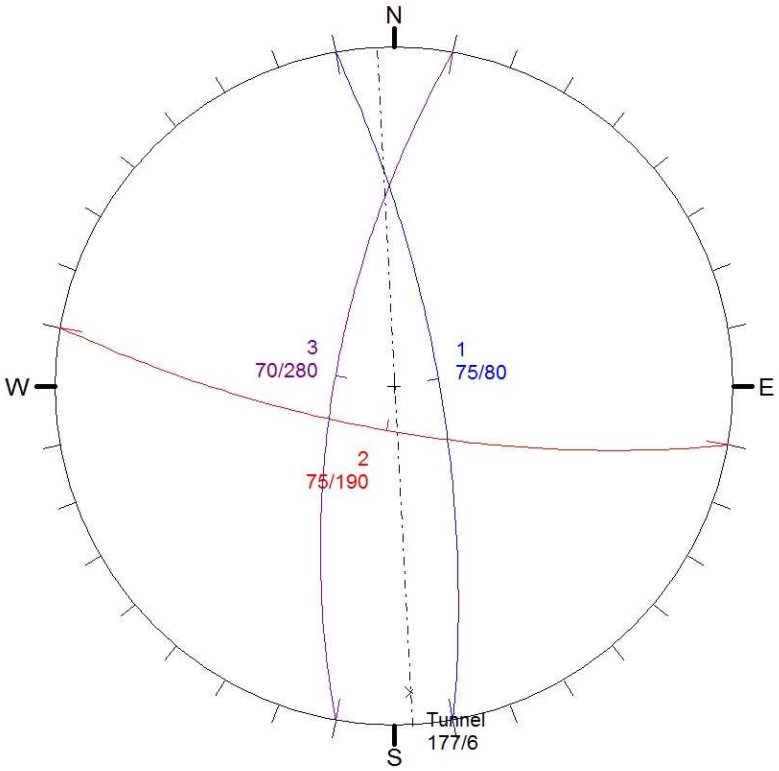


Figura 23 – Stereogramma delle discontinuità e dell'asse della galleria

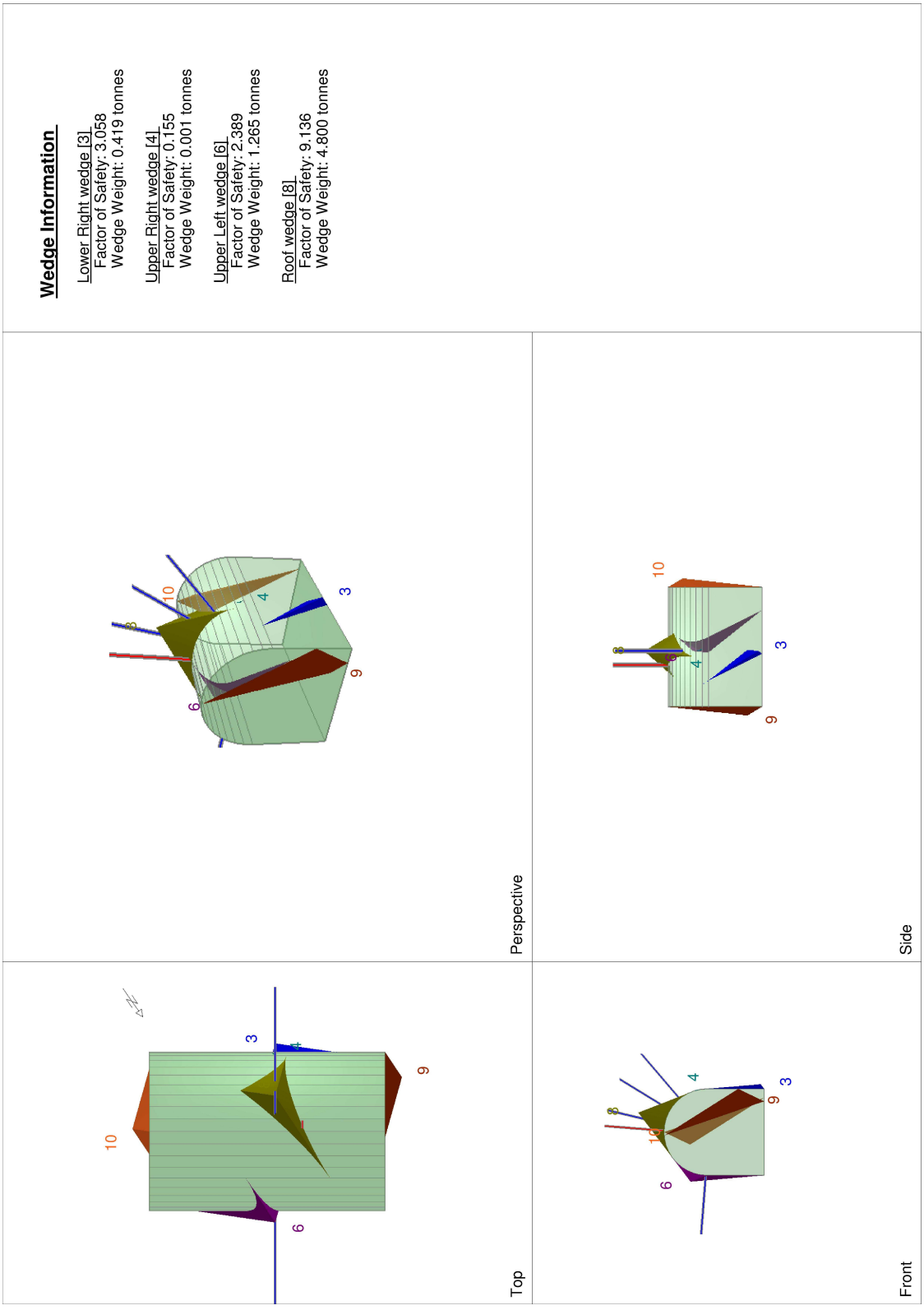


Figura 24 – Analisi tratta lato Borzoli

Cuneo	Fattore di sicurezza	Volume (m^3)	Peso (t)	Lunghezza longitudinale (m)	Altezza (m)
3	3.058	0.161	0.419	2.48	0.31
4	0.155	0.000	0.001	0.15	0.03
6	2.389	0.486	1.265	3.05	0.61
8	9.136	1.846	4.800	3.28	1.91

Cunei analizzati nell'analisi 2

Come si evince dalla tabella sopra riportata tutti i cunei analizzati possiedono un fattore di sicurezza superiore al minimo progettuale di 1.3; l'unico cuneo avente un fattore di sicurezza inferiore presenta volume e peso irrilevanti, quasi splaccaggi.

6.4 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI CONTINUI

In questo capitolo sono descritte le verifiche svolte mediante linee caratteristiche e analisi numeriche tenso-deformative relative alle sezioni tipo presenti nelle gallerie in esame.

Le coperture massime presenti nella tratta considerata per la galleria risultano pari a circa 250 metri; in questa fase l'attenzione è stata concentrata sulla situazione che implica il maggior di tasso di lavoro dei rivestimenti, ragion per cui i calcoli sono stati condotti in presenza delle massime coperture previste per l'applicazione delle sezioni tipo prevalenti.

6.4.1 Analisi mediante linee caratteristiche

In fase di terapia si sono eseguite le analisi mediante le linee caratteristiche inserendo nel calcolo gli interventi previsti per ciascuna sezione tipo, in modo da verificarne l'efficacia. Si sottolinea che le analisi sono state calcolate direttamente per le massime coperture relative al campo d'applicazione di ogni sezione tipo. Le percentuali d'applicazione delle sezioni tipo sono riportate all'interno del profilo geomeccanico. Si riportano nel seguito i principali risultati ottenuti dalle analisi svolte; per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 1, dove sono contenuti gli output del programma di calcolo

PARAMETRI GEOMECCANICI DI CALCOLO

Formazione geologica	γ	C_p	C_r	Φ_p	Φ_r	v	E
	[kN/m^3]	[Mpa]	[Mpa]	[°]	[°]	[-]	[Mpa]
DOL1	27	1	0.8	40	32	0.3	5000
DOL2	27	0.65	0.52	37	30	0.3	3750
DOL3	27	0.3	0.24	35	28	0.3	2500

INTERVENTI

SEZIONE TIPO	Variabilità	centine	passo	spritz beton	Dist. installazione
	[-]	[-]	[m]	[cm]	[m]
TIPO1	Media	IPN 140	1	20	4.2
TIPO2	Media	IPN 140	1.6	15	4.2
TIPO3	Media	-	-	15	4.2
ALLARGATA	Media	2xIPN140	1.4	15	4.2

RISULTATI ANALISI LC - FASE DI TERAPIA							Prerivestimenti			
Sezione tipologica	Formazione geologica	Copertura	R_m(m)	U_{fronte} (cm)	$R_{pl\ fronte}$ (m)	$R_{pl\ fronte}/R_m$	$U_{messa\ opera}$ (m)	σ_{spritz} (MPa)	σ_{cent} (MPa)	$Conv_{rad,preriv}$ (cm)
TIPO1	DOL3	250	3.19	0.290	3.68	1.15	5.950	1.72	11.20	0.1500
TIPO2	DOL2	250	3.19	0.610	4.14	1.30	1.91	0.98	6.50	0.09
TIPO3	DOL1	250	3.19	2.300	5.23	1.64	0.96	0.37	-	0.03
ALLARGATA	DOL2	250	4.1	0.790	5.33	1.30	2.4	1.08	7.30	0.13

6.4.2 **Analisi bidimensionali agli elementi finiti**

Le analisi tensio-deformative riportate di seguito sono state condotte per mezzo del codice di calcolo PLAXIS2D versione 11, sviluppato dalla Delft University of Technology & Plaxis bv, Olanda, il quale consente di eseguire analisi di stabilità e di deformazione per applicazioni geotecniche in condizioni di deformazioni piane e condizioni assialsimmetriche.

Il problema in stato di deformazione piana viene studiato costruendo un modello agli elementi finiti, specificando le proprietà dei materiali e le condizioni al contorno.

Il modello in stato piano può essere adoperato nel caso in cui la geometria sia riconducibile ad una sezione trasversale (nel piano x,y) che si ripete in modo più o meno uniforme nella direzione ad essa normale (direzione z) per una lunghezza significativa. In tal senso lo scavo della galleria viene simulato la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti, attraverso un coefficiente ΣMstage che viene progressivamente incrementato da 0 ad 1.

Il rivestimento di prima fase è stato schematizzato con elementi BEAM, mentre il rivestimento definitivo, qualora previsto, può essere simulato con elementi di mesh a cui vengono attribuite le proprietà del calcestruzzo. Per entrambi i rivestimenti si è adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

L'interazione tra terreno è struttura può essere simulata per mezzo di elementi interfaccia che consentono di modellare un comportamento intermedio tra un contatto perfettamente liscio ed un contatto perfettamente scabro. La scabrezza dell'interazione è modellata mediante un opportuno valore del fattore di riduzione della resistenza all'interfaccia (Rinter). Questo fattore mette in relazione la resistenza all'interfaccia (attrito ed adesione con il muro) con quella del terreno (angolo di resistenza a taglio e coesione).

Il comportamento tensio-deformativo dei terreni può essere modellato per mezzo di vari legami costitutivi:

Modello Linear elastic (Elastico lineare): Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare. Il modello richiede due parametri di rigidezza elastici, che sono il modulo di Young E, ed il coefficiente di Poisson ν. Il modello elastico lineare è molto limitato nei riguardi della simulazione del comportamento del terreno; è utilizzato principalmente per simulare strutture rigide nel terreno.

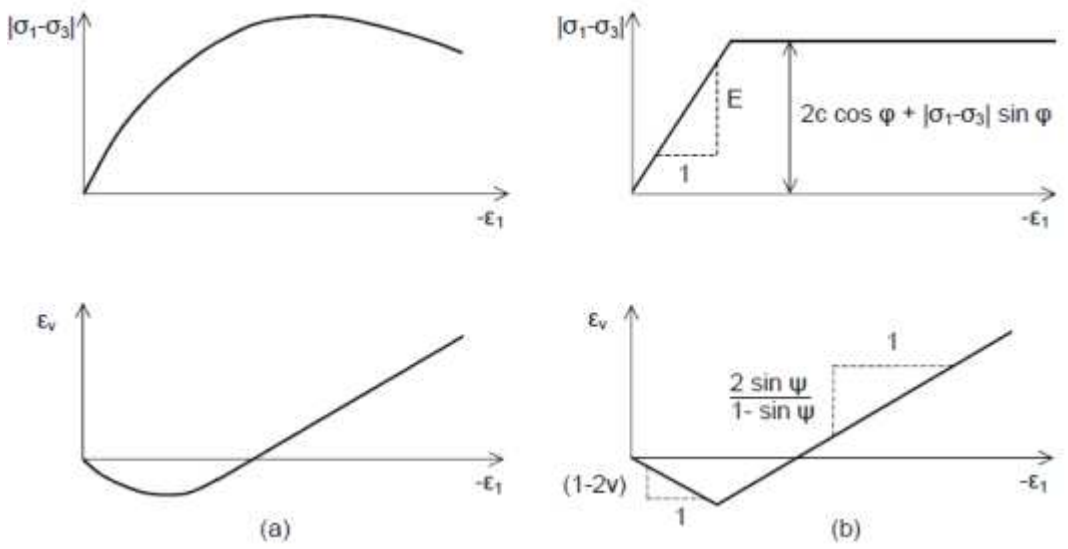
Modello Mohr-Coulomb: Questo modello viene utilizzato come una prima approssimazione del comportamento del terreno in generale. Il modello richiede cinque parametri, che sono il modulo di Young E, il coefficiente di Poisson ν, la coesione c, l'angolo di attrito φ, e l'angolo di dilatanza ψ.

Modello Jointed Rock model (Roccia fratturata): E' un modello elasto-plastico anisotropo in cui può manifestarsi soltanto plasticizzazione per taglio lungo un limitato numero di direzioni (piani). Questo modello può essere adottato per simulare il comportamento di rocce stratificate o fratturate.

Modello Hardening Soil (Terreno incrudente): E' un modello elastoplastico incrudente che riproduce in condizioni di primo carico triassiale un legame tensioni deformazioni di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Il modello è quindi in grado di simulare, tra l'altro, la riduzione irreversibile di volume di un terreno sottoposto a compressione lungo percorsi di carico proporzionali (e.g. carico isotropo, edometrico) a partire da una condizione di normal-consolidazione. Questo modello di 'secondo livello' può essere utilizzato per simulare il comportamento sia di sabbie e di ghiaie sia di terreni più compressibili come argille e limi.

Modello Soft Soil (Terreno compressibile): E' un modello tipo Cam-clay che può essere utilizzato per simulare il comportamento di terreni compressibili quali argille normalmente consolidate e torba. Il modello è particolarmente adatto ad analizzare situazioni nelle quali il terreno è sollecitato lungo percorsi tensionali che lo mantengono in condizioni di normal-consolidazione.

Modello Soft Soil Creep (Creep per terreno compressibile): E' un modello di 'secondo livello' formulato nell'ambito della viscoplasticità. Il modello può essere utilizzato per simulare il comportamento nel tempo di terreni molto compressibili come argille normalconsolidate e torba. Il modello riproduce in condizioni di primo carico edometrico il legame lineare tra deformazioni volumetriche e logaritmo della tensione principale massima.



I parametri del modello in PLAXIS sono intesi a rappresentare la risposta del terreno in termini di tensioni efficaci, e cioè la relazione tra le tensioni e le deformazioni associate allo scheletro solido del terreno. Per consentire di tenere conto, nella risposta del terreno, dell'interazione acqua-scheletro solido, è possibile scegliere tra tre tipi di comportamento:

Drained behaviour (Comportamento drenato): non vengono generate sovrappressioni neutre. Questo è il caso di terreni asciutti ed anche il caso in cui sia possibile un rapido drenaggio per l'elevata permeabilità dei terreni (sabbie) e/o per la bassa velocità di applicazione dei carichi. Questa scelta può anche essere utilizzata per simulare il comportamento del terreno a lungo termine senza la necessità di modellare l'esatta storia delle sollecitazioni in condizioni non drenate e della consolidazione.

Undrained behaviour (Comportamento non drenato): viene utilizzato per simulare la generazione di sovrappressioni neutre in condizioni di flusso idraulico impedito. Tali condizioni possono verificarsi per la bassa permeabilità dei terreni (argille) e/o per l'elevata velocità di applicazione dei carichi. Oltre alla rigidezza ed alla resistenza dello scheletro solido del terreno, PLAXIS aggiunge un modulo di compressibilità volumetrica per l'acqua e distingue tra tensioni totali, tensioni efficaci e sovrappressioni neutre:

Tensioni totali: $\Delta p = Ku\Delta\varepsilon\nu$

Tensioni efficaci: $\Delta p' = (1- B)\Delta p = K'\Delta\varepsilon\nu$

Sovrappressioni neutre: $\Delta pw = B\Delta p = Kw/n\Delta\varepsilon\nu$

dove Δp è un incremento della tensione totale media, $\Delta p'$ è un incremento della tensione efficace media e Δpw è un incremento della sovrappressione neutra. B è il parametro di Skempton, che mette in relazione l'incremento della tensione totale media con l'incremento delle sovrappressioni neutre. Ku è il modulo di rigidezza volumetrica non drenato, K' è il modulo di rigidezza volumetrica dello scheletro solido del terreno, Kw è il modulo di rigidezza volumetrica del fluido interstiziale, n è la porosità del terreno e $\Delta\varepsilon\nu$ l'incremento della deformazione volumetrica.

Per simulare il comportamento non drenato PLAXIS non usa un valore realistico per il modulo di rigidezza volumetrica dell'acqua, in quanto questo potrebbe condurre al cattivo condizionamento della matrice delle rigidezze ed a problemi numerici. Infatti, in caso di compressione isotropa, la rigidezza del mezzo monofase equivalente è, per default, assunta pari ad un modulo di rigidezza volumetrica non drenato:

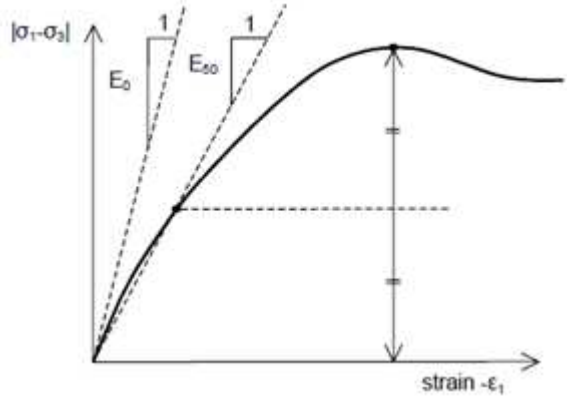
$$K_u = \frac{2G(1+\nu_u)}{3(1-2\nu_u)} \quad \text{dove} \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \text{e} \quad \nu_u = 0.495$$

L'acqua interstiziale è quindi considerata leggermente compressibile ed il coefficiente B appena inferiore a 1,0. Quindi, in condizioni di carico isotrope, una piccola percentuale del carico sarà trasferito alle tensioni efficaci, almeno nel caso di piccoli valori del coefficiente di Poisson efficace.

Non-porous behaviour (Comportamento non poroso): non sono considerate né pressioni neutre iniziali né sovrappressioni neutre. Applicazioni possibili di questo caso sono la modellazione del

comportamento del calcestruzzo o di elementi strutturali in genere. Il comportamento non poroso viene spesso utilizzato in combinazione con il modello Linear elastic (Elastico-lineare). L'introduzione di un peso dell'unità di volume saturo e della permeabilità non è rilevante per materiali non porosi. Il tipo di materiale non poroso può essere applicato anche alle interfacce.

Il modulo di Young è utilizzato come modulo di rigidezza fondamentale dei modelli Elastic e Mohr-Coulomb, ma è possibile anche adottare alcuni moduli di rigidezza alternativi. Nella meccanica dei terreni, la pendenza iniziale della curva tensione-deformazione è indicata con E0 (modulo tangente iniziale) ed il modulo secante al 50% della resistenza è denotato con E50. Per argille fortemente sovraconsolidate e per alcune rocce con un ampio intervallo di carico elastico-lineare, è realistico utilizzare E0, invece per sabbie ed argille pressocché normalconsolidate, soggette a carico, è più appropriato utilizzare E50.



Per i terreni, sia il modulo tangente iniziale che il modulo secante tendono ad aumentare con la tensione media efficace. Quindi, gli strati profondi di terreno tendono ad avere una rigidezza maggiore degli strati superficiali. Inoltre, la rigidezza osservata dipende dal percorso di sollecitazione seguito. La rigidezza è molto più alta per la fase di scarico e di ricarico piuttosto che per la fase di primo carico. Inoltre la rigidezza del terreno osservata in termini di modulo di Young è generalmente più bassa per compressione in condizioni drenate piuttosto che per taglio. Quindi, se si utilizza un modulo di rigidezza costante per rappresentare il comportamento del terreno sarebbe opportuno scegliere un valore che sia coerente con il livello tensionale e con il percorso di sollecitazione atteso. La dipendenza del comportamento dei terreni dal livello tensionale è portata in conto dal software. Per il modello Mohr-Coulomb, è possibile prevedere una rigidezza che aumenta con la profondità.

Le tensioni iniziali in un ammasso di terreno sono determinate dal peso del materiale e dalla storia della sua formazione. Questo stato tensionale è di solito caratterizzato da una tensione verticale efficace iniziale σ'v,0. La tensione efficace orizzontale iniziale σ'h,0 è legata alla tensione efficace verticale iniziale attraverso il coefficiente di spinta a riposo, K0 (σ'h,0 = K0 σ'v,0). In PLAXIS le tensioni iniziali possono essere generate specificando K0 oppure utilizzando la procedura Gravity loading (Generazione delle tensioni iniziali per incremento della gravità).

Per il tipo di calcolo da adottare in una fase viene fatta una distinzione fra tre tipi fondamentali:

Plastic calculation (Calcolo plastico): utilizzato per eseguire un'analisi di deformazione elasto-plastica in cui non sia necessario prendere in considerazione la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo. La matrice di rigidezza in un calcolo plastico normale è riferita alla geometria indeformata originaria. Questo tipo di calcolo è appropriato nella maggior parte delle applicazioni pratiche di tipo geotecnico.

Consolidation analysis (Analisi di consolidazione): Quando è necessario analizzare l'evoluzione o la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo in terreni saturi di tipo argilloso, si deve effettuare un'analisi di consolidazione. PLAXIS consente di effettuare analisi di consolidazione elasto-plastiche. In generale, un'analisi di consolidazione senza ulteriori sollecitazioni viene eseguita dopo un calcolo plastico non drenato.

Phi-c reduction (Analisi di stabilità per riduzione dei parametri di resistenza): Un'analisi di stabilità in PLAXIS può essere eseguita riducendo i parametri di resistenza del terreno; tale processo è denominato Phi-c reduction.

Gli elementi rappresentativi dei rivestimenti sono attivati "free stress" (senza sforzi iniziali) e sono soggetti al peso proprio e agli spostamenti indotti dalle variazioni di rigidezza e di sollecitazione che intervengono nello stesso step di calcolo e nei successivi.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane (*PLANE STRAIN*), ma con accorgimenti tali da rappresentare il progressivo passaggio dal problema tridimensionale, vicino al fronte, a quello piano, lontano dal fronte. L'effetto del fronte di scavo è stato considerato nel calcolo con una progressiva riduzione delle "forze di scavo", ottenuta modificando il coefficiente ΣMstage progressivamente da 0 ad 1. Per ulteriori dettagli sull'utilizzo di tale coefficiente si faccia riferimento al manuale tecnico del programma di calcolo.

6.4.3 Modelli di calcolo impiegati

Si sono svolte due differenti analisi, la prima effettuata alle massime coperture in modo da evidenziare le sollecitazioni massime agenti sugli interventi previsti, la seconda per analizzare gli effetti di parietalità nei primi metri di scavo della galleria naturale. In particolare gli effetti parietali sono stati valutati impiegando una sezione di calcolo prossima all'imbocco Lato Savona (progressiva circa pari a PK 0+873), ovvero dove lo scavo della galleria naturale in oggetto avviene alla minima distanza dal versante, per cui si è impiegata la sezione tipo di attacco.

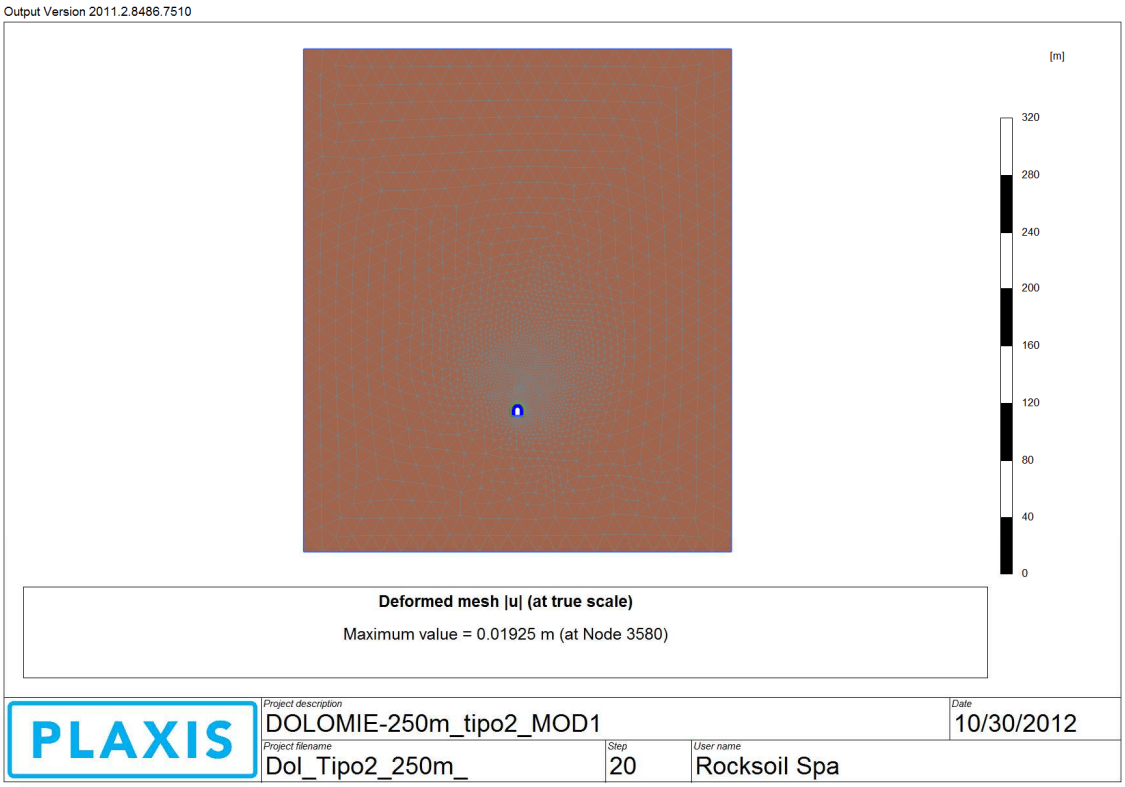


Figura 25 – Modello di calcolo 1 – Mesh di calcolo

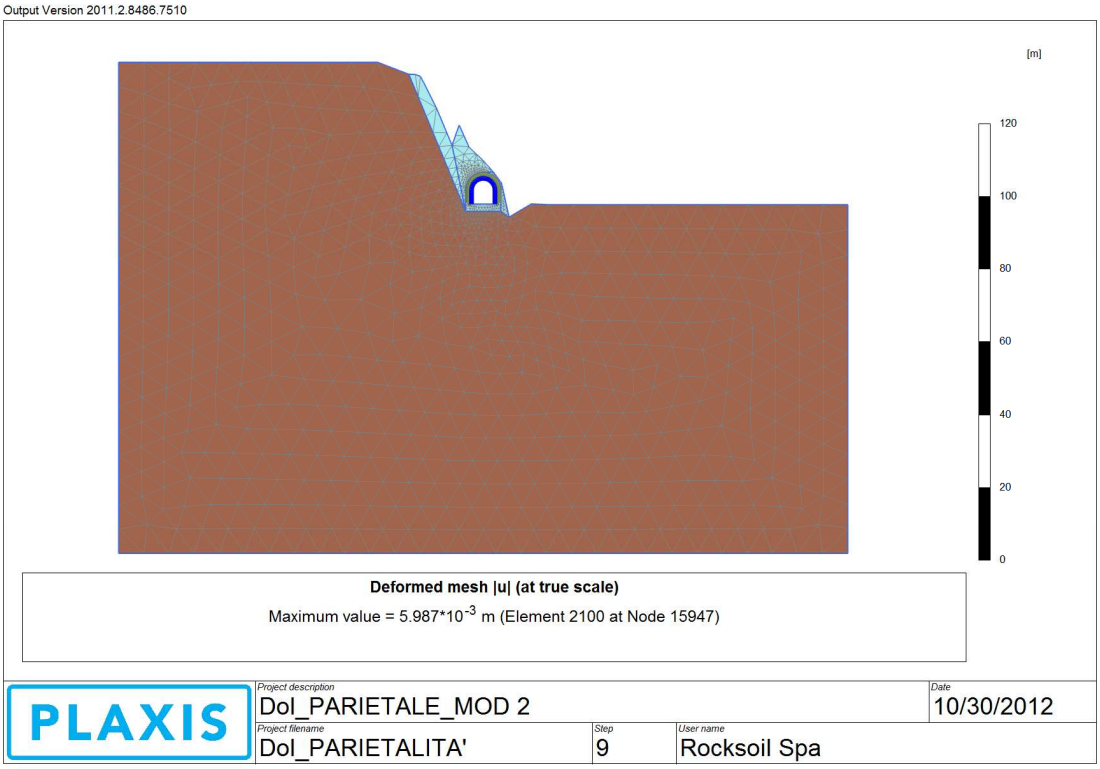


Figura 26 – Modello di calcolo 2 – Mesh di calcolo

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle analisi agli elementi finiti effettuate.

ANALISI	GALLERIA NATURALE	COPERTURA	FORMAZIONE PREVALENTE	SEZIONE TIPO	CONDIZIONE DI CARICO
1	VECCHIE FORNACI	250	DOLOMIE MONTE GAZZO	TIPO 2	Simmetrica
2	VECCHIE FORNACI	5	DOLOMIE MONTE GAZZO	SEZIONE DI ATTACCO	Asimmetrica/Parietale

Per la modellazione delle Dolomie del Monte Gazzo si è utilizzato un semplice modello costitutivo di tipo Mohr-Coulomb utilizzando i valori medi caratteristici per la formazione (a titolo cautelativo si è considerato un valore ridotto per il modulo elastico) coerenti con le precedenti analisi tramite linee caratteristiche. Per quanto riguarda la sezione parietale si sono utilizzati cautelativamente i parametri inferiori del range nella fascia prossima alla coltivazione di cava in modo da considerare il detensionamento indotto dalle lavorazioni e si è impiegata la sagoma di massima area della sezione di attacco per massimizzare gli effetti dello scavo sul versante. Per la modellazione di centine e spritz beton si è impiegato un elemento di tipo “plate” avente le caratteristiche di rigidezza della sezione omogenizzata.

Dolomie del Monte Gazzo					
	γ	φ'	c'	E	ν
	[KN/m3]	[°]	[Mpa]	[Mpa]	[-]
MC_DOL_2	27	37	0.65	3750	0.3
MC_DOL_3	27	35	0.3	2500	0.3

Risultati principali

Nel seguito si riportano i principali risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

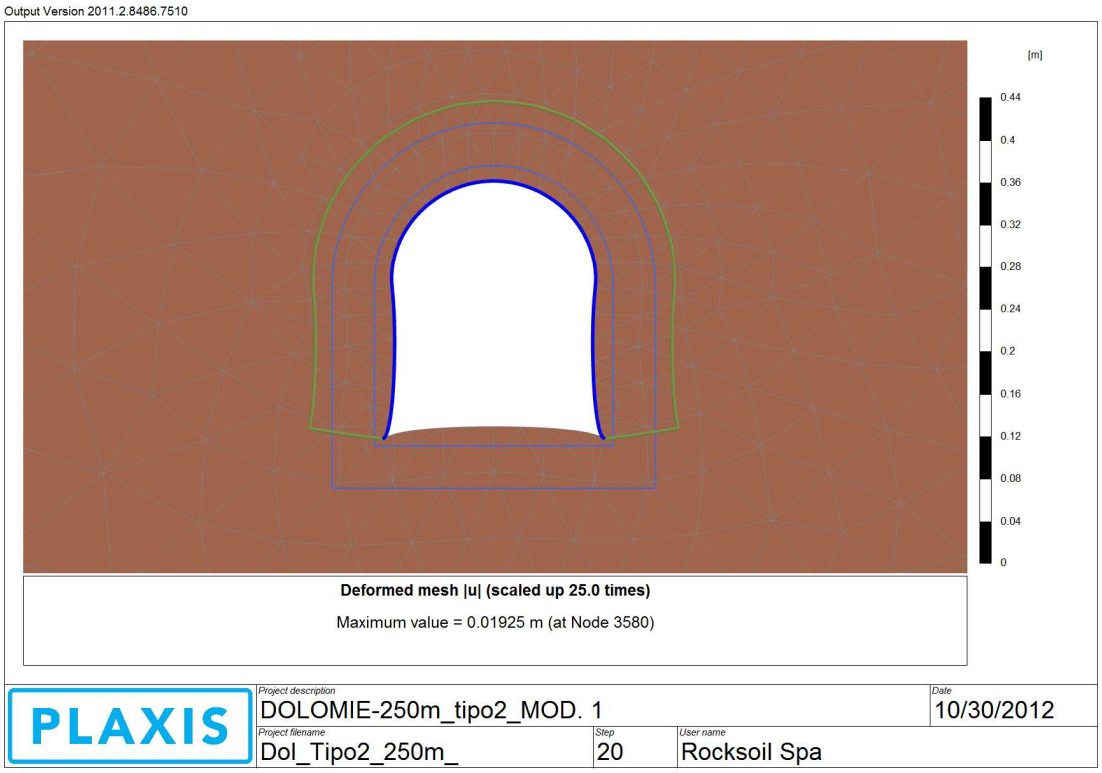


Figura 27 – Modello di calcolo 1 – Configurazione deformata finale

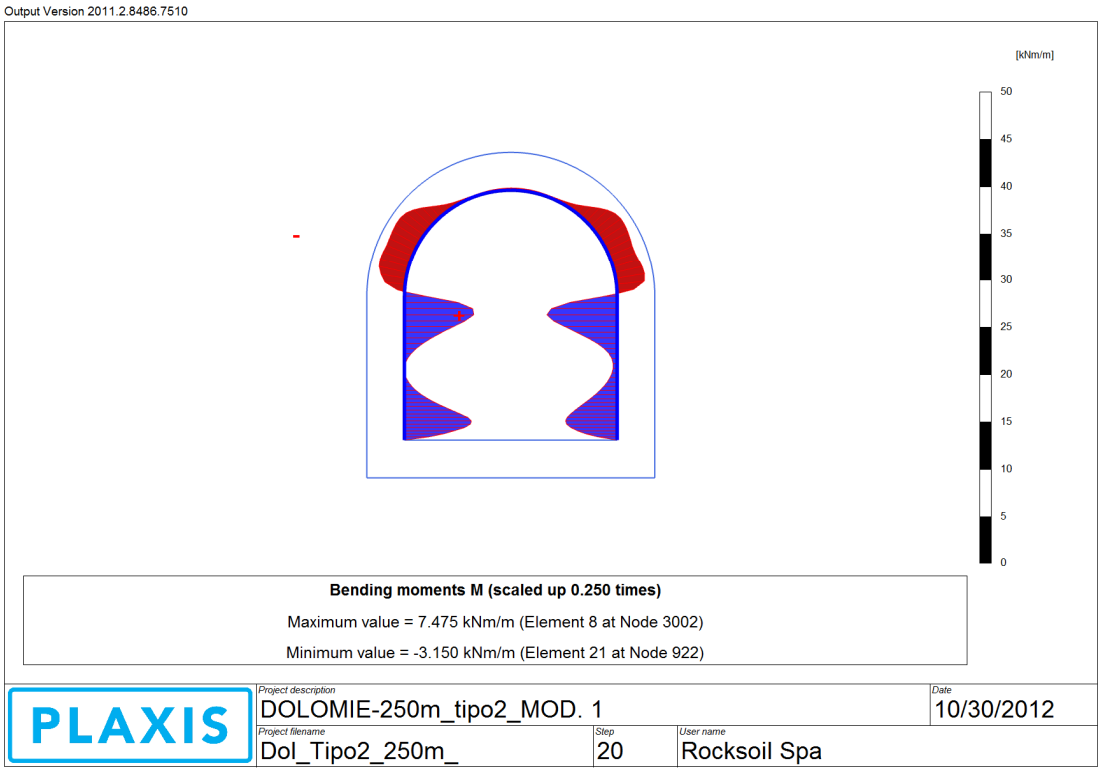


Figura 28 – Modello di calcolo 1 – Azioni flettenti – Ultima fase

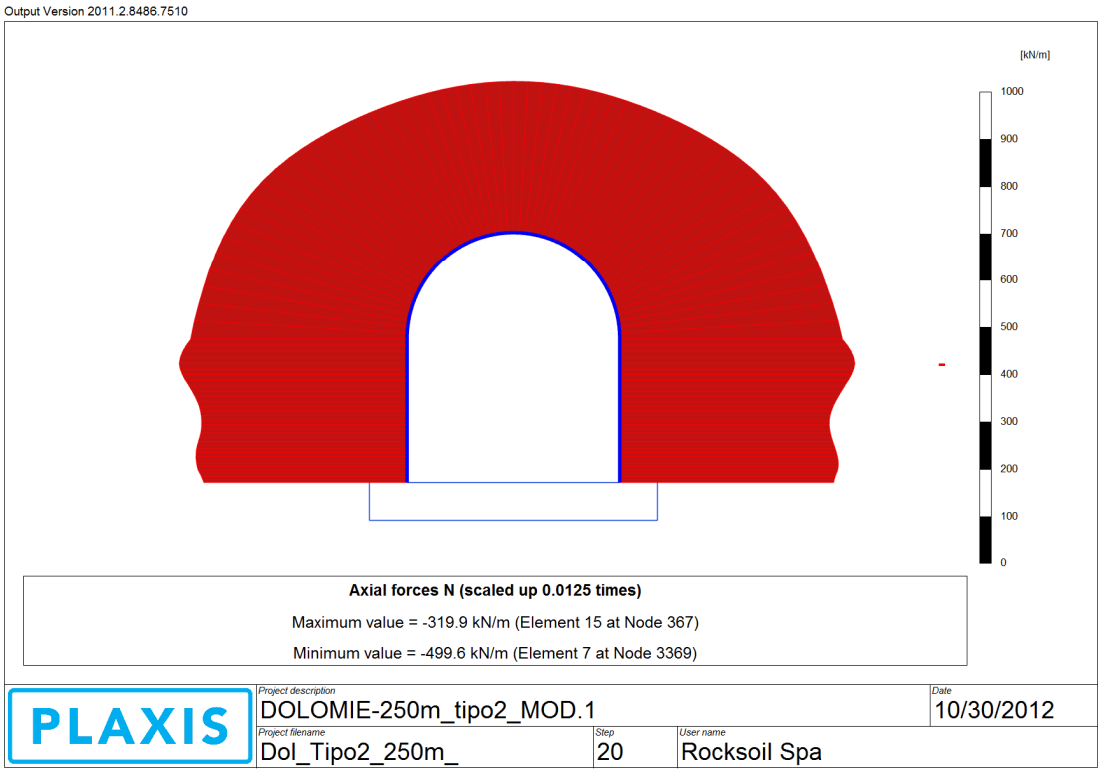


Figura 29 – Modello di calcolo 1 – Azione assiale – Ultima fase

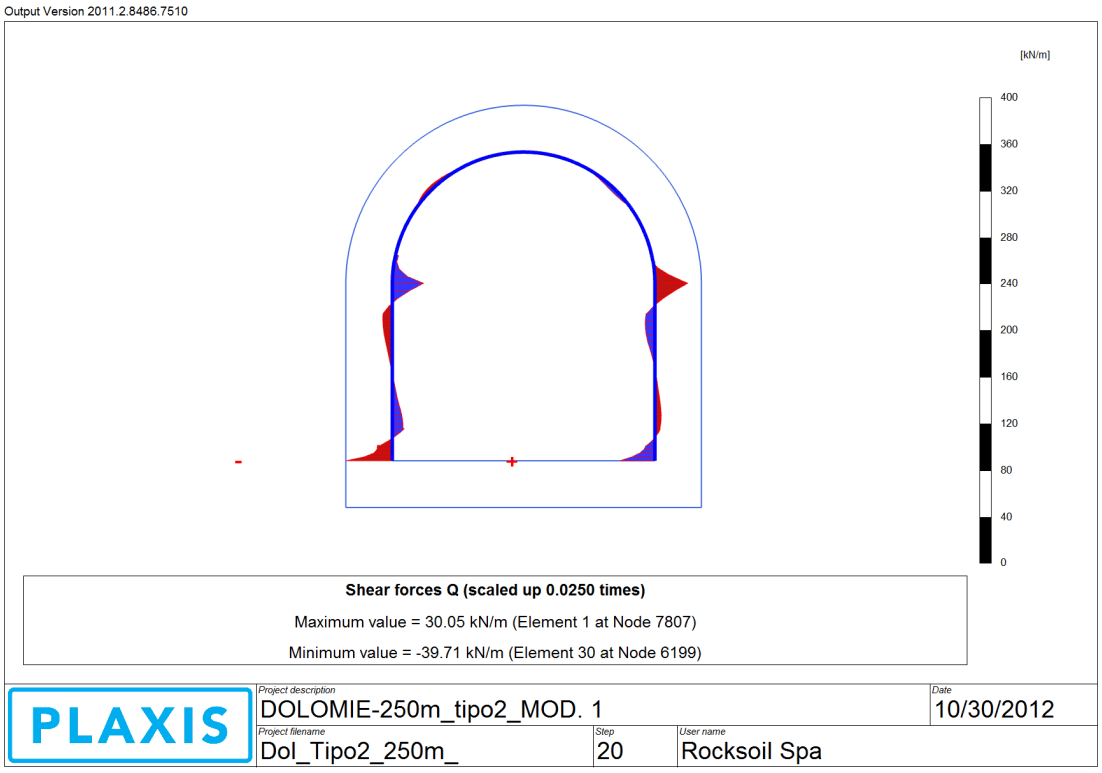


Figura 30 – Modello di calcolo 1 – Azione di taglio – Ultima fase

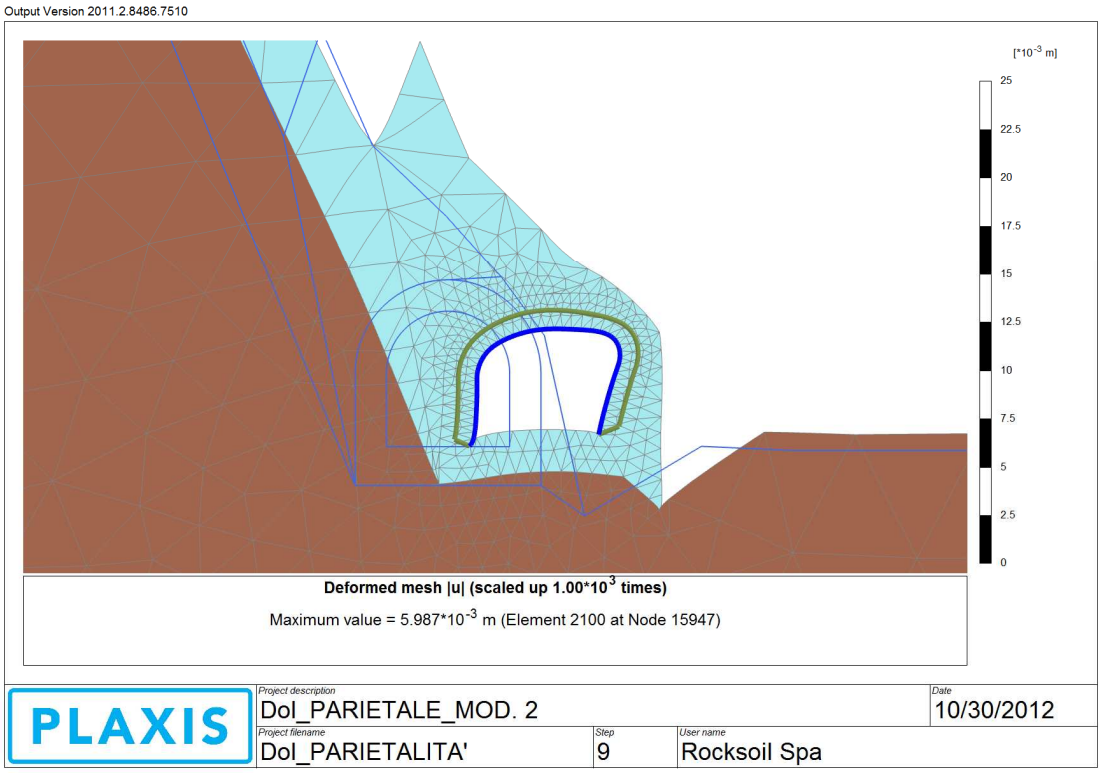


Figura 31 – Modello di calcolo 2 – Configurazione deformata finale

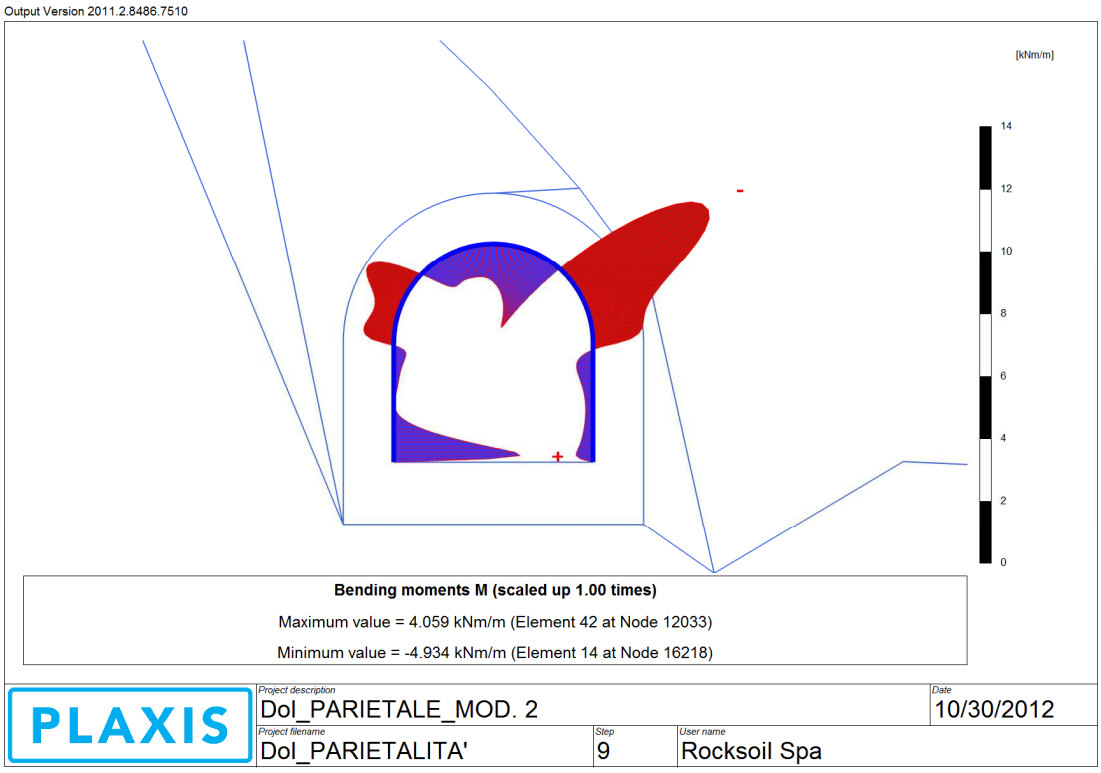


Figura 32 – Modello di calcolo 2 – Azioni flettenti – Ultima fase

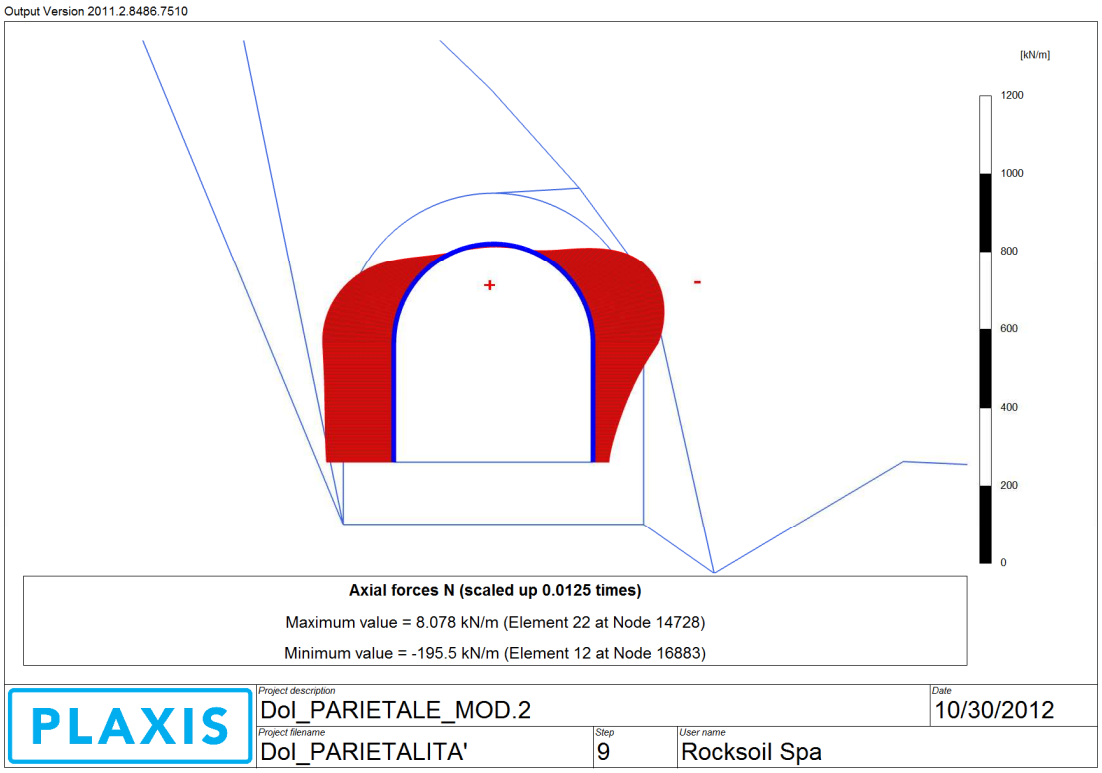


Figura 33 – Modello di calcolo 2 – Azione assiale – Ultima fase

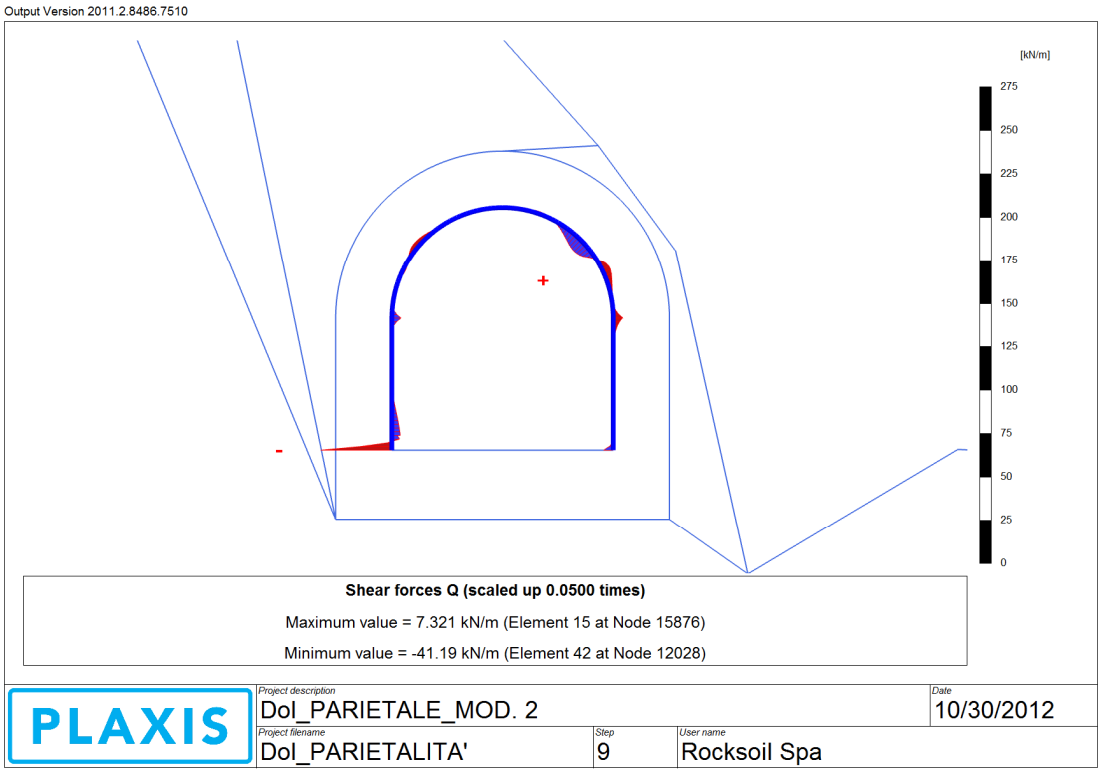


Figura 34 – Modello di calcolo 2 – Azione di taglio – Ultima fase

Le verifiche sezionali per gli interventi al contorno (centine e spritz) sono riportate negli allegati, a cui si rimanda anche per maggiori dettagli sui risultati delle analisi numeriche.

6.4.4 Curve di “relax” nel modello di calcolo

Per simulare il progressivo allontanamento del fronte di scavo dalla sezione di verifica e la contemporanea posa in opera dei sostegni con un’analisi bidimensionale, è necessario introdurre numericamente l’”*effetto fronte*”, rilassando progressivamente le forze di scavo.

L'introduzione del concetto di "effetto fronte" nel calcolo richiede la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti. Tale concetto risulta adeguatamente espresso in termini analitici dalla curva $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_0$ di Panet, che rappresenta in termini di sforzi radiali il passaggio dal comportamento tridimensionale a quello piano. L'adozione della sola curva λ, così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Curve Caratteristiche o a simulazioni con modelli assialsimmetrici, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in corso d'opera. Tale curva deve essere tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale.

Per tale motivo si è stabilito di tarare la riduzione delle forze di scavo facendo in modo di ottenere un valore di convergenza al fronte prossimo a quello determinato mediante il calcolo delle Curve Caratteristiche.

La riduzione così ottenuta va applicata al termine della time geostatica. Si ha pertanto:

$R_{forze,\ fronte} = R_{PANET,\ fronte} * \alpha$

con α = (Rid.%) / $R_{PANET,\ fronte}$ %.

Una volta determinata la riduzione iniziale, le riduzioni alle Time successive verranno determinate proporzionalmente all’andamento della curva $1-\lambda$ di Panet in funzione della distanza dal fronte.

Si ha pertanto:

$R_{forze} = R_{forze,\ fronte} + \beta * (R_{PANET} - R_{PANET,\ fronte})$

in cui il termine β = (100%- Rid. %) / (100% - $R_{PANET,\ fronte}$%) tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

7. CRITICITA' ESECUTIVE

Lo scavo della galleria per l'intera lunghezza interessa la formazione della Dolomia del Monte Gazzo, una serie carbonatica, formata da dolomie triassiche, calcari marnosi retici e calcari e peliti nerastre liassici.

La presenza della dolomia norica ha dato origine, forse già dal medioevo, ad attività estrattive per la cottura della dolomia nei forni a cupola ed a produzione di calce magre per uso edilizio.

L'attività estrattiva è proseguita ininterrottamente, intensificata dagli sessanta, sia per la produzione di calce ad uso edilizio ed industriale, sia per la produzione di pietrisco inerte per conglomerati cementizi. Le aree ed i piani di cava hanno pertanto introdotto alcuni elementi di criticità nell'ambiente ed in particolare nel bacino del torrente Chiaravagna.

Una delle caratteristiche dell'area è la presenza di cavità carsiche: nonostante l'attività estrattiva abbia cancellato buona parte dei fenomeni carsici conosciuti all'interno della dolomia norica che costituisce l'intero corpo del Monte Gazzo, sono tuttora presenti cavità carsiche e grotte (alcune censite) e, l'intera superficie occupata dalle dolomie è da considerarsi a regime idrogeologico carsico.

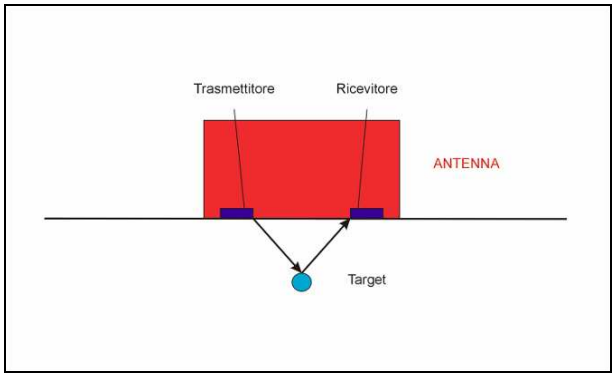
Nel tratto di galleria naturale la presenza di cavità, sia vuote che riempite da terreno sciolto e/o da acqua, rappresenta un elemento di criticità, in particolare nel caso di cavità poste poco al di sotto e in generale in prossimità del contorno di scavo.

Il rischio di intercettare delle cavità con lo scavo va gestito essenzialmente sulla capacità di diagnosticarlo in maniera precoce con idonei mezzi d'investigazione, dal momento che a livello operativo tale rischio può essere unicamente ridotto mediante interventi di intasamento e/o cementazione delle cavità e/o con valutazioni puntuali da individuare di caso in caso.

Le tecnologie d'investigazione oggi più frequentemente impiegate consistono nell'esecuzione sistematica di perforazioni a distruzione in avanzamento con rilevazione dei principali parametri di perforazione e successiva esecuzione di prospezione con antenna georadar.

La prospezione georadar si basa sull'immissione nel mezzo indagato di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza che vengono riflessi da discontinuità presenti nel sottosuolo. Gli impulsi trasmessi dall'antenna si ripetono con una determinata frequenza attraverso la quale è possibile valutare la penetrazione dell'impulso e quindi la profondità di investigazione e la risolvenza del metodo. Maggiore sarà la frequenza, più alta sarà la possibilità di identificare oggetti di dimensioni ridotte, ma minore sarà la profondità di investigazione.

L'antenna è in grado di emettere gli impulsi e contemporaneamente ricevere il segnale riflesso poiché contiene due dipoli: il trasmettitore che genera l'impulso e il ricevitore che registra il segnale riflesso o di ritorno.

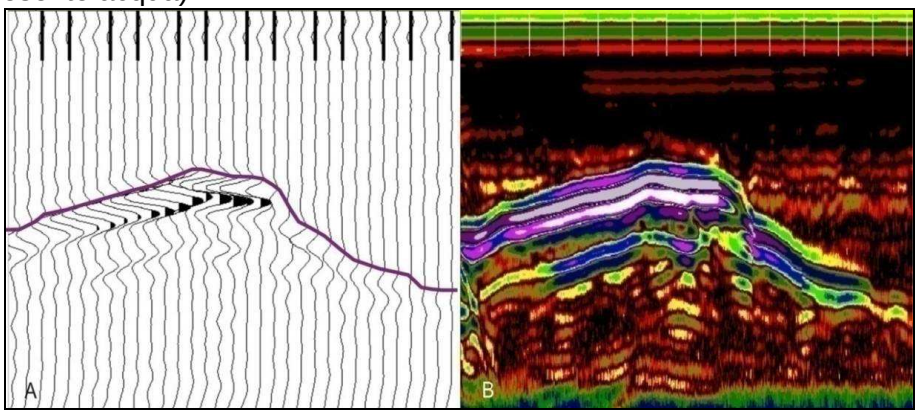


Il segnale viene riflesso quando incontra un contatto tra materiali differenti che abbiano una diversa costante dielettrica. Maggiore è il contrasto di costante dielettrica e più evidente sarà la riflessione ottenuta poiché questa costante influenza la velocità di propagazione del segnale nel mezzo.

Le riflessioni possono essere di tipo lineare, quando il riflettore è rappresentato da una superficie continua, oppure di tipo puntuale qualora il riflettore sia un oggetto di dimensioni ridotte o ben definite (es. barre di armatura, sottoservizi). La riflessione di tipo puntuale appare come un'iperbole, poiché l'antenna emette impulsi che si irradiano come un ampio cono. L'antenna inizia a ricevere segnali di ritorno già mentre si avvicina al riflettore e continua a riceverli anche dopo averlo superato. Il vertice dell'iperbole rappresenta la posizione effettiva del riflettore.

Essendo l'antenna ominidirezionale l'applicazione del metodo georadar consente di definire la minima distanza tra posizione dell'antenna (foro di sondaggio) e l'eventuale riflessione determinata dalla presenza di aste di perforazione.

Il foro dovrà essere realizzato con rivestimento in PVC e tappo fondo foro (all'interno del foro non deve essere presente acqua).



Esempio di radargrafia - Rappresentazione in modalità "wiggle" (A) e in scala colore (B).

Il set di strumentazione per le indagini GPR è costituito da:

- acquisitore;
- antenna

Acquisitore

L'acquisitore utilizzato è il modello SIR 3000 della GSSI di cui sono riportate le principali caratteristiche tecniche:

Memoria di massa	1 GB
Visualizzazione dati	Linescan, O-scope, 3D
Formato dati	RADAN (dzt)
Digitalizzazione	8-bit o 16-bit
Campioni per scan	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Modalità di rilievo	free run, survey wheel, puntuale
Range temporale	0-8,000 nanosecondi
Gain	manuale o automatico, 1-5 punti di gain (-20 to +80 dB)
Possibilità di collegamento encoder distanze	SI
Possibilità di inserimento marker manuali	SI
Filtri verticali	vertical
Filtri orizzontali	stack o background removal
Frequenza di trasmissione	fino a 100 kHz

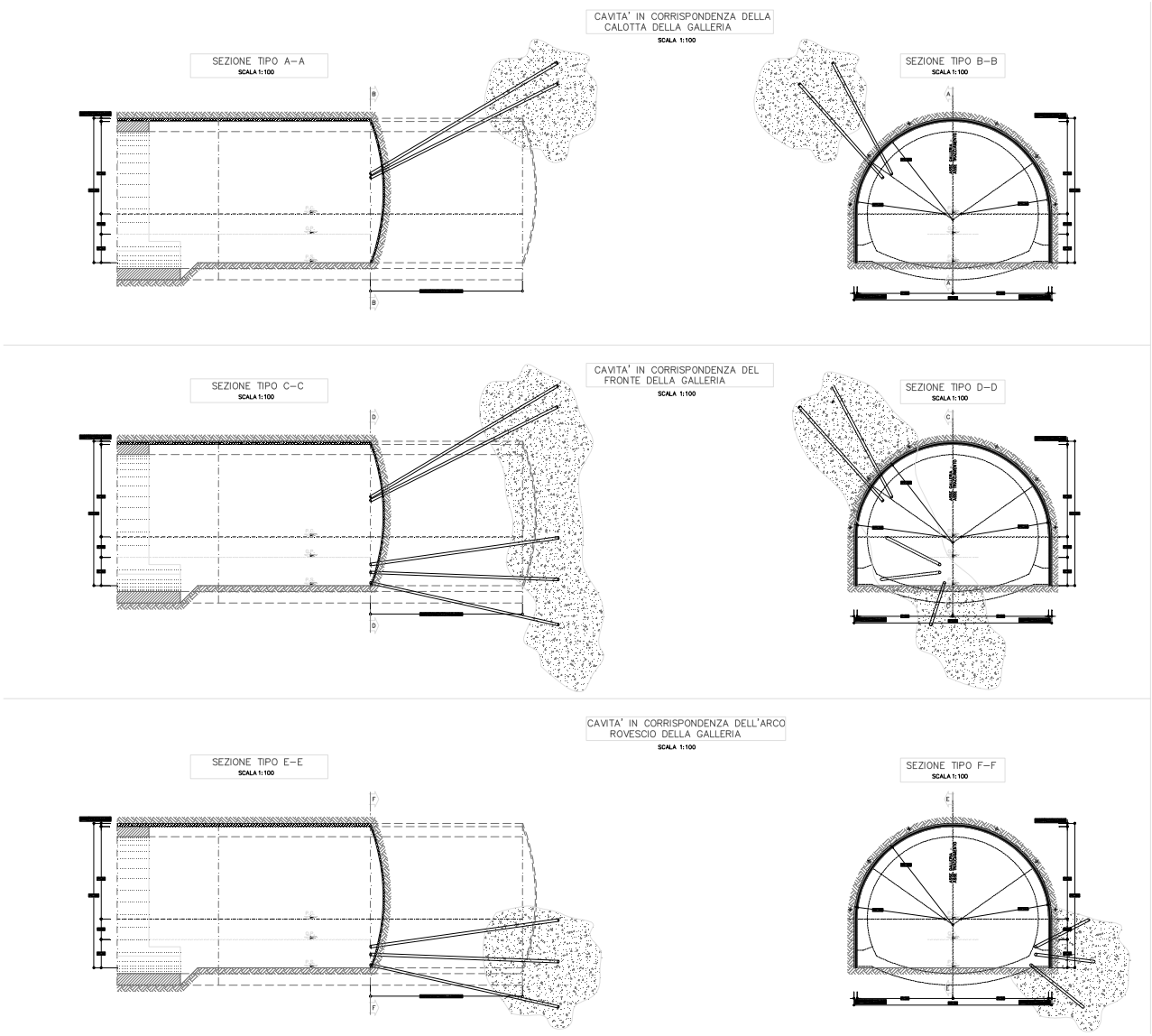
Antenna

Le antenne in un sistema radar costituiscono l'elemento fondamentale poiché determinano la risoluzione e la massima profondità di penetrazione. La scelta dell'antenna è dettata dalla profondità dell'obiettivo da identificare e dalla precisione con la quale deve essere ricostruito.

In relazione all'ammasso e alla geometria del cavo tale sistema di indagine andrà previsto con una frequenza di **1 stazione ogni 50m.**

Una volta identificata la cavità, in relazione alle dimensioni, la metodologia d'intervento potrà avere come obiettivo quello del riempimento della stessa: si ricorrerà pertanto a pompaggio a bassa pressione di miscele d'intasamento che offrano contestualmente le seguenti caratteristiche:

- sufficiente fluidità per la fase di pompaggio;
- medio-elevati valori di resistenza, sviluppata entro poche ore dalla messa in opera;
- debole espansività;
- rapido indurimento.



8. CONCLUSIONI

In questa relazione sono state analizzate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco e della galleria di servizio nell'ambito della riqualificazione ambientale dell'area della cava Vecchie Fornaci (ex Cava Buzzi).

Si prevede la realizzazione di una galleria naturale di area di scavo pari a circa 32m^2 nella sezione corrente e pari a 53m^2 circa nella sezione allargata, prevista lungo lo sviluppo per consentire l'incrocio dei mezzi.

La galleria in oggetto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 867m circa comprensivi delle 5 sezioni allargate previste.

Le coperture massime risultano superiori ai 200m e l'opera ricade nella formazione delle Dolomie del Monte Gazzo.

Le fasi progettuali contenute nella presente relazione si articolano nei seguenti punti fondamentali:

FASE CONOSCITIVA, in cui viene esaminato il quadro geologico e geomeccanico relativo ai cunicoli sulla scorta degli studi e delle indagini intrapresi;

FASE DI DIAGNOSI, in cui viene individuato il probabile comportamento dell'ammasso allo scavo in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e degli stati tensionali agenti;

FASE DI TERAPIA,in cui vengono stabilite le tipologie di intervento di preconsolidamento, consolidamento e rivestimento ritenute più idonee.

Le analisi hanno evidenziato che il fronte di scavo si presenta generalmente stabile o stabile a breve termine.

Sono stati eseguiti i calcoli necessari per la valutazione degli stati tensionali agenti sugli elementi strutturali che compongono le sezioni tipo e le verifiche di resistenza. L'esame dei dati raccolti conferma l'adeguatezza statica dell'intervento proposto da progetto. Si è inoltre considerata la sezione di galleria naturale, prossima all'imbocco Lato Savona, di massima parietalità in modo da valutare l'influenza dello scavo sul versante.

ALLEGATO 1 – LINEE CARATTERISTICHE

TAVOLA RIASSUNTIVA DELL'ANALISI

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

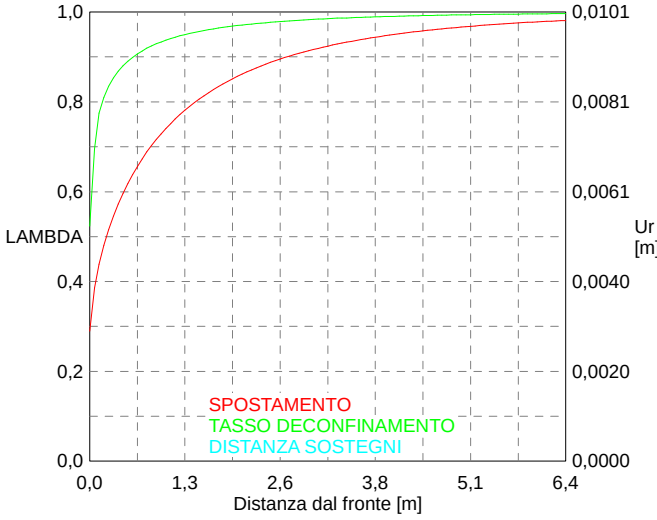
E: 5000 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

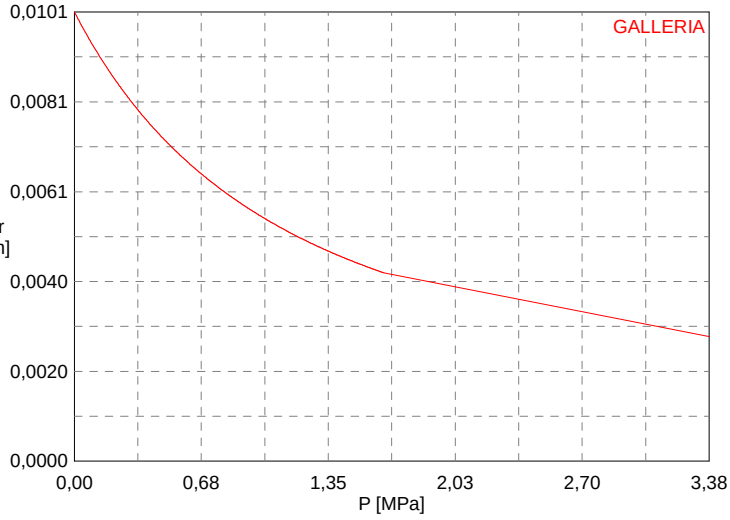
RESISTENZA

PHI picco: 40 °
C picco: 1 MPa
PHI residuo: 32 °
C residua: 0,8 MPa
PSI: 0 °

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA



CURVE CARATTERISTICHE



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

250m_DOL1
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	5000.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	1.00000
Angolo attrito picco [°]	40.00000
Coesione residua [MPa]	.80000
Angolo attrito residuo [MPa]	32.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.010098
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	4.602256
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.004021
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002178
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.002929
Raggio plastico fronte sferico [m]	3.675404

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.010098
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	4.602256

TAVOLA RIASSUNTIVA DELL'ANALISI

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

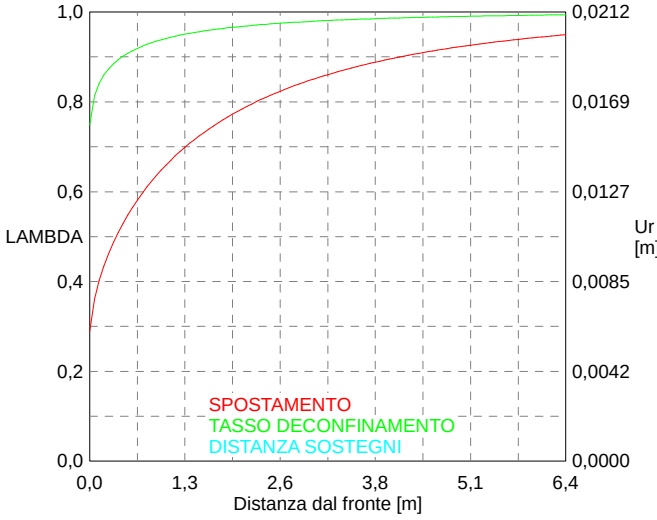
E: 3750 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

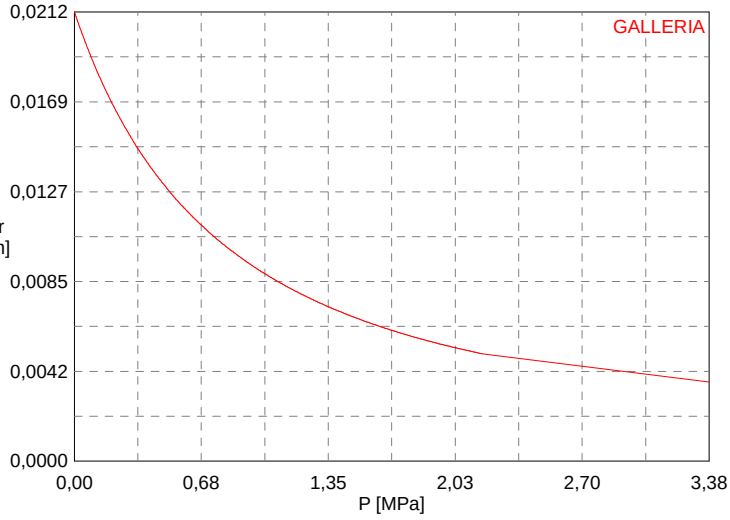
RESISTENZA

PHI picco: 37 °
C picco: 0,65 MPa
PHI residuo: 30 °
C residua: 0,52 MPa
PSI: 0 °

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA



CURVE CARATTERISTICHE



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

250m_DOL2
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	3750.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.65000
Angolo attrito picco [°]	37.00000
Coesione residua [MPa]	.52000
Angolo attrito residuo [MPa]	30.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.021186
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	5.888823
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.007660
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002108
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.006144
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.143139

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.021186
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.888823

TAVOLA RIASSUNTIVA DELL'ANALISI

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

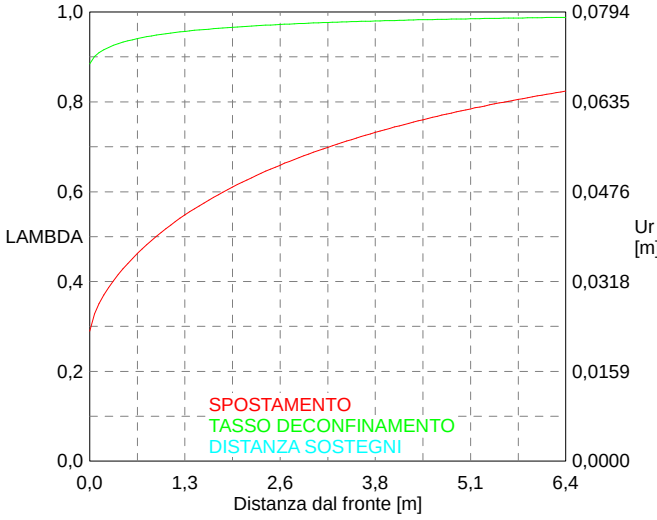
E: 2500 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

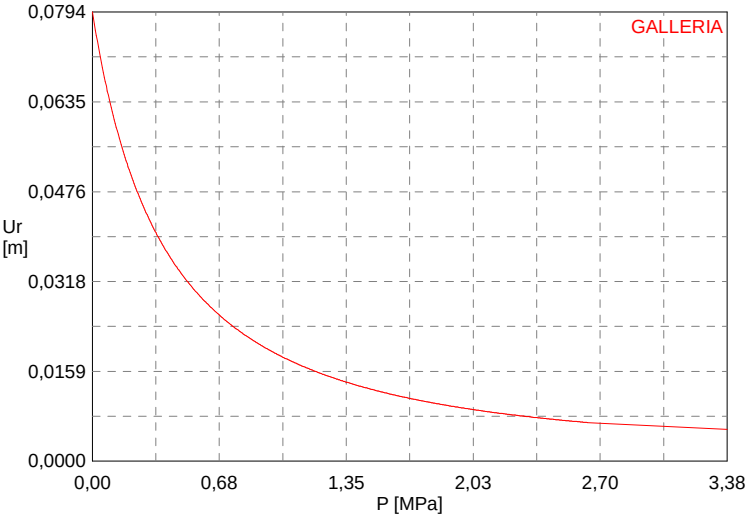
RESISTENZA

PHI picco: 35 °
C picco: 0,3 MPa
PHI residuo: 28 °
C residua: 0,24 MPa
PSI: 0 °

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA



CURVE CARATTERISTICHE



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

250m_DOL3
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	2500.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.30000
Angolo attrito picco [°]	35.00000
Coesione residua [MPa]	.24000
Angolo attrito residuo [MPa]	28.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.079402
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	9.448192
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.023724
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.007900
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.023026
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.227308

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.079402
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	9.448192

Diametro della galleria: 8,2 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

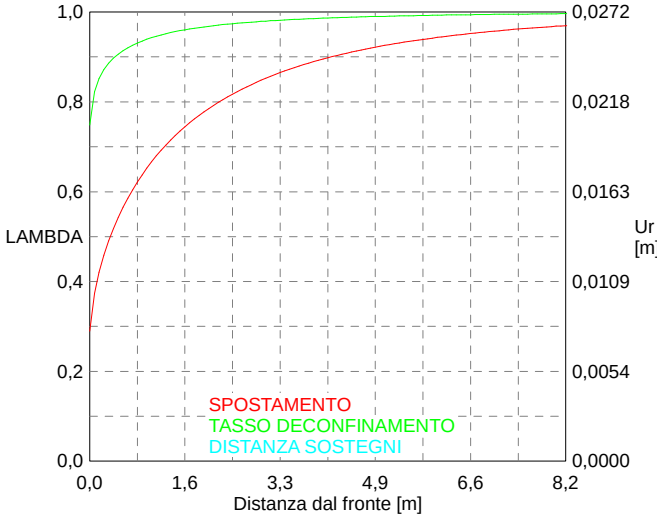
E: 3750 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

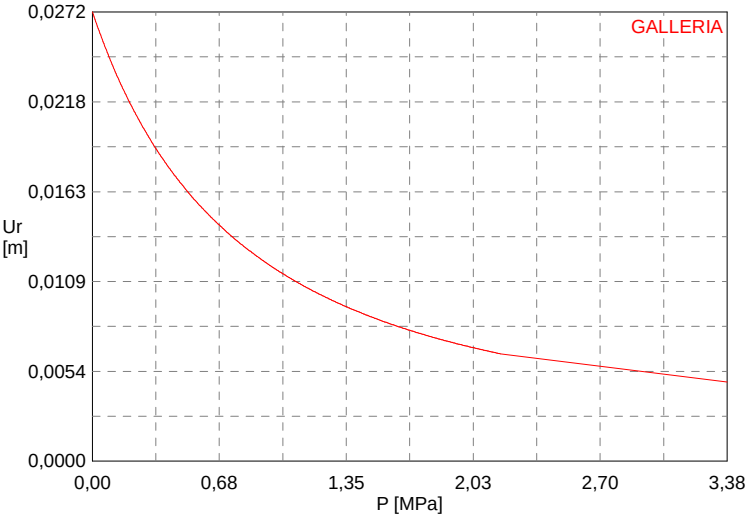
RESISTENZA

PHI picco: 37 °
C picco: 0,65 MPa
PHI residuo: 30 °
C residua: 0,52 MPa
PSI: 0 °

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA



CURVE CARATTERISTICHE



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

250m_DOL2_all
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.10000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	3750.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.65000
Angolo attrito picco [°]	37.00000
Coesione residua [MPa]	.52000
Angolo attrito residuo [MPa]	30.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.027229
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	7.568707
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.009845
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002709
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.007896
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.325037

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.027229
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	7.568707

TAVOLA RIASSUNTIVA DELL'ANALISI

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 2500 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

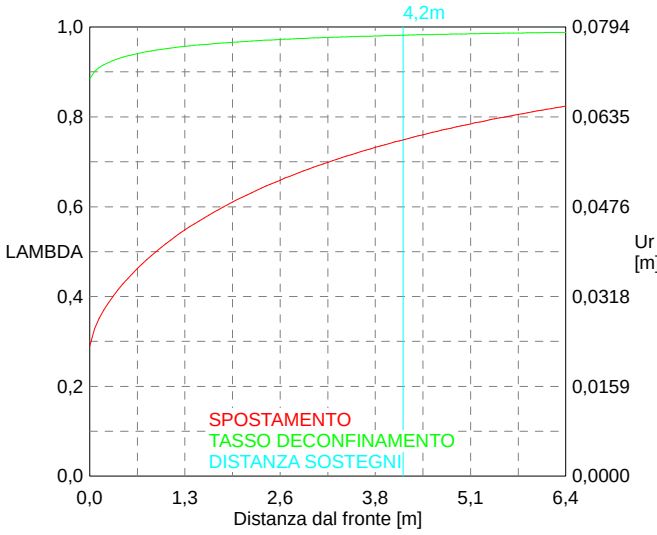
PHI picco: 35 °
C picco: 0,3 MPa
PHI residuo: 28 °
C residua: 0,24 MPa
PSI: 0 °

SOSTEGNI DI PRIMA FASE

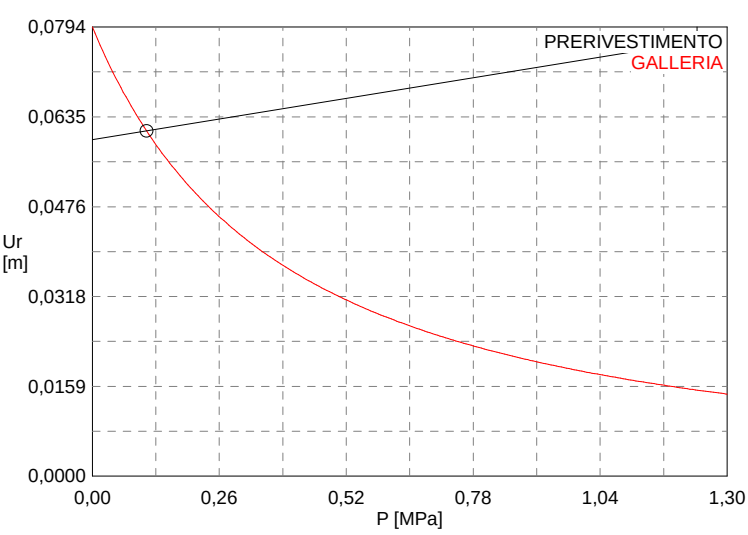
Spritz-Beton sp. .2 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,00183 m2 passo 1 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0016 m
TENSIONI ANELLO CHIUSO
Spritz-beton 1,7 MPa Centine 11,2 MPa

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA

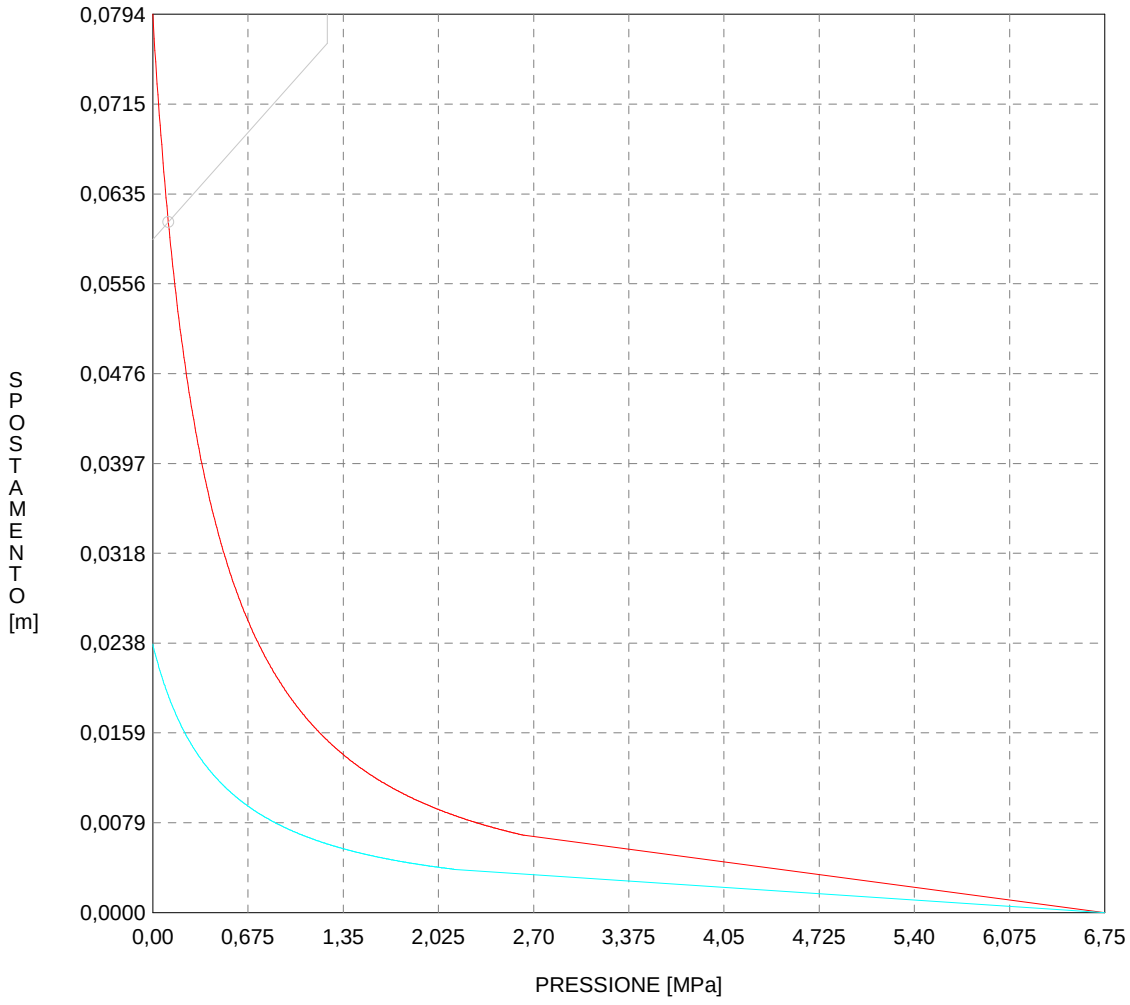


CURVE CARATTERISTICHE



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

TIPO1_250m_DOL
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	2500.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.30000
Angolo attrito picco [°]	35.00000
Coesione residua [MPa]	.24000
Angolo attrito residuo [MPa]	28.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000
PRERIVESTIMENTO	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	4.20000
Coefficiente riduzione rigidezza	.11000
Forma del presivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m]	.20000
Modulo Young spritz [MPa]	28500.00000
Coefficiente di Poisson spritz	.20000
Sezione centina [m2]	.00183
Altezza sezione centina [m2]	.14000
Posizione baricentro sezione centina [m]	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4]	.00000573
Passo centine [m]	1.00000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	19.20000
Resistenza ferro centine [MPa]	190.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.079402
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	9.448192
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.023724
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.007900
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.023026
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.227308

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .05563
LAMBDA : .97693

Trasformazione Omotetica
U [m] : .05950
LAMBDA : .98180

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .05315
LAMBDA : .97348

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .04710
LAMBDA : .96375

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .05310
LAMBDA : .97341

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.079402
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	9.448192
PRERIVESTIMENTO ----------	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m]	8.34653
Pressione al punto di equilibrio [MPa]	.11075
Spostamento al punto di equilibrio [m]	.06105
Spostamento alla messa in opera [m]	.05950
Convergenza radiale prerivestimento [m]	.00155
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	.981797
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	1.71751
Tensione centine [MPa]	11.22684
Coefficiente di sicurezza spritz	11.17898
Coefficiente di sicurezza centine	16.92374
Pressione rottura spritz [MPa]	1.23802
Pressione rottura centine [MPa]	1.87423
Rigidezza spritz [MPa]	214.61528
Rigidezza centinatura [MPa]	13.25172

TAVOLA RIASSUNTIVA DELL'ANALISI

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 3750 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

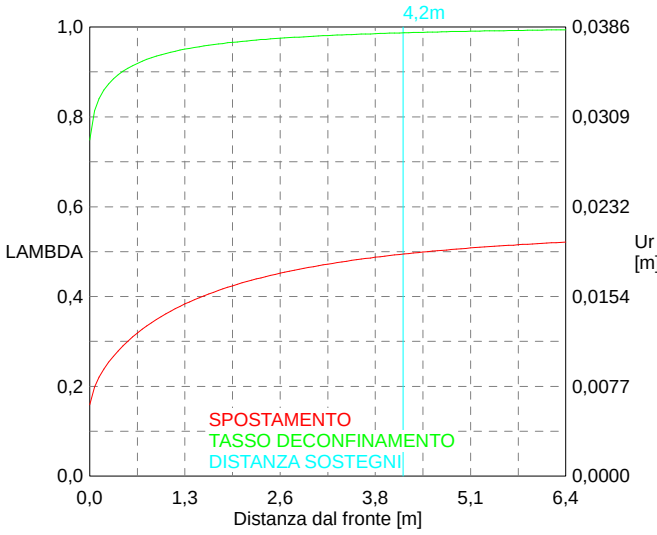
PHI picco: 37 °
C picco: 0,65 MPa
PHI residuo: 30 °
C residua: 0,52 MPa
PSI: 0 °

SOSTEGNI DI PRIMA FASE

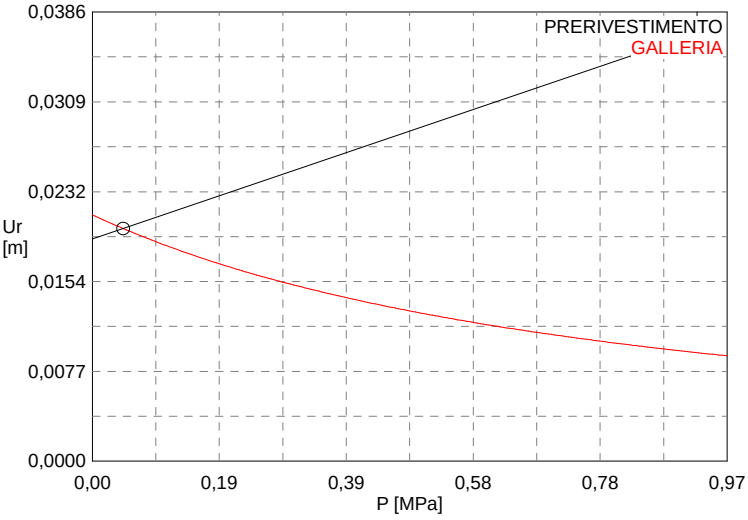
Spritz-Beton sp. .15 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,00183 m2 passo 1,6 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0009 m
TENSIONI ANELLO CHIUSO
Spritz-beton 1,0 MPa Centine 6,5 MPa

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA

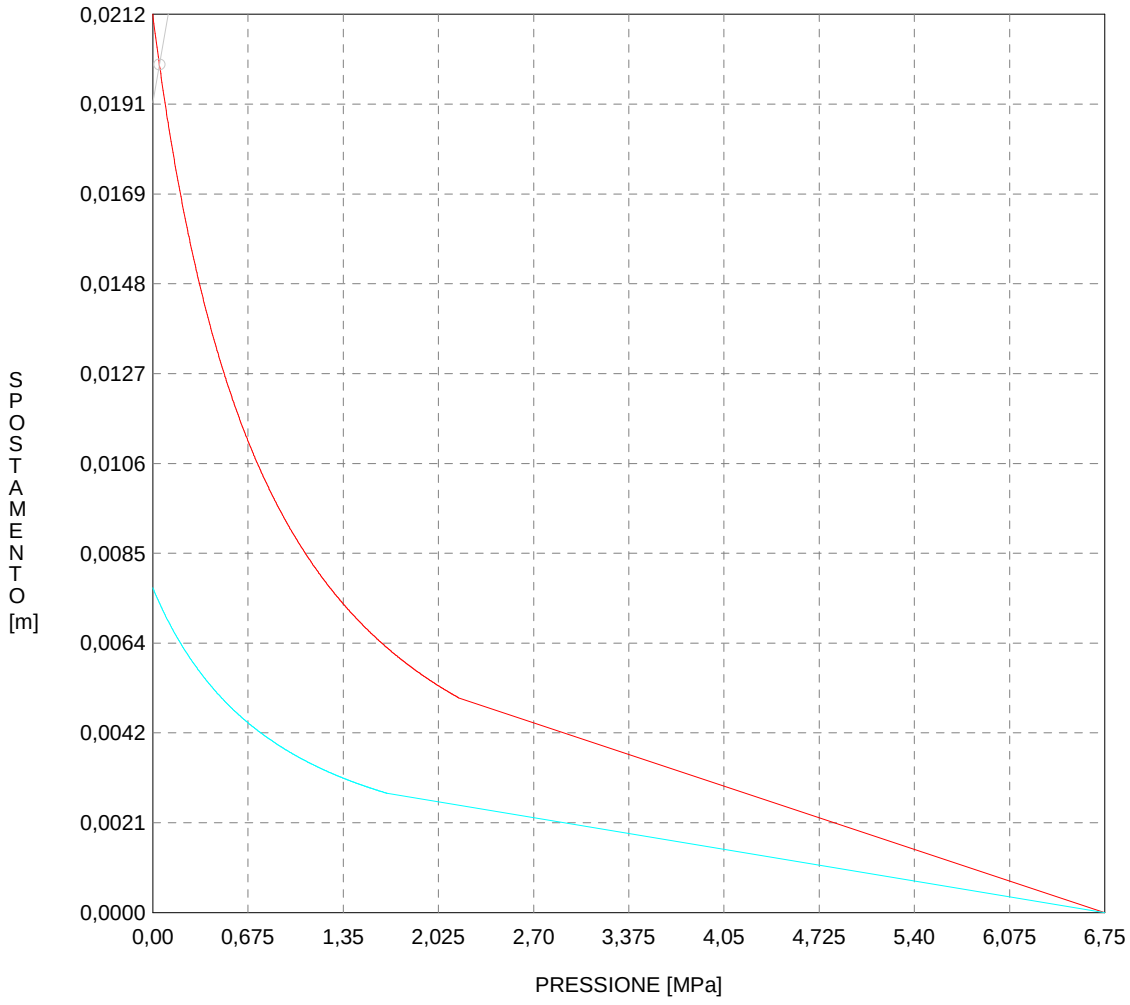


CURVE CARATTERISTICHE



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                           ##
```

TIPO2_250m_DOL
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	3750.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.65000
Angolo attrito picco [°]	37.00000
Coesione residua [MPa]	.52000
Angolo attrito residuo [MPa]	30.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000
PRERIVESTIMENTO	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	4.20000
Coefficiente riduzione rigidezza	.11000
Forma del presivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m]	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	28500.00000
Coefficiente di Poisson spritz	.20000
Sezione centina [m2]	.00183
Altezza sezione centina [m2]	.14000
Posizione baricentro sezione centina [m]	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4]	.00000573
Passo centine [m]	1.60000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	19.20000
Resistenza ferro centine [MPa]	190.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.021186
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	5.888823
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.007660
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002108
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.006144
Raggio plastico fronte sferico [m]	4.143139

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .01724
LAMBDA : .97333

Trasformazione Omotetica
U [m] : .01910
LAMBDA : .98716

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .01906
LAMBDA : .98686

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .01817
LAMBDA : .98057

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .01875
LAMBDA : .98476

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.021186
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	5.888823
PRERIVESTIMENTO ----------	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m]	5.74030
Pressione al punto di equilibrio [MPa]	.04721
Spostamento al punto di equilibrio [m]	.02000
Spostamento alla messa in opera [m]	.01910
Convergenza radiale prerivestimento [m]	.00090
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	.987164
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	.97733
Tensione centine [MPa]	6.51650
Coefficiente di sicurezza spritz	19.64544
Coefficiente di sicurezza centine	29.15674
Pressione rottura spritz [MPa]	.92750
Pressione rottura centine [MPa]	1.37654
Rigidezza spritz [MPa]	159.07603
Rigidezza centinatura [MPa]	8.28233

Diametro della galleria: 6,38 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 5000 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

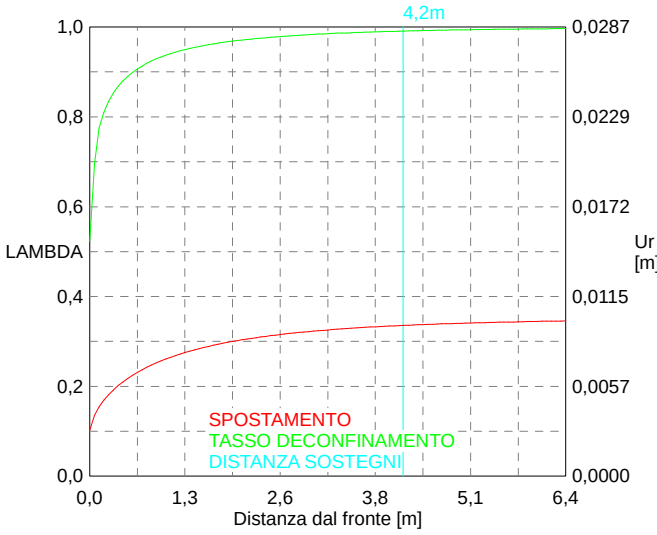
PHI picco: 40 °
C picco: 1 MPa
PHI residuo: 32 °
C residua: 0,8 MPa
PSI: 0 °

SOSTEGNI DI PRIMA FASE

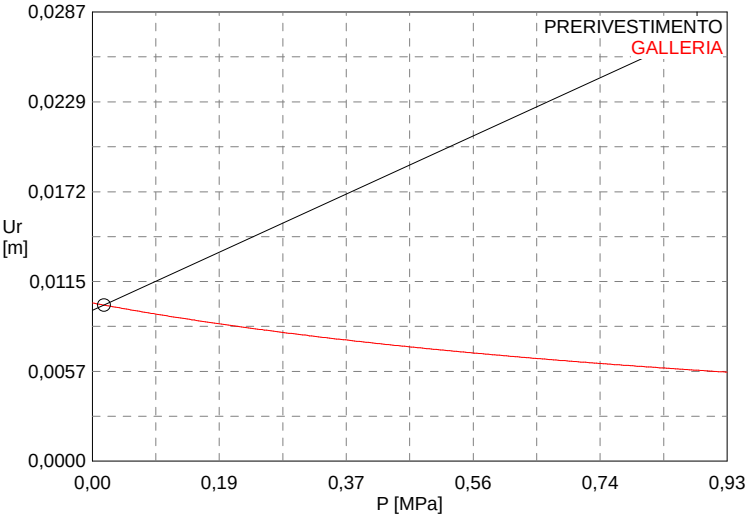
Spritz-Beton sp. .15 m resistenza 19,2 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0003 m
TENSIONI ANELLO CHIUSO
Spritz-beton 0,4 MPa

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA

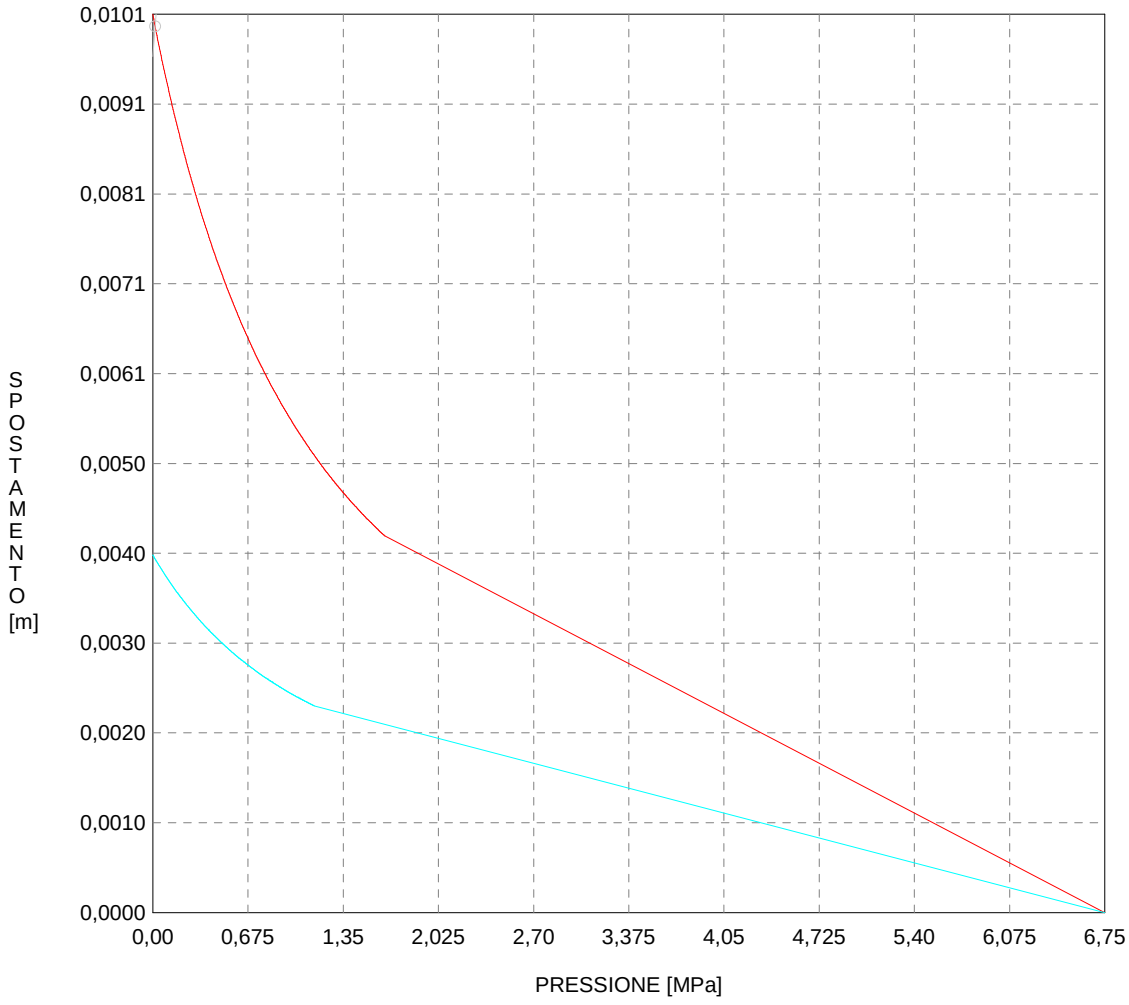


CURVE CARATTERISTICHE



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
#############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                              ##
```

TIPO3_250m_DOL
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	3.19000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	5000.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	1.00000
Angolo attrito picco [°]	40.00000
Coesione residua [MPa]	.80000
Angolo attrito residuo [MPa]	32.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000
PRERIVESTIMENTO	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	4.20000
Coefficiente riduzione rigidezza	.11000
Forma del presivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m]	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	28500.00000
Coefficiente di Poisson spritz	.20000
Sezione centina [m2]	.00000
Altezza sezione centina [m2]	.00000
Posizione baricentro sezione centina [m]	.00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4]	.00000000
Passo centine [m]	100.00000
Modulo Young ferro centine [MPa]	.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	19.20000
Resistenza ferro centine [MPa]	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.010098
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	4.602256
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.004021
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002178
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.002929
Raggio plastico fronte sferico [m]	3.675404

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .00871
LAMBDA : .97113

Trasformazione Omotetica
U [m] : .00962
LAMBDA : .99105

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .00948
LAMBDA : .98825

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .00933
LAMBDA : .98499

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .00938
LAMBDA : .98613

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.010098
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	4.602256
PRERIVESTIMENTO ----------	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m]	4.57565
Pressione al punto di equilibrio [MPa]	.01685
Spostamento al punto di equilibrio [m]	.00996
Spostamento alla messa in opera [m]	.00962
Convergenza radiale prerivestimento [m]	.00034
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	.991047
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	.36694
Tensione centine [MPa]	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz	52.32497
Coefficiente di sicurezza centine	1000.00000
Pressione rottura spritz [MPa]	.88160
Pressione rottura centine [MPa]	.00000
Rigidezza spritz [MPa]	159.07603
Rigidezza centinatura [MPa]	.00000

Diametro della galleria: 8,2 m

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

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

PARAMETRI DELLA ROCCIA

E: 3750 MPa NI: 0,3 GAMMA: 0 kN/m3 SIGMA0: 6,75 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA

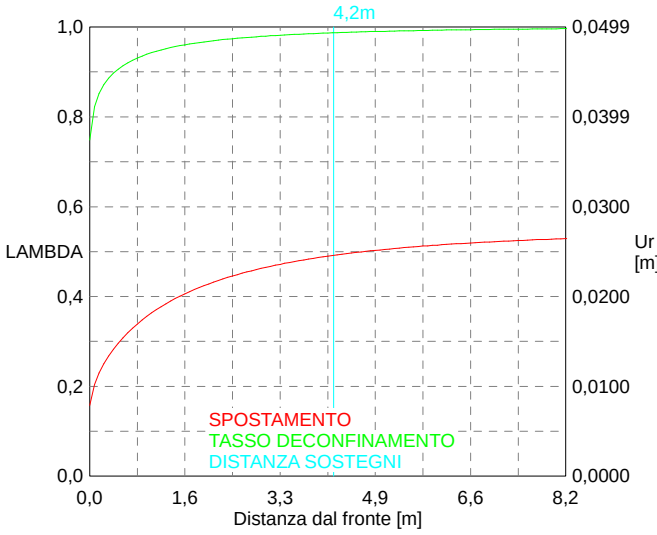
PHI picco: 37 °
C picco: 0,65 MPa
PHI residuo: 30 °
C residua: 0,52 MPa
PSI: 0 °

SOSTEGNI DI PRIMA FASE

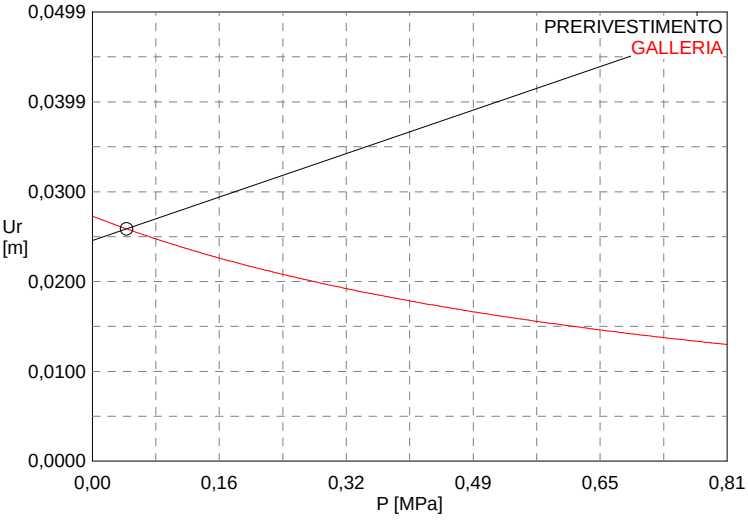
Spritz-Beton sp. .15 m resistenza 19,2 MPa centine sez. 0,00366 m2 passo 1,4 m resistenza 190 MPa

Spostamento radiale anello chiuso ,0013 m
TENSIONI ANELLO CHIUSO
Spritz-beton 1,1 MPa Centine 7,3 MPa

DEFORMATA ASSIALE GALLERIA

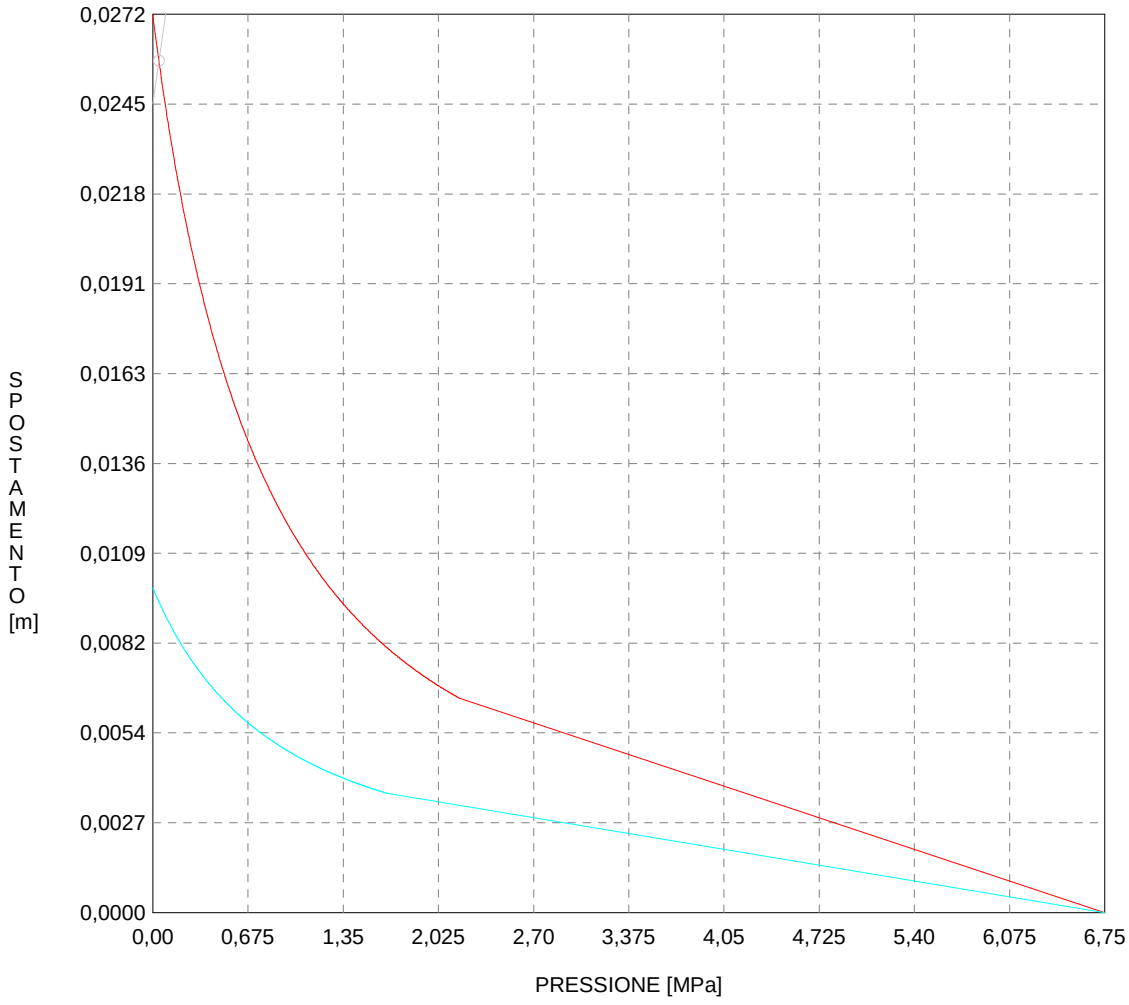


CURVE CARATTERISTICHE



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRERIVESTIMENTO
GALLERIA
FRONTE SFERICO



```
 ##########                  CALCOLO GALLERIE CON METODO
############                    CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###                                   SOLUTORE ANALITICO
###
###    #####  ##    ##     ##
###    #####  ##    ##    ##
###      ###  ##    ##   ##
############   ##  ##   ##  ##
 ##########     ####    #######        VERSIONE 4 (2003)
                          ##
```

ALLARGATA_250m_DOL
nuova analisi
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.10000
PARAMETRI GEOTECNICI	
Tensione originaria [MPa]	6.75000
Modulo di Young [MPa]	3750.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.65000
Angolo attrito picco [°]	37.00000
Coesione residua [MPa]	.52000
Angolo attrito residuo [MPa]	30.00000
Angolo dilatanza [°]	.00000
PRERIVESTIMENTO	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	4.20000
Coefficiente riduzione rigidezza	.11000
Forma del presivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m]	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	28500.00000
Coefficiente di Poisson spritz	.20000
Sezione centina [m2]	.00366
Altezza sezione centina [m2]	.14000
Posizione baricentro sezione centina [m]	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4]	.00001146
Passo centine [m]	1.40000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	19.20000
Resistenza ferro centine [MPa]	190.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m]	.027229
Raggio plastico galleria non sostenuta [m]	7.568707
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.009845
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.002709
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.007896
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.325037

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .02090
LAMBDA : .96497

Trasformazione Omotetica
U [m] : .02453
LAMBDA : .98703

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica

U [m] : .02369
LAMBDA : .98248

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .02222
LAMBDA : .97373

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .02324
LAMBDA : .97993

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

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.027229
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	7.568707

PRERIVESTIMENTO ----------

Raggio plastico al punto di equilibrio [m]	7.39235
Pressione al punto di equilibrio [MPa]	.04349
Spostamento al punto di equilibrio [m]	.02582
Spostamento alla messa in opera [m]	.02453
Convergenza radiale prerivestimento [m]	.00130
Tasso di deconfinamento alla messa in opera	.987029

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)

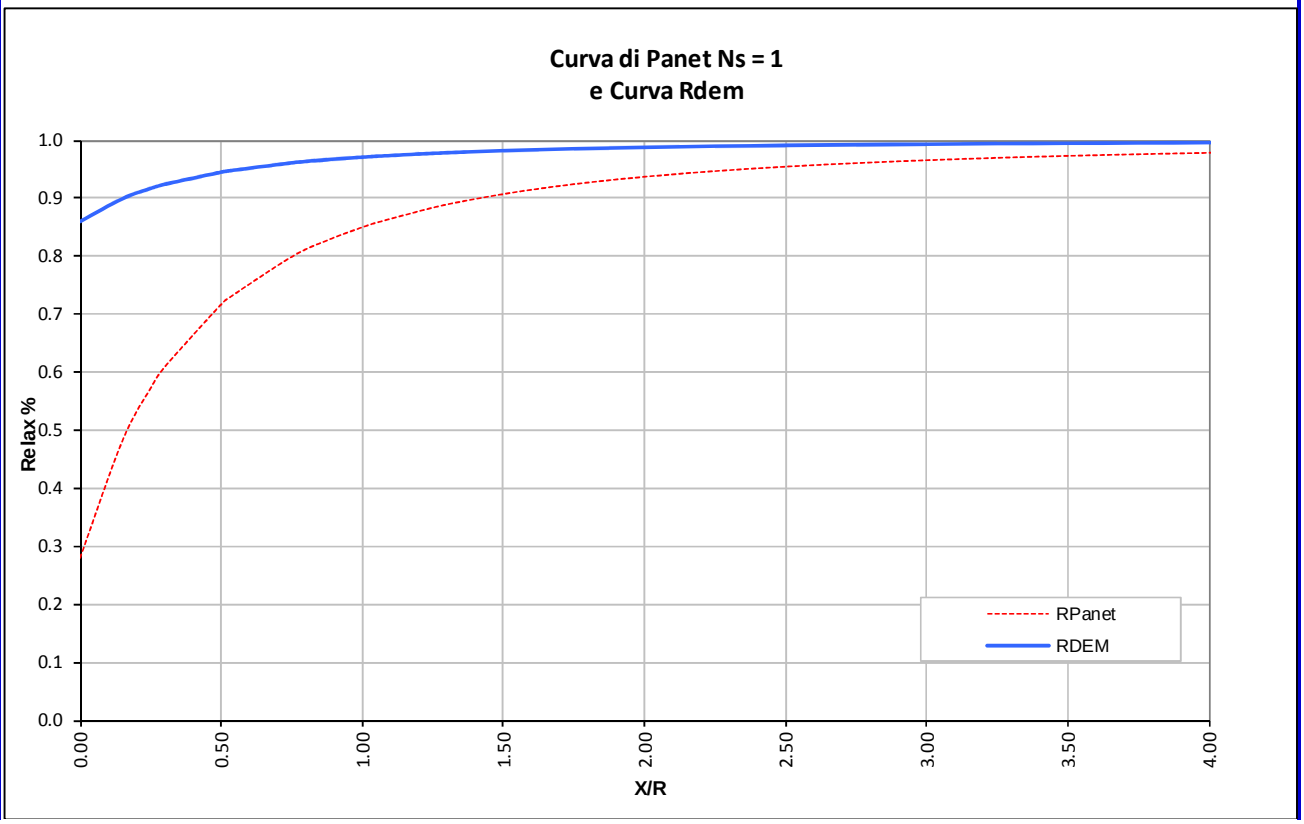
Tensione spritz [MPa]	1.08110
Tensione centine [MPa]	7.30404
Coefficiente di sicurezza spritz	17.75967
Coefficiente di sicurezza centine	26.01301
Pressione rottura spritz [MPa]	.77230
Pressione rottura centine [MPa]	1.13121
Rigidezza spritz [MPa]	122.80179
Rigidezza centinatura [MPa]	14.72927

ALLEGATO 2 – ANALISI NUMERICHE – modello 1

LAVORO AV-AC - MILANO GENOVA **Copertura** 250m

Sezione TIPO 2 **Litotipo** Dolomie M.te Gazzo

TIME	DESCRIZIONE	x_{fronte} [m]	Rpanet	R(FEM)
Time 0	Initial phase - geostatico	-∞	0%	0%
Time 1	Apertura cavo	-	28%	86%
Time 2	Installazione centine e avanzamento	4.2	86%	98%



CALCESTRUZZO PROIETTATO		
E_{cls} =	28500	N/mm^2
s =	0.15	m

CENTINE		
E_{acc} =	2100000	kg/cm^2
n_{cen} =	1	[-]
A_{acc} =	18.3	cm^2
A_{cen}=	1.83E-03	m^2
I_{acc} =	573	cm^4
I_{cen} =	5.73E-06	m^4
d =	1.6	m

SOSTEGNO EQUIVALENTE		
E =	2.94E+10	N/m^2
s =	0.152	m

Si considera in primo luogo la condizione relativa al punto avente massimo momento e azione assiale corrispondente, in secondo luogo quella relative al massimo taglio.

N =	498.0	kN
M =	7.470	kNm
T =	2.5	kN

N_{cen} =	42.69	kN
N_{cls} =	471.32	kN
M_{cen} =	11.952	kNm
T_{cen} =	4	kN

σ_{cls} =	3.1	Mpa

$$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen}/d}{\bar{E} \cdot \bar{s}} \cdot N_{tot} \cdot = \frac{E_{acc}}{\bar{E}} \cdot \frac{A_{cen}}{\bar{s}} \cdot N_{tot}$$

$$N_{cls} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$$

$$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$$

$$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$$

N =	432.0	kN
M =	0.000	kNm
T =	40.17	kN

N_{cen} =	37.04	kN
N_{cls} =	408.85	kN
M_{cen} =	0	kNm
T_{cen} =	64.272	kN

σ_{cls} =	2.7	Mpa

$$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen}/d}{\bar{E} \cdot \bar{s}} \cdot N_{tot} \cdot = \frac{E_{acc}}{\bar{E}} \cdot \frac{A_{cen}}{\bar{s}} \cdot N_{tot}$$

$$N_{cls} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$$

$$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$$

$$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$$

La tensione sullo spritz beton risulta minore del valore limite. La verifica è pertanto soddisfatta.

Si applicano ora le azioni ottenute sul singolo profilato metallico per condurre le verifiche sulle centine.

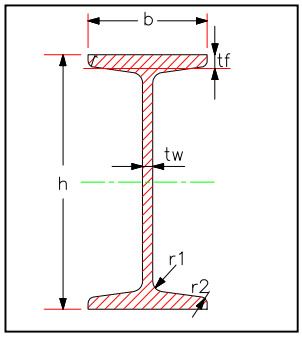
TUBI IN ACCIAIO SENZA SALDATURE O SALDATI

Scelta Diametro

HSE
HSH
HSL
HSU
IPE
IPEA
IPEO
IPEX
IPN
ISE

Scelta spessore

IPN 140
IPN 160
IPN 180
IPN 200
IPN 220
IPN 240
IPN 260
IPN 280
IPN 300
IPN 320



Caratteristiche Profilato			
Tipologia Profilato	**IPN 140**		
Peso profilato	m	[kg/m]	14.30
Altezza Profilato	h	[mm]	140.0
Larghezza Profilo	b	[mm]	66.0
Spessore Anima	t_w	[mm]	5.70
Spessore Ala	t_f	[mm]	8.6
raggio raccordo Ala-Anima	r/r_1	[mm]	5.7
raggio raccordo d'Ala	r_2	[mm]	3.4
Area profilato	A	[mm^2]	1830
Inerzia profilato $_y$	J_y	[mm^4]*10^6	5.73
Modulo resistenza $_y$	W_y	[mm^3]*10^3	81.9
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{y,pl}$	[mm^3]*10^3	95.4
Raggio d'inerzia $_y$	r_y/i_y	[mm]	56.1
Inerzia profilato $_y$	J_z	[mm^4]*10^6	0.352
Modulo resistenza $_y$	W_z	[mm^3]*10^3	10.7
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{z,pl}$	[mm^3]*10^3	17.9
Raggio d'inerzia $_z$	r_z/i_z	[mm]	14
Inerzia torsionale	J_T	[mm^4]*10^6	0.0432
Inerzia settoriale	J_w	[mm^4]*10^6	15.4

VERIFICHE STRUTTURALI T.A.

Sollecitazioni			
Sforzo Normale	N	[kN]	42.69
Momento in direzione y	My	[kNm]	11.95
Momento in direzione z	Mz	[kNm]	0.00
Taglio in direzione y	Ty	[kN]	4.00
Taglio in direzione z	Tz	[kN]	0.00
Verifica normativa italiana			
tensione normale (p.to 1)	$\sigma^{(1)}$	[N/mm^2]	169.341
tensione tangenziale (p.to 1)	$\tau^{(1)}$	[N/mm^2]	0.000
tensione ideale (p.to 1)	$\sigma_{id}^{(1)}$	[N/mm^2]	169.341
$\sigma_{id}^{(1)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 2)	$\sigma^{(2)}$	[N/mm^2]	169.341
tensione tangenziale (p.to 2)	$\tau^{(2)}$	[N/mm^2]	6.188
tensione ideale (p.to 2)	$\sigma_{id}^{(2)}$	[N/mm^2]	169.680
$\sigma_{id}^{(2)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 3)	$\sigma^{(3)}$	[N/mm^2]	151.402
tensione tangenziale (p.to 3)	$\tau^{(3)}$	[N/mm^2]	0.380
tensione ideale (p.to 3)	$\sigma_{id}^{(3)}$	[N/mm^2]	151.404
$\sigma_{id}^{(3)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 4)	$\sigma^{(4)}$	[N/mm^2]	23.330
tensione tangenziale (p.to 4)	$\tau^{(4)}$	[N/mm^2]	0.107
tensione ideale (p.to 4)	$\sigma_{id}^{(4)}$	[N/mm^2]	23.331
$\sigma_{id}^{(4)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		

Caratteristiche materiali

sp<40mm
sp>40mm

Fe 350
Fe 430
Fe 510

☐ Condizione di carico II

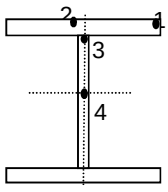
s_{amm}	190.00	[N/mm^2]
t_{amm}	109.70	[N/mm^2]

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_{yy}} \cdot z \frac{1}{\psi_y} + \frac{M_z}{J_{zz}} \cdot y \frac{1}{\psi_z}$$

$$\psi_z = 1; \quad \psi_y = 1$$

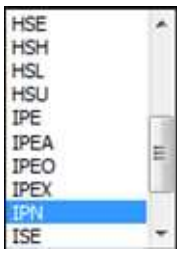
$$\tau = \frac{T_z S_{yy}}{J_{yy} t} + \frac{T_y S_{zz}}{J_{zz} t}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$$

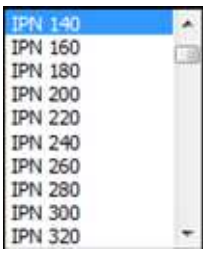


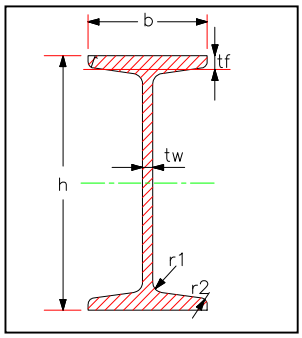
TUBI IN ACCIAIO SENZA SALDATURE O SALDATI

Scelta Diametro



Scelta spessore



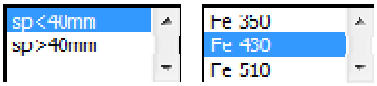


Caratteristiche Profilato			
Tipologia Profilato	**IPN 140**		
Peso profilato	m	[kg/m]	14.30
Altezza Profilato	h	[mm]	140.0
Larghezza Profilo	b	[mm]	66.0
Spessore Anima	t_w	[mm]	5.70
Spessore Ala	t_f	[mm]	8.6
raggio raccordo Ala-Anima	r/r_1	[mm]	5.7
raggio raccordo d'Ala	r_2	[mm]	3.4
Area profilato	A	[mm^2]	1830
Inerzia profilato $_y$	J_y	[mm^4]*10^6	5.73
Modulo resistenza $_y$	W_y	[mm^3]*10^3	81.9
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{y,pl}$	[mm^3]*10^3	95.4
Raggio d'inerzia $_y$	r_y/i_y	[mm]	56.1
Inerzia profilato $_y$	J_z	[mm^4]*10^6	0.352
Modulo resistenza $_y$	W_z	[mm^3]*10^3	10.7
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{z,pl}$	[mm^3]*10^3	17.9
Raggio d'inerzia $_z$	r_z/i_z	[mm]	14
Inerzia torsionale	J_T	[mm^4]*10^6	0.0432
Inerzia settoriale	J_w	[mm^4]*10^6	15.4

VERIFICHE STRUTTURALI T.A.

Sollecitazioni			
Sforzo Normale	N	[kN]	37.04
Momento in direzione y	My	[kNm]	0.00
Momento in direzione z	Mz	[kNm]	0.00
Taglio in direzione y	Ty	[kN]	64.27
Taglio in direzione z	Tz	[kN]	0.00
Verifica normativa italiana			
tensione normale (p.to 1)	$\sigma^{(1)}$	[N/mm^2]	20.238
tensione tangenziale (p.to 1)	$\tau^{(1)}$	[N/mm^2]	0.000
tensione ideale (p.to 1)	$\sigma_{id}^{(1)}$	[N/mm^2]	20.238
$\sigma_{id}^{(1)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 2)	$\sigma^{(2)}$	[N/mm^2]	20.238
tensione tangenziale (p.to 2)	$\tau^{(2)}$	[N/mm^2]	99.421
tensione ideale (p.to 2)	$\sigma_{id}^{(2)}$	[N/mm^2]	173.387
$\sigma_{id}^{(2)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 3)	$\sigma^{(3)}$	[N/mm^2]	20.238
tensione tangenziale (p.to 3)	$\tau^{(3)}$	[N/mm^2]	6.107
tensione ideale (p.to 3)	$\sigma_{id}^{(3)}$	[N/mm^2]	22.836
$\sigma_{id}^{(3)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 4)	$\sigma^{(4)}$	[N/mm^2]	20.238
tensione tangenziale (p.to 4)	$\tau^{(4)}$	[N/mm^2]	1.718
tensione ideale (p.to 4)	$\sigma_{id}^{(4)}$	[N/mm^2]	20.456
$\sigma_{id}^{(4)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		

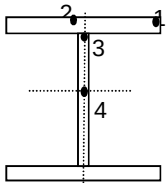
Caratteristiche materiali



☐ Condizione di carico II

s_{amm}	190.00	[N/mm^2]
t_{amm}	109.70	[N/mm^2]

$$\sigma=\frac{N}{A}+\frac{M_y}{J_{yy}}\cdot z\frac{1}{\psi_y}+\frac{M_z}{J_{zz}}\cdot y\frac{1}{\psi_z}$$
$$\psi_z=1;\ \psi_y=1$$
$$\tau=\frac{T_z S_{yy}}{J_{yy}t}+\frac{T_y S_{zz}}{J_{zz}t}$$
$$\sigma_{id}=\sqrt{\sigma^2+3*\tau^2}$$



Tutte le verifiche risultano soddisfatte

PLAXIS Report

1.1.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		_MC_DOL_2
Identification number		1
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ^{3}	27.00
γ_{sat}	kN/m ^{3}	27.00
Dilatancy cut-off		No
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
E	kN/m ^{2}	3.750E6
ν (nu)		0.3000
G	kN/m ^{2}	1.442E6
E_{oed}	kN/m ^{2}	5.048E6

Identification		_MC_DOL_2
c_{ref}	kN/m^2	650.0
φ (phi)	°	37.00
ψ (psi)	°	0.000
V_s	m/s	723.5
V_p	m/s	1354
Set to default values		No
E_{inc}	$kN/m^2/m$	0.000
y_{ref}	m	0.000
c_{inc}	$kN/m^2/m$	0.000
y_{ref}	m	0.000
Tension cut-off		Yes
Tensile strength	kN/m^2	1.000
Strength		Manual
R_{inter}		0.8000
δ_{inter}		0.000
K_0 determination		Manual
$K_{0,x}$		1.000
Data set		Standard
Type		Coarse

Identification		_MC_DOL_2
< 2 µm	%	10.00
2 µm - 50 µm	%	13.00
50 µm - 2 mm	%	77.00
Set to default values		No
k_x	m/day	0.000
k_y	m/day	0.000
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3
e_{init}		0.5000
c_k		1.000E15

1.1.1.2 Materials - Plates -

Identification		IPN140_1.6m_SB15_28g	_ghost
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
Isotropic		Yes	Yes
EA_1	kN/m	4.483E6	1.000E-9
EA_2	kN/m	4.483E6	1.000E-9
EI	$kN\,m^2/m$	8666	1.000E-9
d	m	0.1523	3.464
w	kN/m/m	0.000	0.000
ν (nu)		0.000	0.000
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000

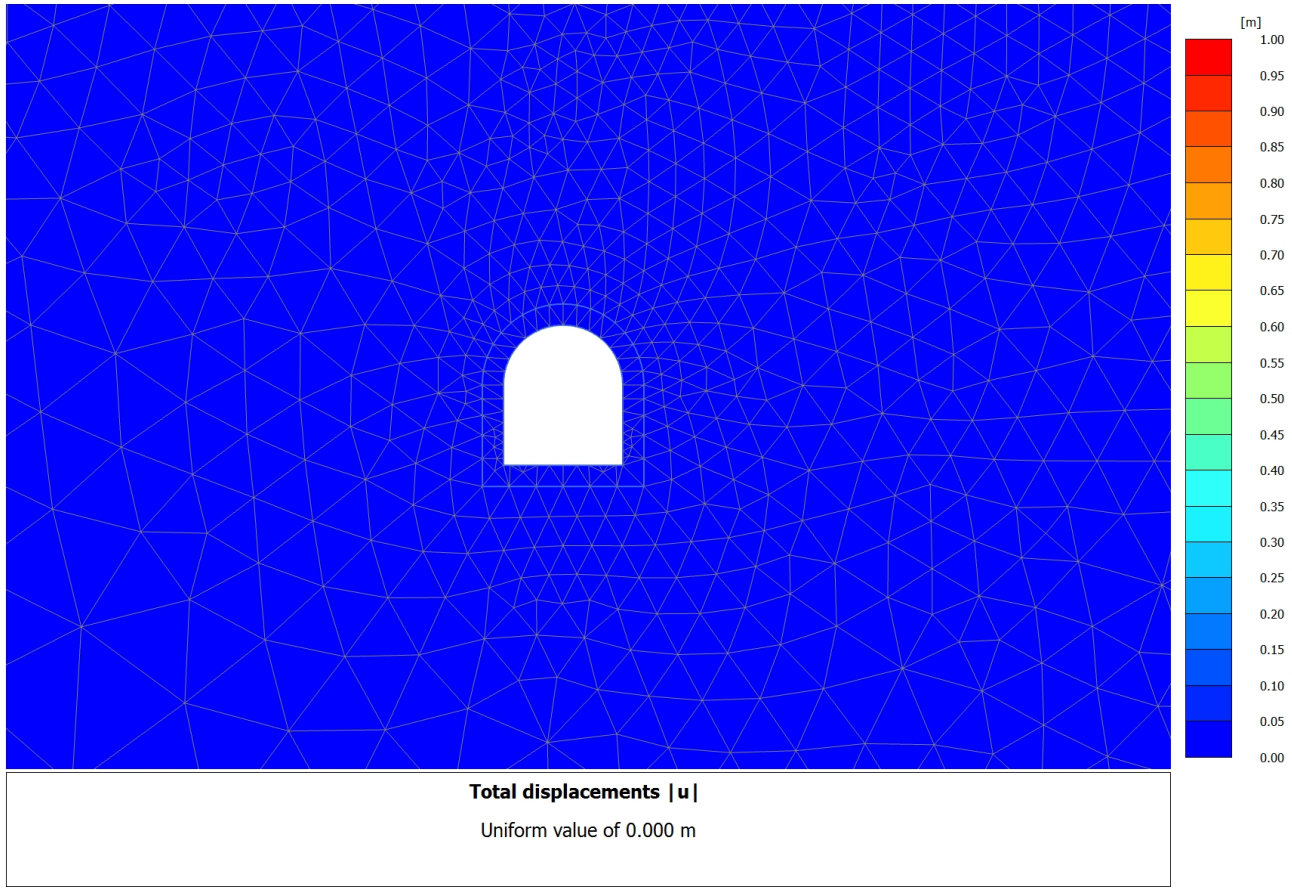
1.1.2 General information

General information	
Project	
Filename	Dol_Tipo2_250m_.PLX
Directory	C:\Users\Ing12\Desktop\REV_PLAXIS_CAVABUZZI\Dol_Tipo2_250m_.P2DAT\
Title	DOLOMIE-250m_tipo2
General	
Model	Plane strain
Elements	15-Noded
Acceleration	
Gravity angle	-90.00°
x-acceleration	0.000 G
y-acceleration	0.000 G
Earth gravity	9.800 m/s ^{2}
Mesh	
Nr of soil elements	4932
Nr of nodes	39768
Average elem. size	4.634 m

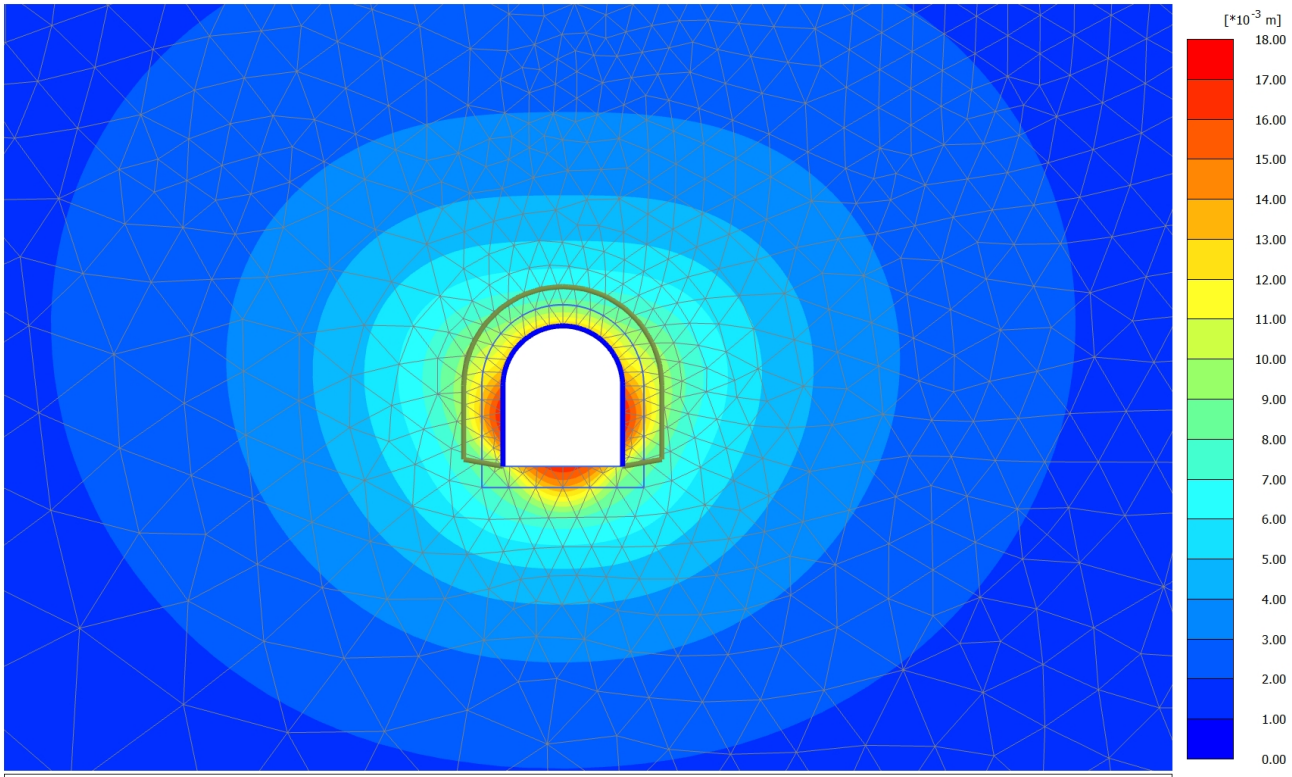
General information

Comments

4.1.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Total displacements |u|



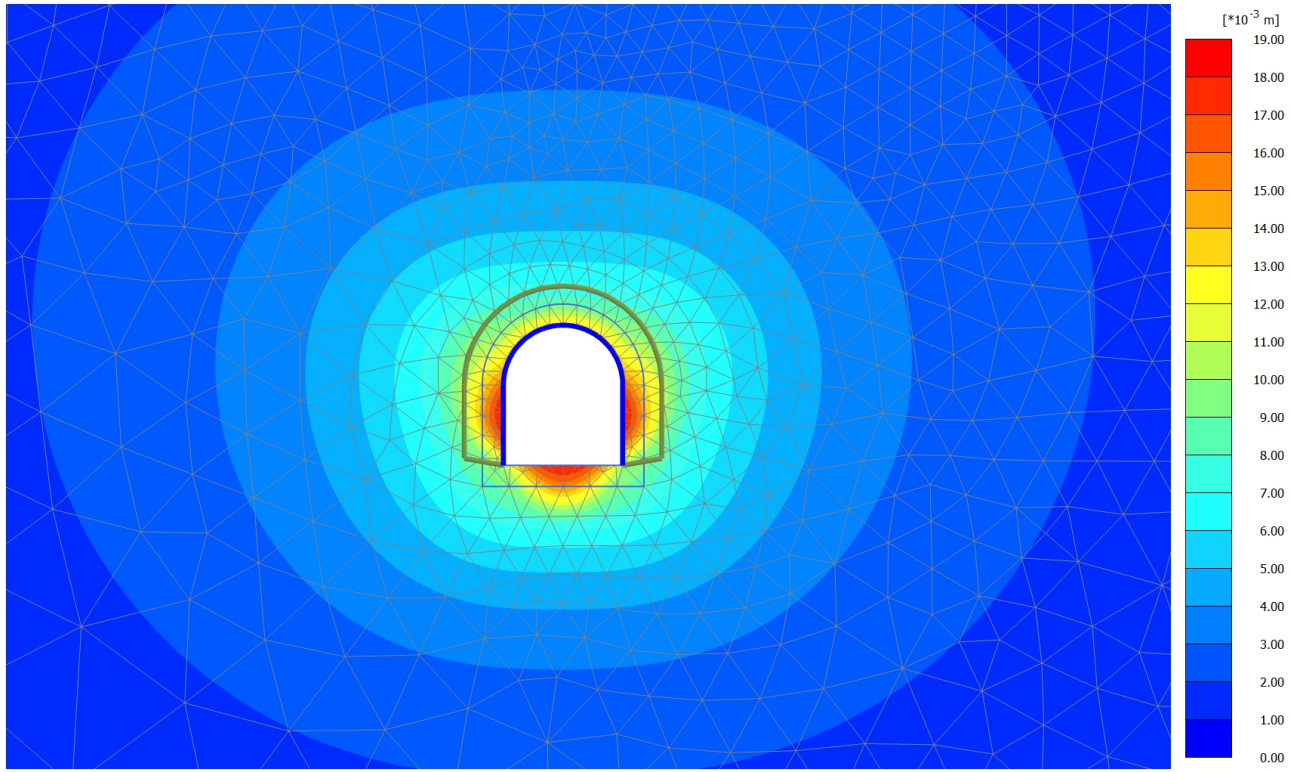
4.1.2 Calculation results, <Phase 1> (1/6), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = 0.01699 m (Element 4641 at Node 4914)

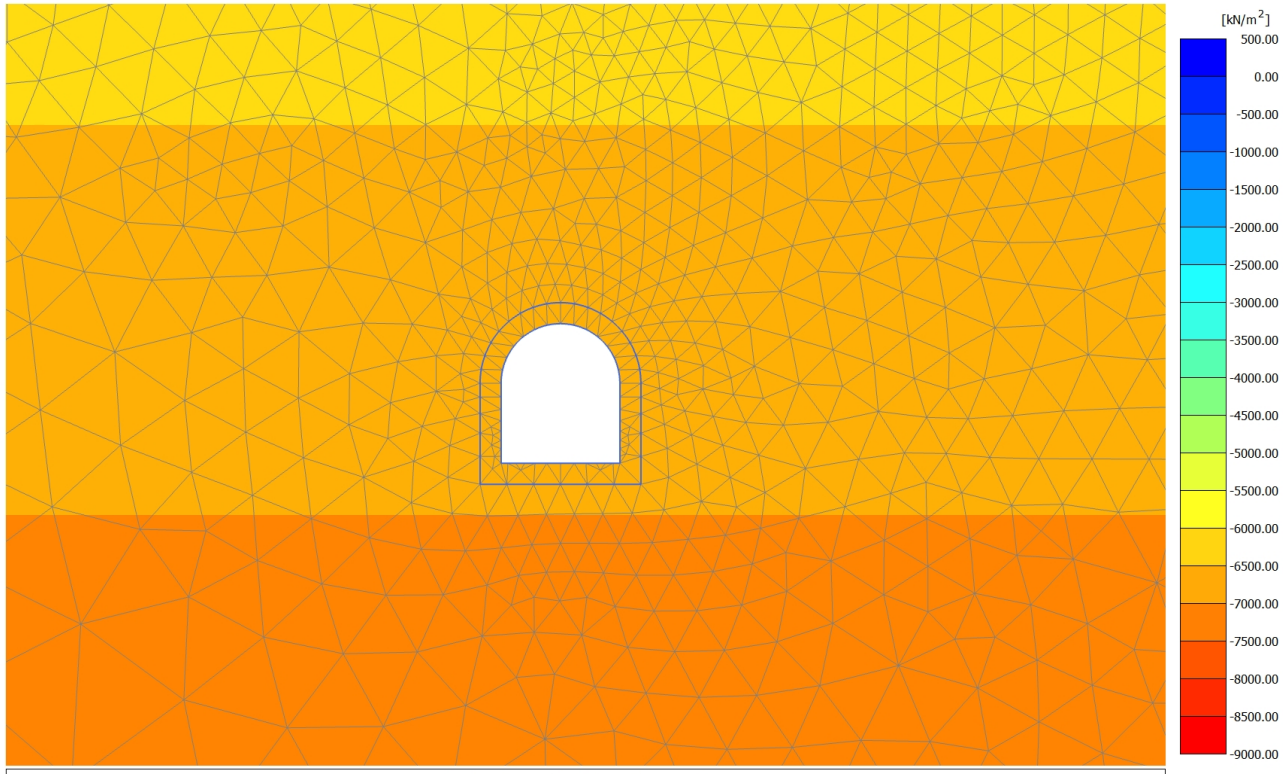
4.1.3 Calculation results, <Phase 2> (2/20), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = 0.01832 m (Element 4641 at Node 4914)

4.2.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Cartesian effective stress σ'$_{xx}$

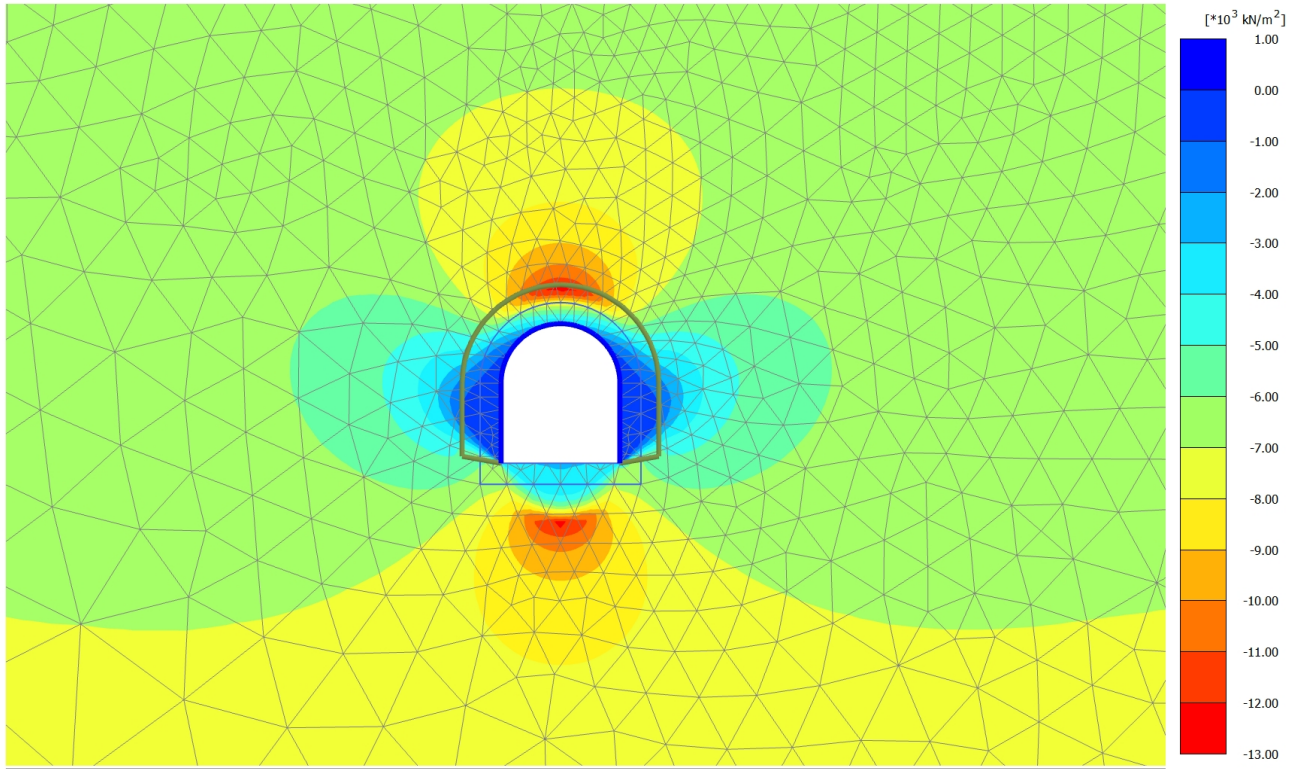


Cartesian effective stress σ'$_{xx}$

Maximum value = 0.01454 kN/m^2 (Element 101 at Node 33796)

Minimum value = -8641 kN/m^2 (Element 55 at Node 29068)

4.2.2 Calculation results, <Phase 1> (1/6), Cartesian effective stress σ'_{xx}

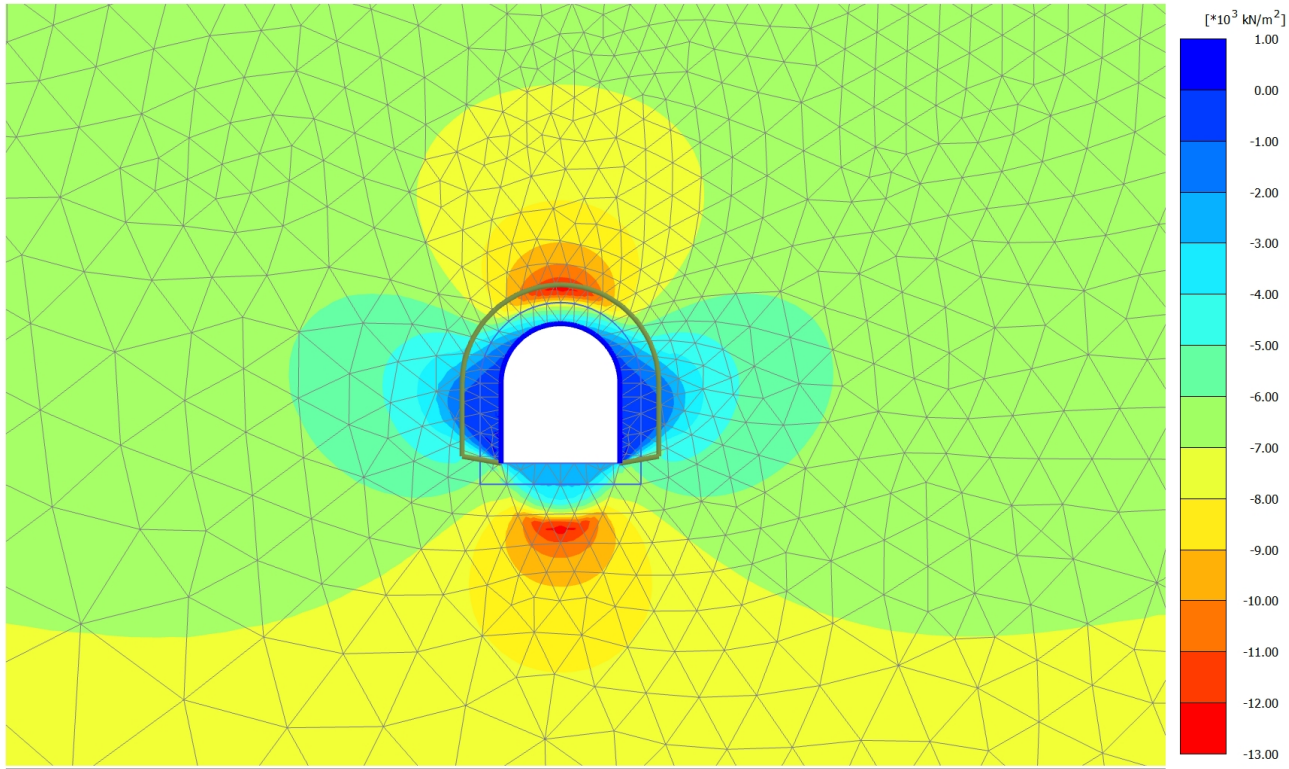


Cartesian effective stress σ'_{xx}

Maximum value = 81.83 kN/m^2 (Element 4628 at Node 6982)

Minimum value = -12.31*10^3 kN/m^2 (Element 115 at Node 240)

4.2.3 Calculation results, <Phase 2> (2/20), Cartesian effective stress σ'_{xx}

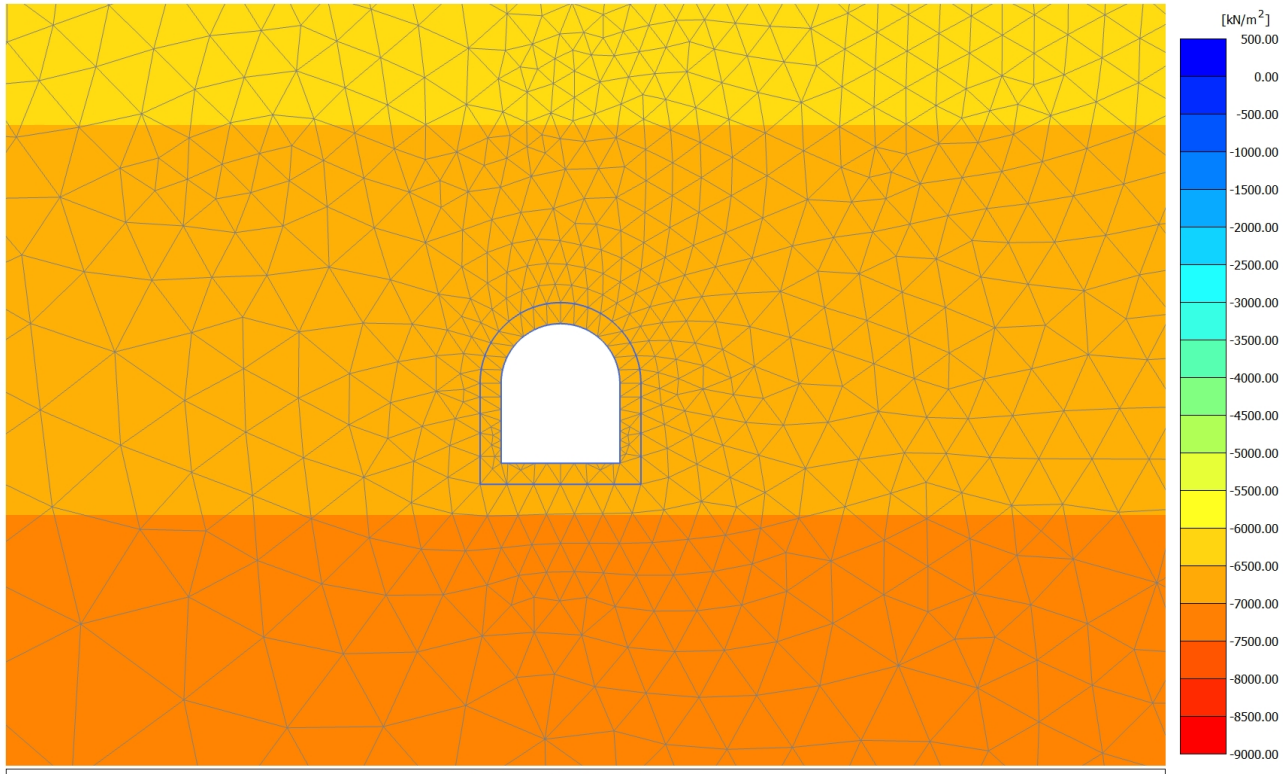


Cartesian effective stress σ'_{xx}

Maximum value = 166.7 kN/m^2 (Element 4628 at Node 6982)

Minimum value = -12.67*10^3 kN/m^2 (Element 248 at Node 7432)

4.3.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Cartesian effective stress σ'$_{yy}$

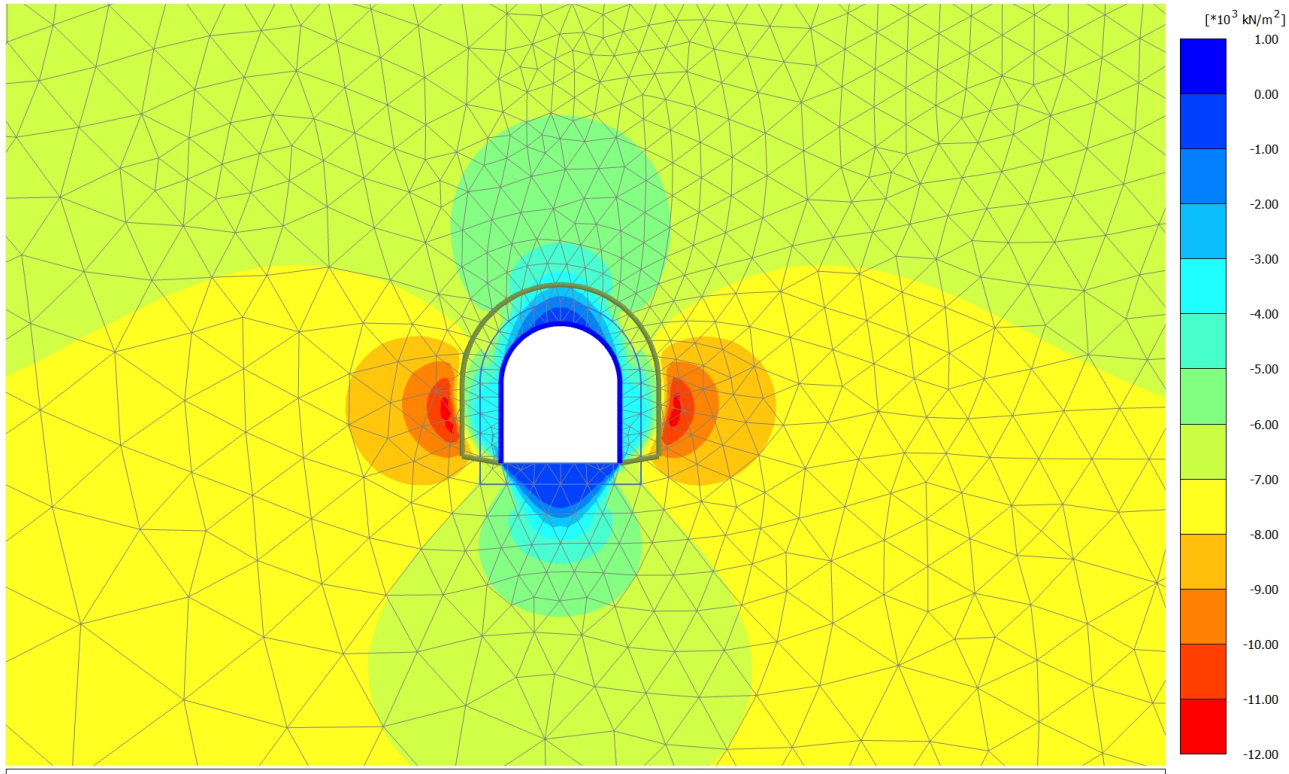


Cartesian effective stress σ'$_{yy}$

Maximum value = 0.01454 kN/m^2 (Element 101 at Node 33796)

Minimum value = -8641 kN/m^2 (Element 55 at Node 29068)

4.3.2 Calculation results, <Phase 1> (1/6), Cartesian effective stress σ'_{yy}

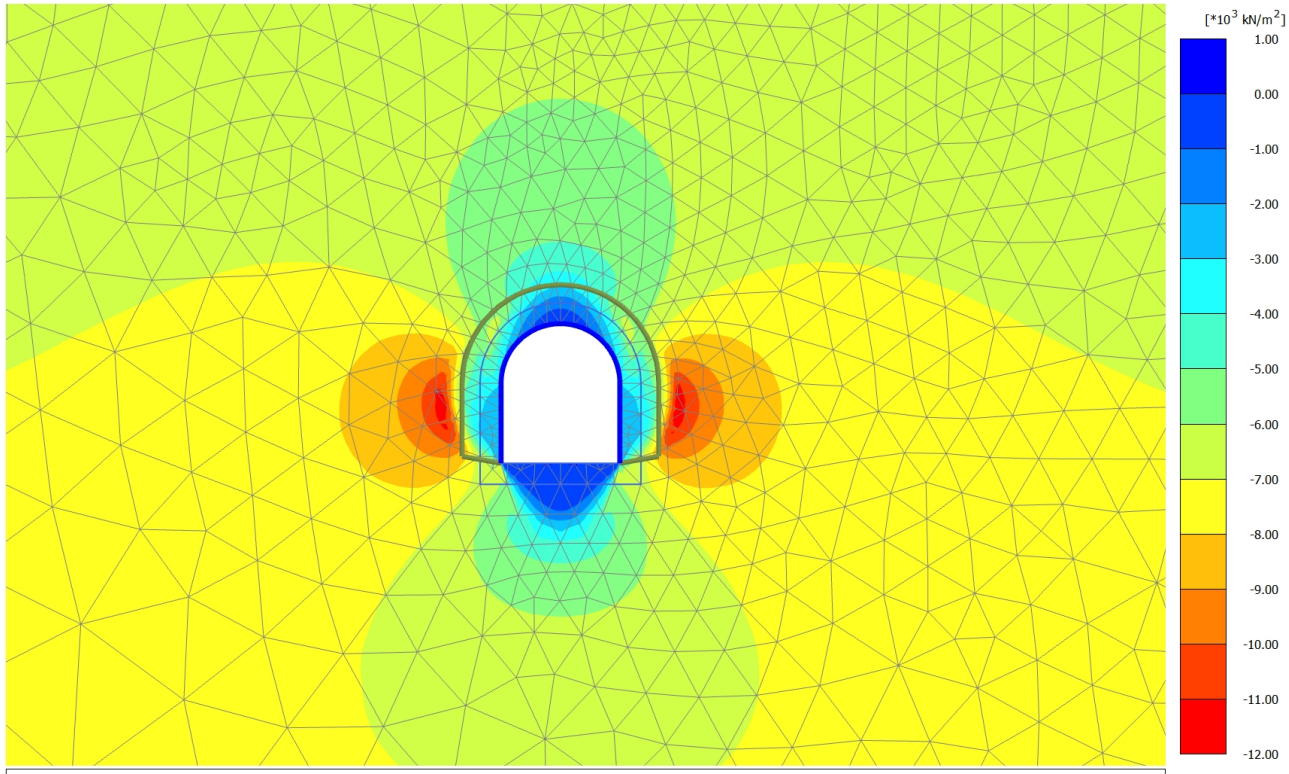


Cartesian effective stress σ'_{yy}

Maximum value = 422.9 kN/m^2 (Element 4629 at Node 7244)

Minimum value = -11.62*10^3 kN/m^2 (Element 240 at Node 6324)

4.3.3 Calculation results, <Phase 2> (2/20), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy}

Maximum value = 57.93 kN/m^2 (Element 4629 at Node 7242)

Minimum value = -11.78*10^3 kN/m^2 (Element 333 at Node 6344)

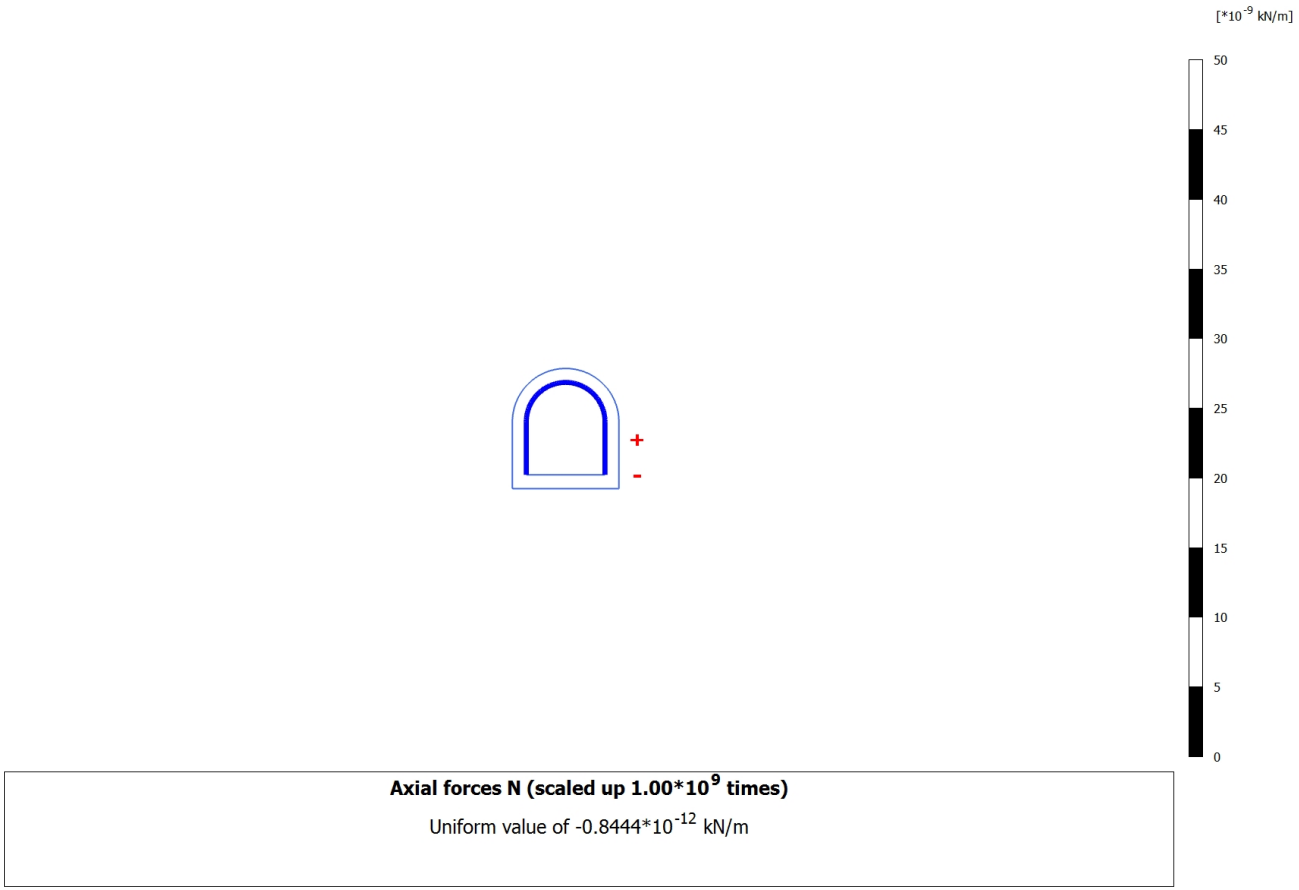
4.4.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 1.00 times)

No results

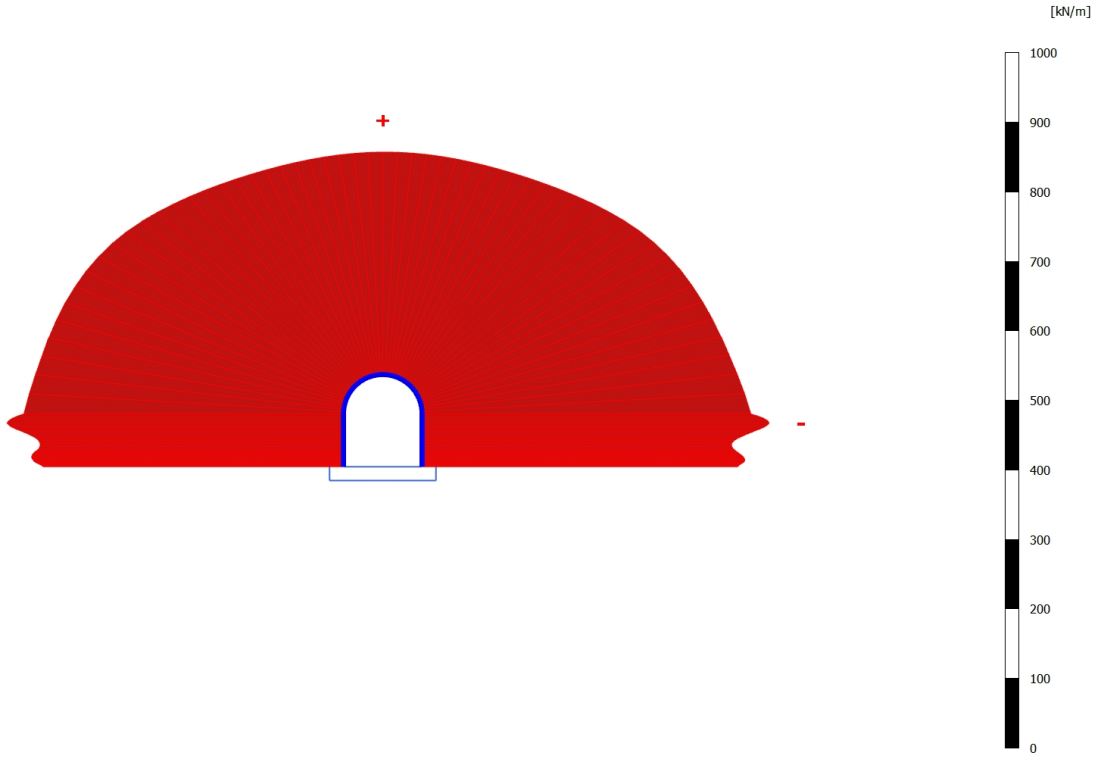
4.4.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/6), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 1.00*10 9 times)

Uniform value of -0.8444*10 -12 kN/m

4.4.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/20), Axial forces N

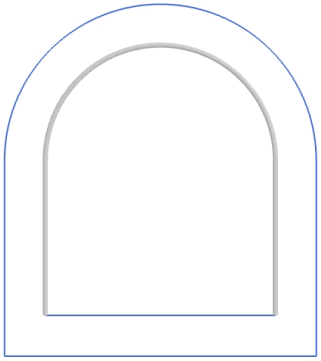


Axial forces N (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = -319.9 kN/m (Element 15 at Node 367)

Minimum value = -499.6 kN/m (Element 7 at Node 3369)

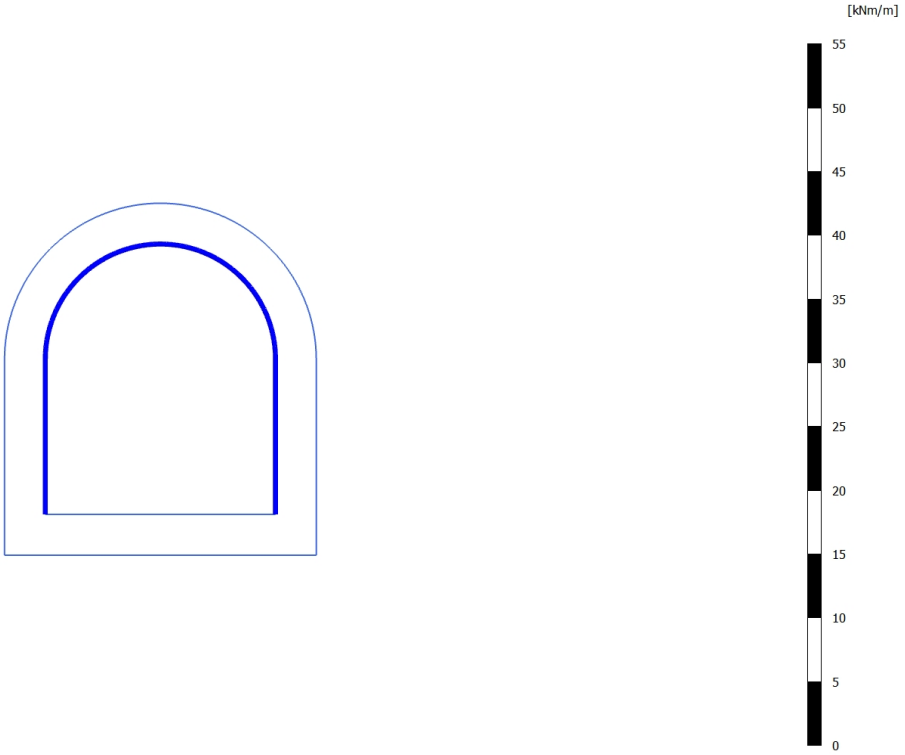
4.5.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 0.313 times)

No results

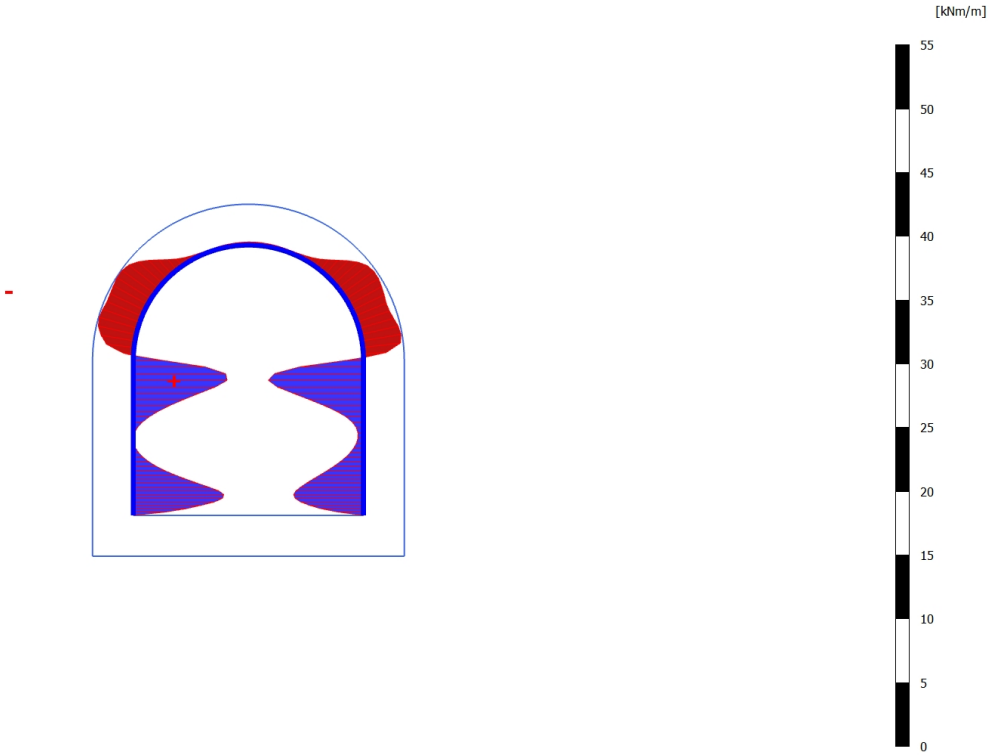
4.5.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/6), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 0.313 times)

Uniform value of $1.762*10^{-12}$ kNm/m

4.5.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/20), Bending moments M

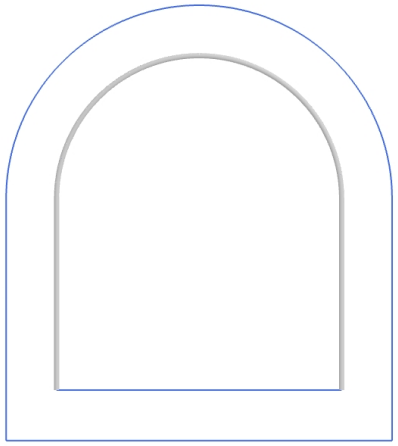


Bending moments M (scaled up 0.313 times)

Maximum value = 7.475 kNm/m (Element 8 at Node 3002)

Minimum value = -3.150 kNm/m (Element 21 at Node 922)

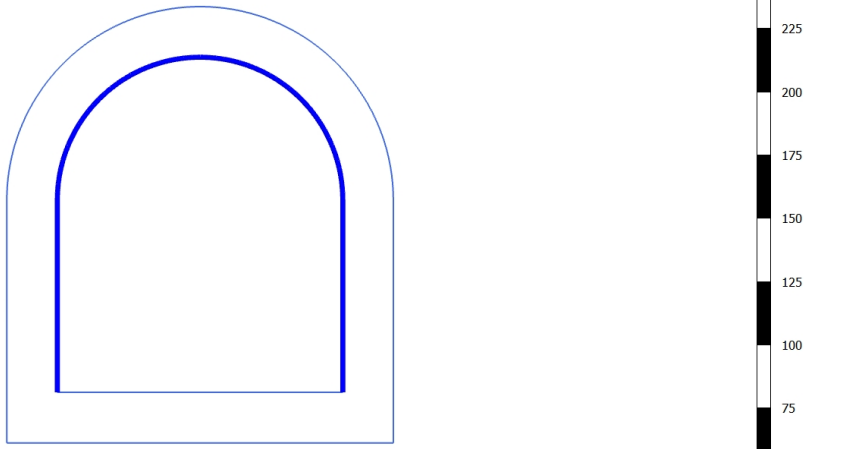
4.6.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

No results

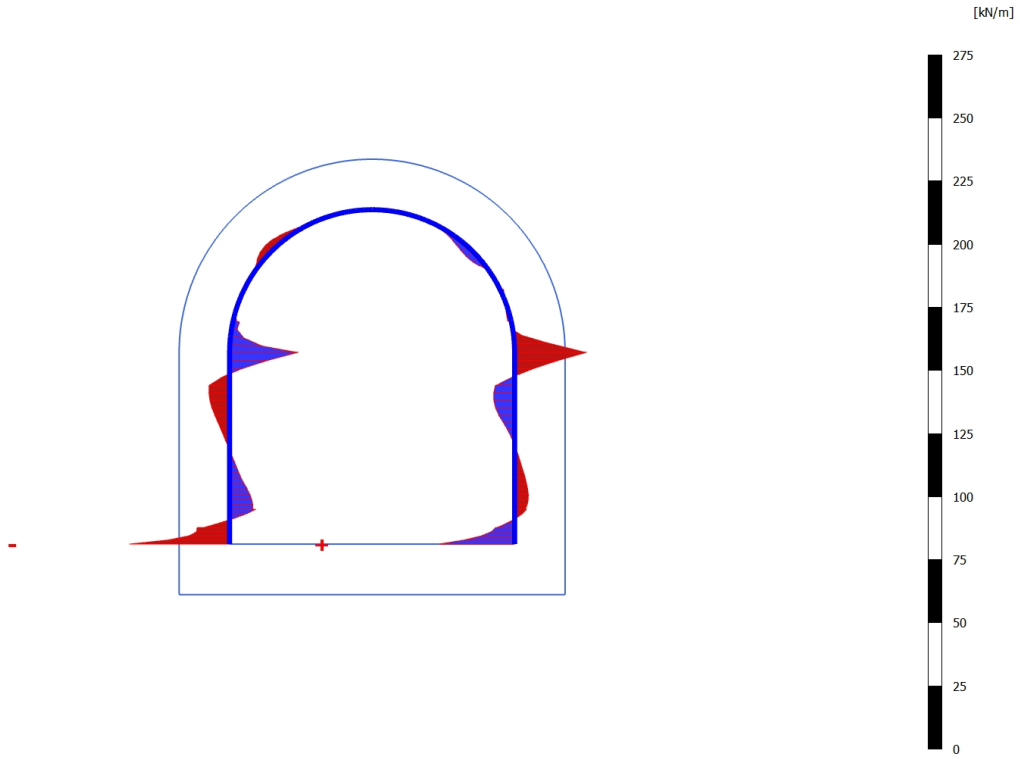
4.6.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/6), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Uniform value of $0.01864*10^{-9}$ kN/m

4.6.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/20), Shear forces Q

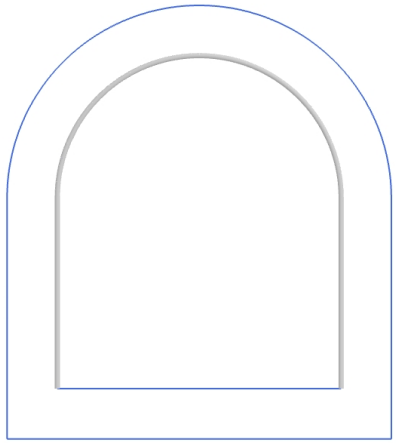


Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 30.05 kN/m (Element 1 at Node 7807)

Minimum value = -39.71 kN/m (Element 30 at Node 6199)

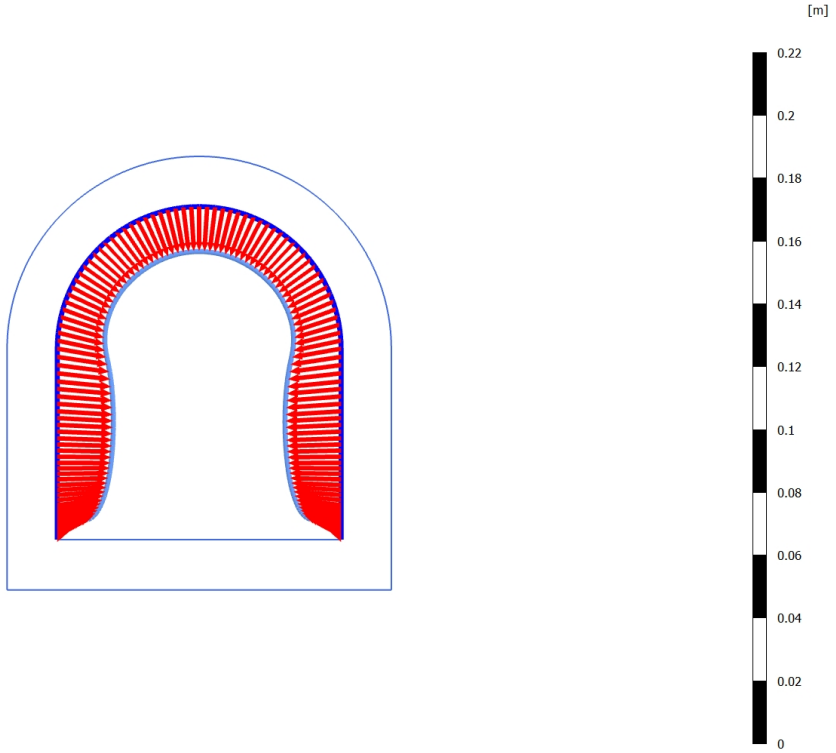
4.7.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Total displacements |u|



Total displacements |u| (scaled up 62.5 times)

No results

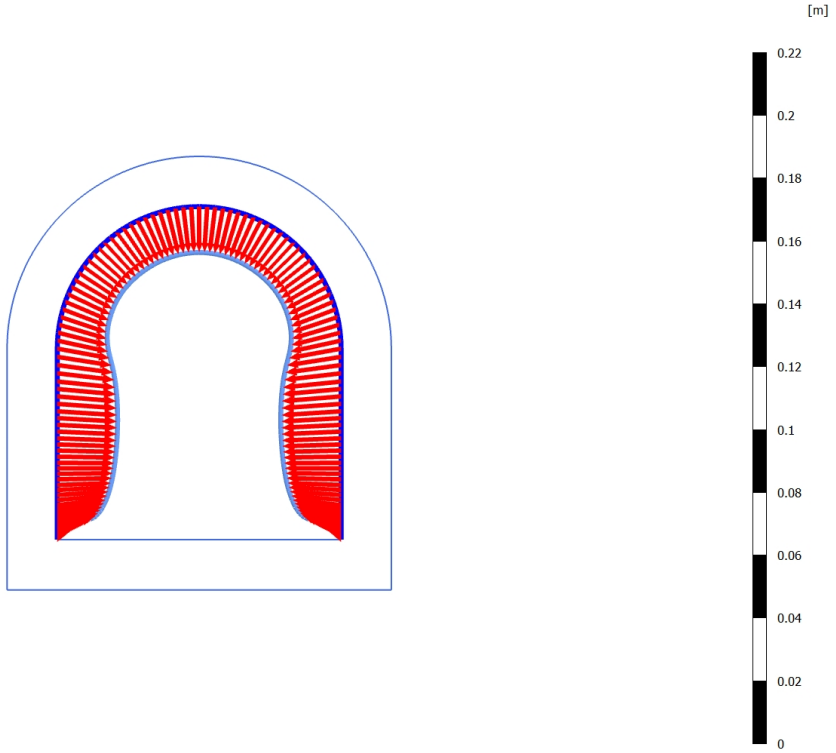
4.7.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/6), Total displacements |u|



Total displacements |u| (scaled up 62.5 times)

Maximum value = 0.01789 m (Element 6 at Node 3580)

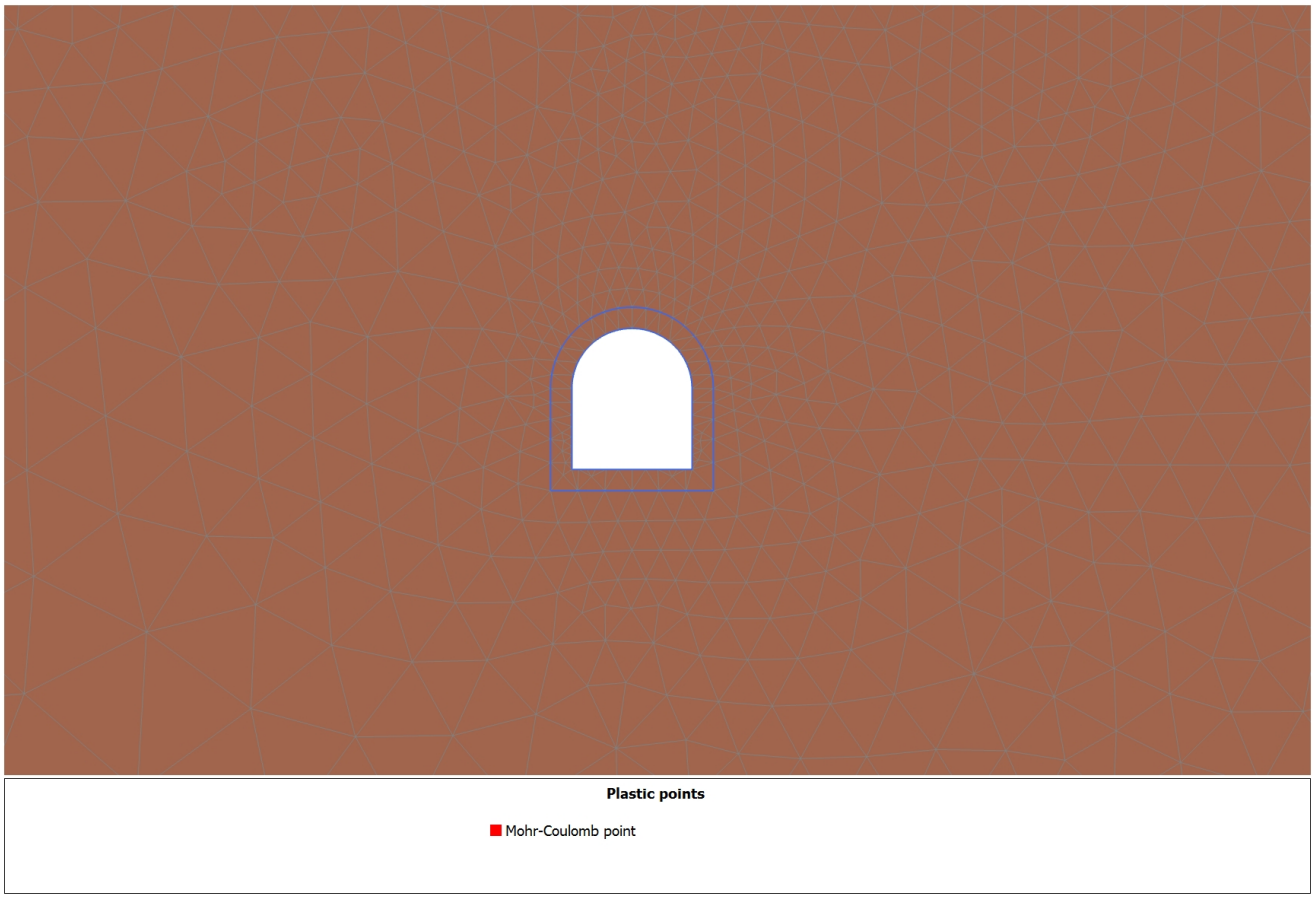
4.7.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/20), Total displacements |u|



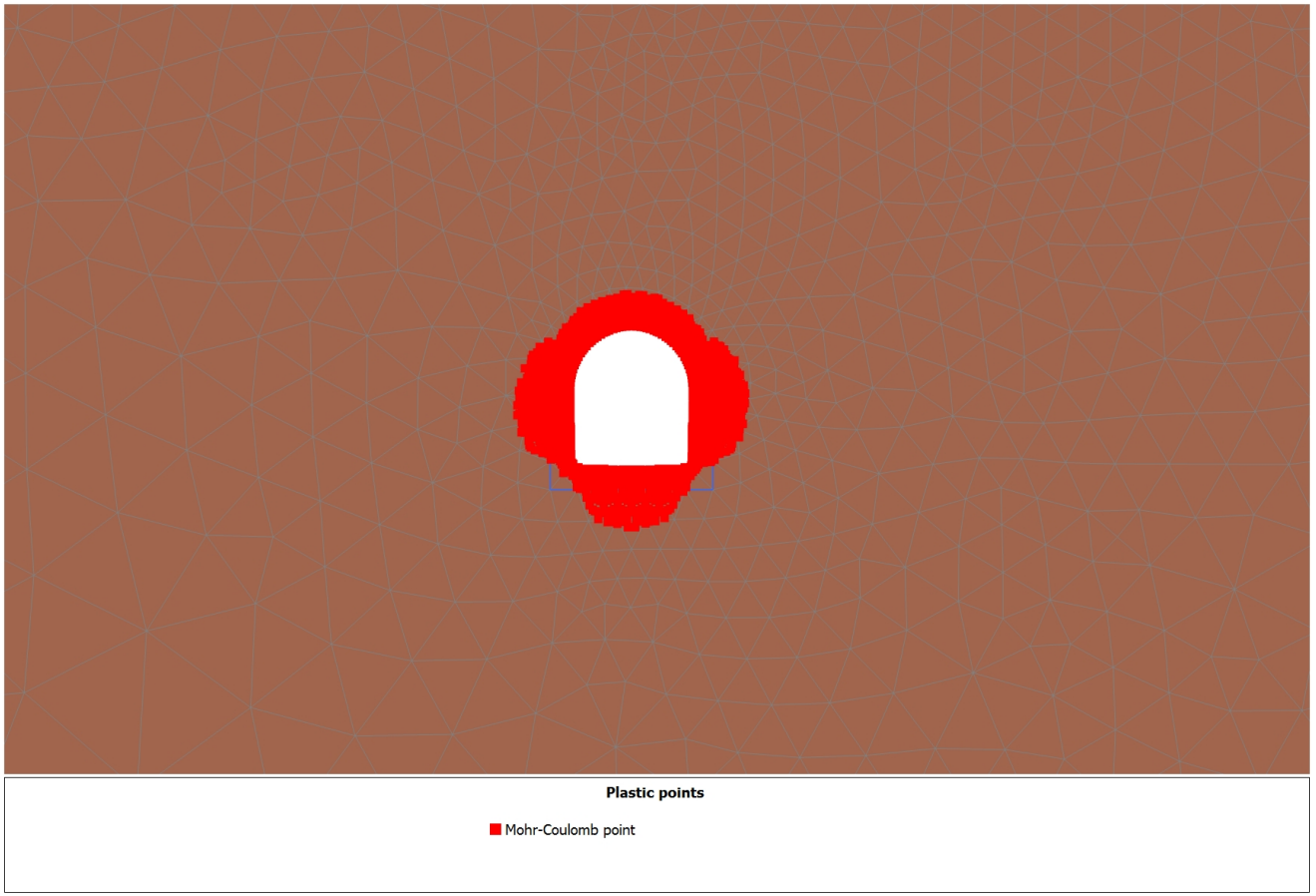
Total displacements |u| (scaled up 62.5 times)

Maximum value = 0.01925 m (Element 6 at Node 3580)

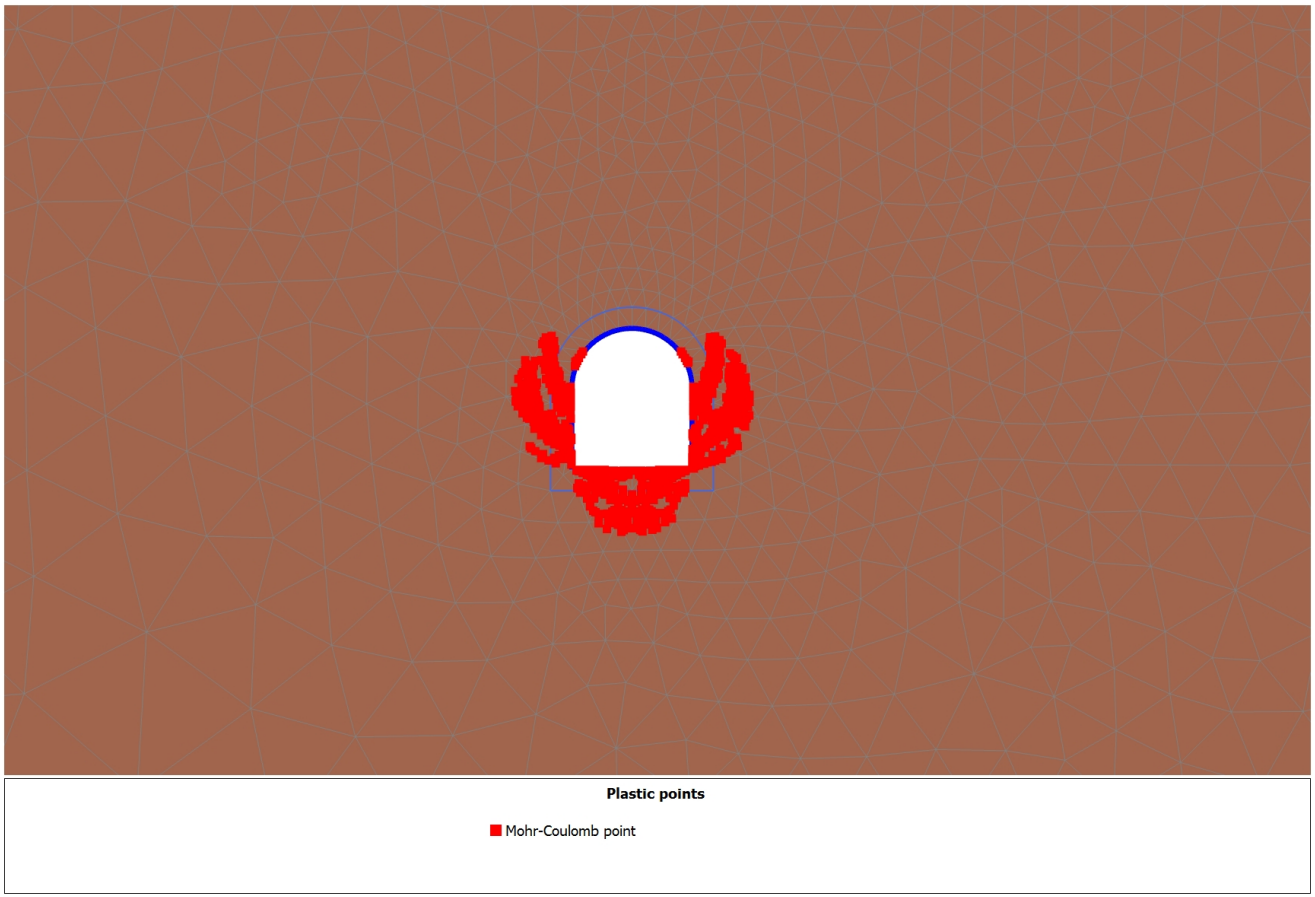
4.8.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Plastic points



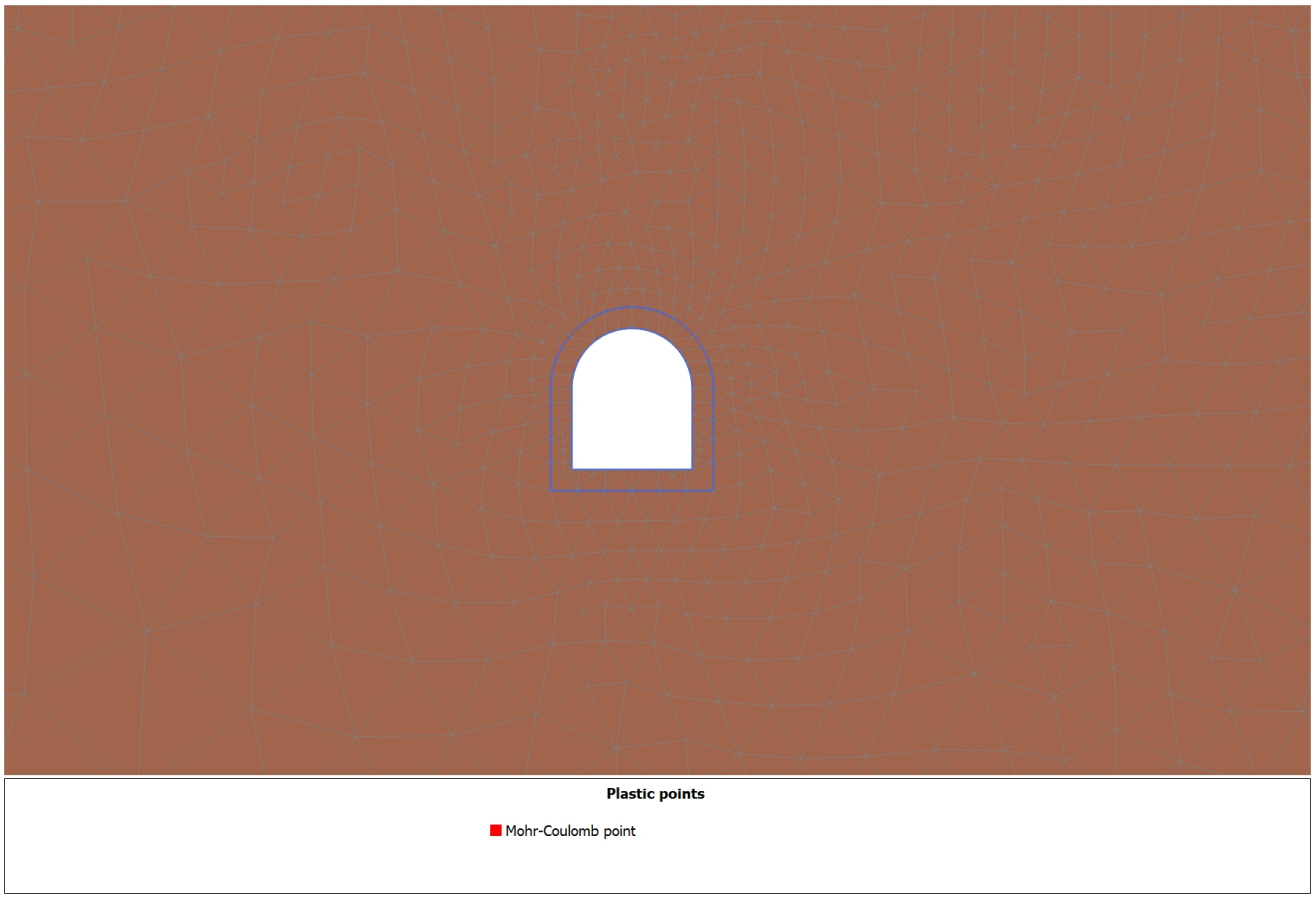
4.8.2 Calculation results, <Phase 1> (1/6), Plastic points



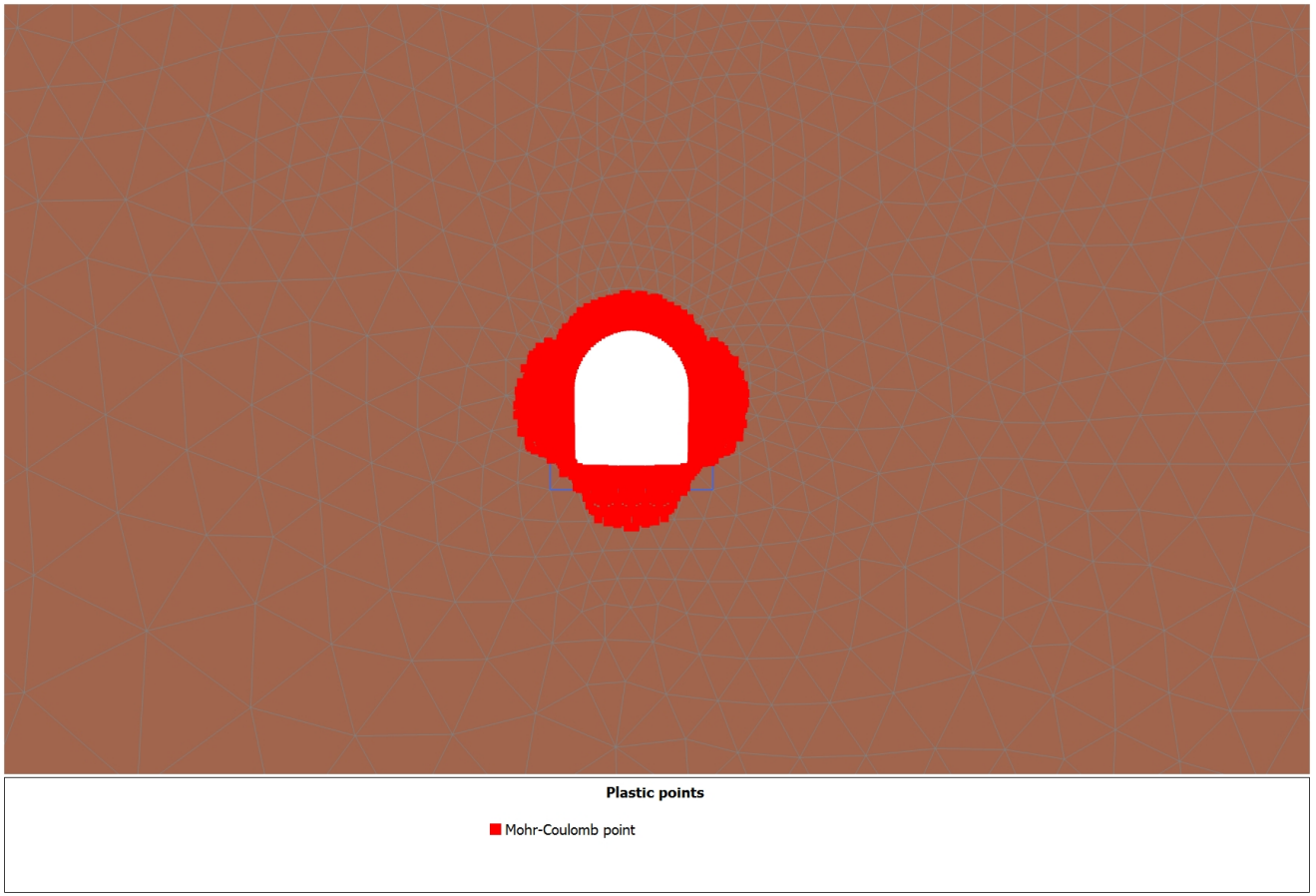
4.8.3 Calculation results, <Phase 2> (2/20), Plastic points



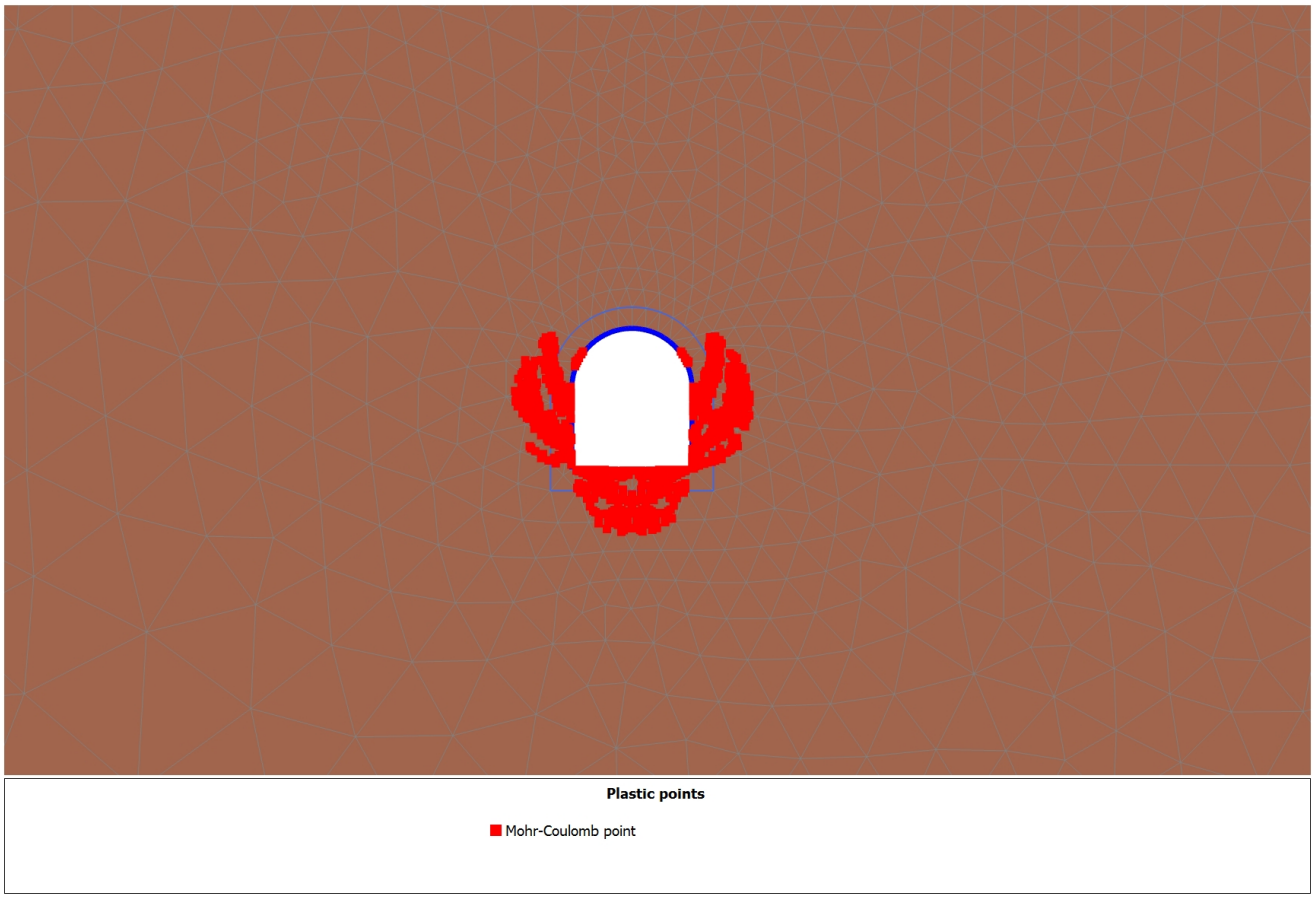
4.9.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Plastic points



4.9.2 Calculation results, <Phase 1> (1/6), Plastic points



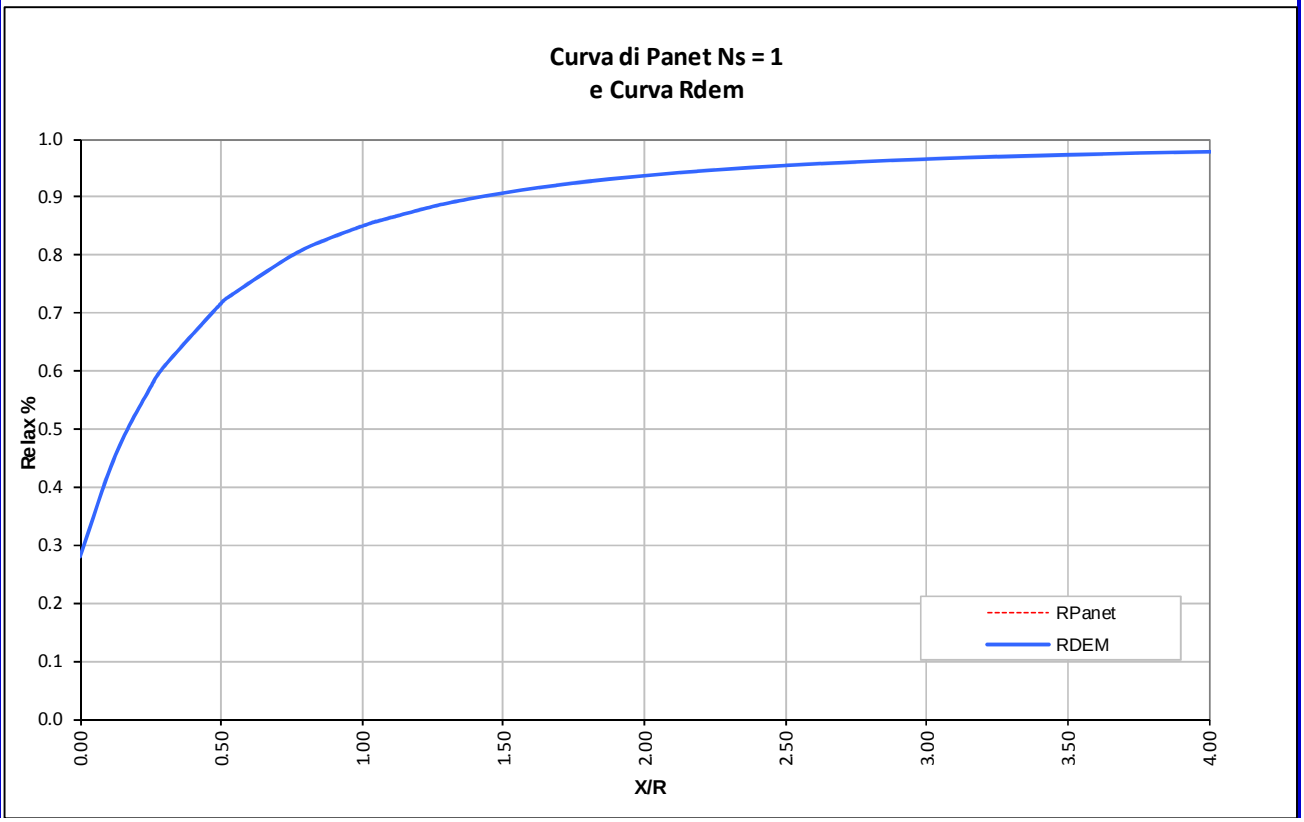
4.9.3 Calculation results, <Phase 2> (2/20), Plastic points



ALLEGATO 3 – ANALISI NUMERICHE – modello 2

LAVORO	AV-AC - MILANO GENOVA	**Sezione**	Parietale
Sezione	sez. attacco	**Litotipo**	Dolomie M.te Gazzo

TIME	DESCRIZIONE	Xfronte [m]	Rpanet	R(FEM)
Time 0	Initial phase - geostatico	-∞	0%	0%
Time 1	Apertura cavo	-	28%	28%
Time 2	Installazione centine e avanzamento	0.5	45%	45%



CALCESTRUZZO PROIETTATO		
E_{cls} =	28500	N/mm^2
s =	0.15	m

CENTINE		
E_{acc} =	2100000	kg/cm^2
n_{cen} =	1	[-]
A_{acc} =	18.3	cm^2
A_{cen}=	1.83E-03	m^2
I_{acc} =	573	cm^4
I_{cen} =	5.73E-06	m^4
d =	1	m

SOSTEGNO EQUIVALENTE		
E =	3.00E+10	N/m^2
s =	0.154	m

Si considera a favore di sicurezza la condizione di presenza contemporanea del valore massimo di taglio, azione assiale e flettente.

N =	195.5	kN
M =	4.930	kNm
T =	41.19	kN

N_{cen} =	16.31	kN
N_{cls} =	179.19	kN
M_{cen} =	4.93	kNm
T_{cen} =	41.19	kN

σ_{cls} =	1.2	Mpa

$$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen}/d}{\bar{E} \cdot \bar{s}} \cdot N_{tot} \cdot = \frac{E_{acc}}{\bar{E}} \cdot \frac{A_{cen}}{\bar{s}} \cdot N_{tot}$$

$$N_{cls} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$$

$$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$$

$$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$$

La tensione sullo spritz beton risulta minore del valore limite. La verifica è pertanto soddisfatta.

Si applicano ora le azioni ottenute sul singolo profilato metallico per condurre le verifiche sulle centine.

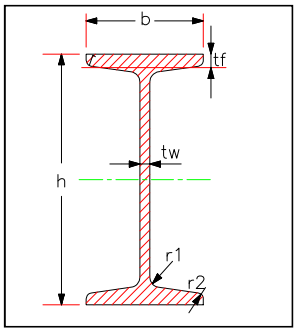
TUBI IN ACCIAIO SENZA SALDATURE O SALDATI

Scelta Diametro

HSE
HSH
HSL
HSU
IPE
IPEA
IPEO
IPEX
IPN
ISE

Scelta spessore

IPN 140
IPN 160
IPN 180
IPN 200
IPN 220
IPN 240
IPN 260
IPN 280
IPN 300
IPN 320



Caratteristiche Profilato			
Tipologia Profilato		**IPN 140**	
Peso profilato	m	[kg/m]	14.30
Altezza Profilato	h	[mm]	140.0
Larghezza Profilo	b	[mm]	66.0
Spessore Anima	t_w	[mm]	5.70
Spessore Ala	t_f	[mm]	8.6
raggio raccordo Ala-Anima	r/r_1	[mm]	5.7
raggio raccordo d'Ala	r_2	[mm]	3.4
Area profilato	A	[mm^2]	1830
Inerzia profilato $_y$	J_y	[mm^4]*10^6	5.73
Modulo resistenza $_y$	W_y	[mm^3]*10^3	81.9
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{y,pl}$	[mm^3]*10^3	95.4
Raggio d'inerzia $_y$	r_y/i_y	[mm]	56.1
Inerzia profilato $_y$	J_z	[mm^4]*10^6	0.352
Modulo resistenza $_y$	W_z	[mm^3]*10^3	10.7
Modulo resistenza $_{pl,y}$	$W_{z,pl}$	[mm^3]*10^3	17.9
Raggio d'inerzia $_z$	r_z/i_z	[mm]	14
Inerzia torsionale	J_T	[mm^4]*10^6	0.0432
Inerzia settoriale	J_w	[mm^4]*10^6	15.4

VERIFICHE STRUTTURALI T.A.

Sollecitazioni			
Sforzo Normale	N	[kN]	16.31
Momento in direzione y	My	[kNm]	4.93
Momento in direzione z	Mz	[kNm]	0.00
Taglio in direzione y	Ty	[kN]	41.19
Taglio in direzione z	Tz	[kN]	0.00
Verifica normativa italiana			
tensione normale (p.to 1)	$\sigma^{(1)}$	[N/mm^2]	69.138
tensione tangenziale (p.to 1)	$\tau^{(1)}$	[N/mm^2]	0.000
tensione ideale (p.to 1)	$\sigma_{id}^{(1)}$	[N/mm^2]	69.138
$\sigma_{id}^{(1)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 2)	$\sigma^{(2)}$	[N/mm^2]	69.138
tensione tangenziale (p.to 2)	$\tau^{(2)}$	[N/mm^2]	63.716
tensione ideale (p.to 2)	$\sigma_{id}^{(2)}$	[N/mm^2]	130.227
$\sigma_{id}^{(2)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 3)	$\sigma^{(3)}$	[N/mm^2]	61.739
tensione tangenziale (p.to 3)	$\tau^{(3)}$	[N/mm^2]	3.914
tensione ideale (p.to 3)	$\sigma_{id}^{(3)}$	[N/mm^2]	62.110
$\sigma_{id}^{(3)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		
tensione normale (p.to 4)	$\sigma^{(4)}$	[N/mm^2]	8.911
tensione tangenziale (p.to 4)	$\tau^{(4)}$	[N/mm^2]	1.101
tensione ideale (p.to 4)	$\sigma_{id}^{(4)}$	[N/mm^2]	9.113
$\sigma_{id}^{(4)}$ < σ_{amm}	**Sezione Verificata**		

Caratteristiche materiali

sp<40mm
sp>40mm

Fe 360
Fe 430
Fe 510

☐ Condizione di carico II

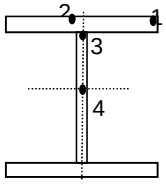
s_{amm}	190.00	[N/mm^2]
t_{amm}	109.70	[N/mm^2]

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_{yy}} \cdot z \frac{1}{\psi_y} + \frac{M_z}{J_{zz}} \cdot y \frac{1}{\psi_z}$$

$$\psi_z = 1; \quad \psi_y = 1$$

$$\tau = \frac{T_z S_{yy}'}{J_{yy} t} + \frac{T_y S_{zz}'}{J_{zz} t}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$$



Tutte le verifiche risultano soddisfatte

PLAXIS Report

1.1.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		_MC_DOL_2	_MC_DOL_3
Identification number		1	2
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
γ_{unsat}	kN/m ^{3}	27.00	27.00
γ_{sat}	kN/m ^{3}	27.00	27.00
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
E	kN/m ^{2}	3.750E6	2.500E6
ν (nu)		0.3000	0.3000
G	kN/m ^{2}	1.442E6	961.5E3
E_{oed}	kN/m ^{2}	5.048E6	3.365E6

Identification		_MC_DOL_2	_MC_DOL_3
c_{ref}	kN/m^2	650.0	300.0
φ (phi)	°	37.00	35.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V_s	m/s	723.5	590.8
V_p	m/s	1354	1105
Set to default values		No	No
E_{inc}	kN/m^2/m	0.000	0.000
y_{ref}	m	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m^2/m	0.000	0.000
y_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m^2	1.000	1.000
Strength		Rigid	Rigid
R_{inter}		1.000	1.000
δ_{inter}		0.000	0.000
K_0 determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0.3982	0.4264
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse

Identification		_MC_DOL_2	_MC_DOL_3
< 2 µm	%	10.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	13.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	77.00	77.00
Set to default values		No	No
k_x	m/day	0.000	0.000
k_y	m/day	0.000	0.000
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3	10.00E3
e_{init}		0.5000	0.5000
c_k		1.000E15	1.000E15

1.1.1.2 Materials - Plates -

Identification		IPN140_1.0m_SB15_28g	_GHOST_CENTINE
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
Isotropic		Yes	Yes
EA_1	kN/m	4.607E6	1.000E-9
EA_2	kN/m	4.607E6	1.000E-9
EI	$kN\,m^2/m$	9056	1.000E-9
d	m	0.1536	3.464
w	kN/m/m	0.000	0.000
ν (nu)		0.000	0.000
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000

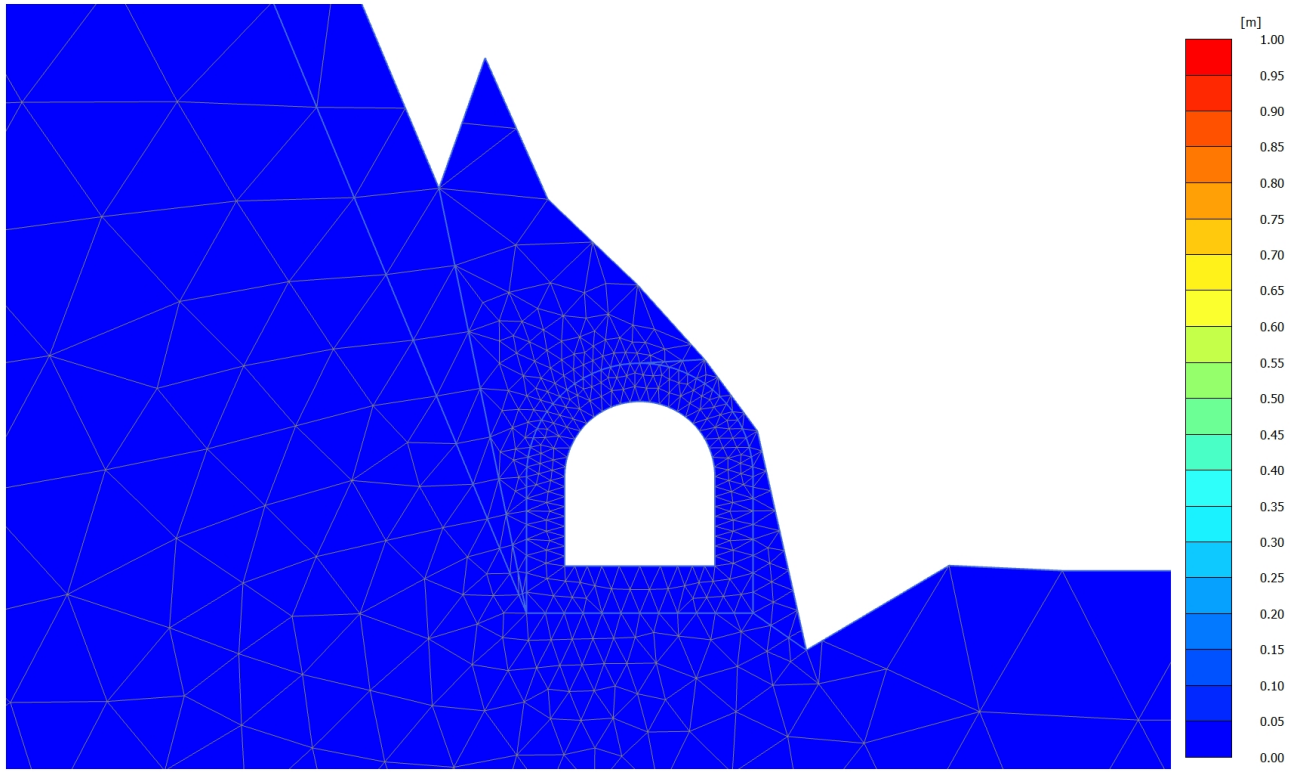
1.1.2 General information

General information	
Project	
Filename	Dol_PARIETALITA'.PLX
Directory	C:\Users\Ing12\Desktop\REV_PLAXIS_CAVABUZZI\Dol_PARIETALITA'.P2DAT\
Title	Dol_PARIETALE
General	
Model	Plane strain
Elements	15-Noded
Acceleration	
Gravity angle	-90.00°
x-acceleration	0.000 G
y-acceleration	0.000 G
Earth gravity	9.800 m/s^2
Mesh	
Nr of soil elements	2123
Nr of nodes	17386
Average elem. size	3.566 m

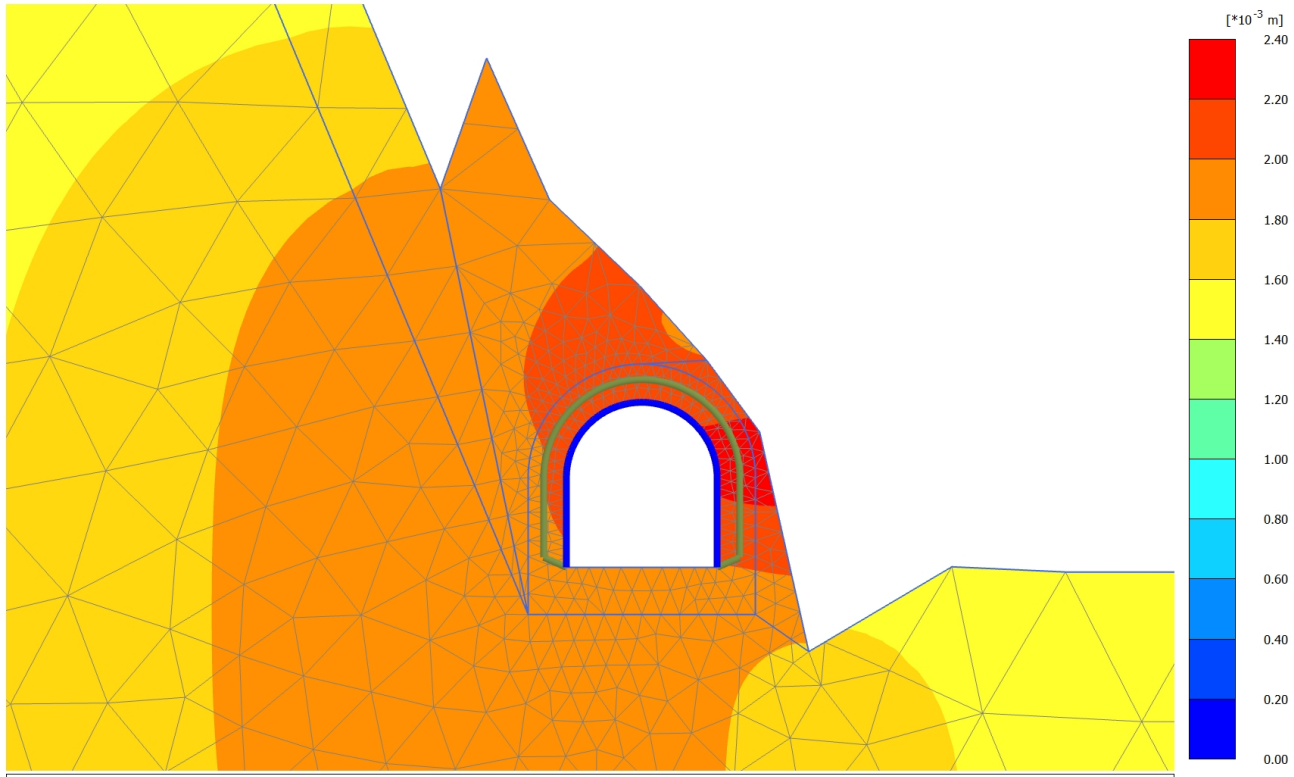
General information

Comments

4.1.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Total displacements |u|



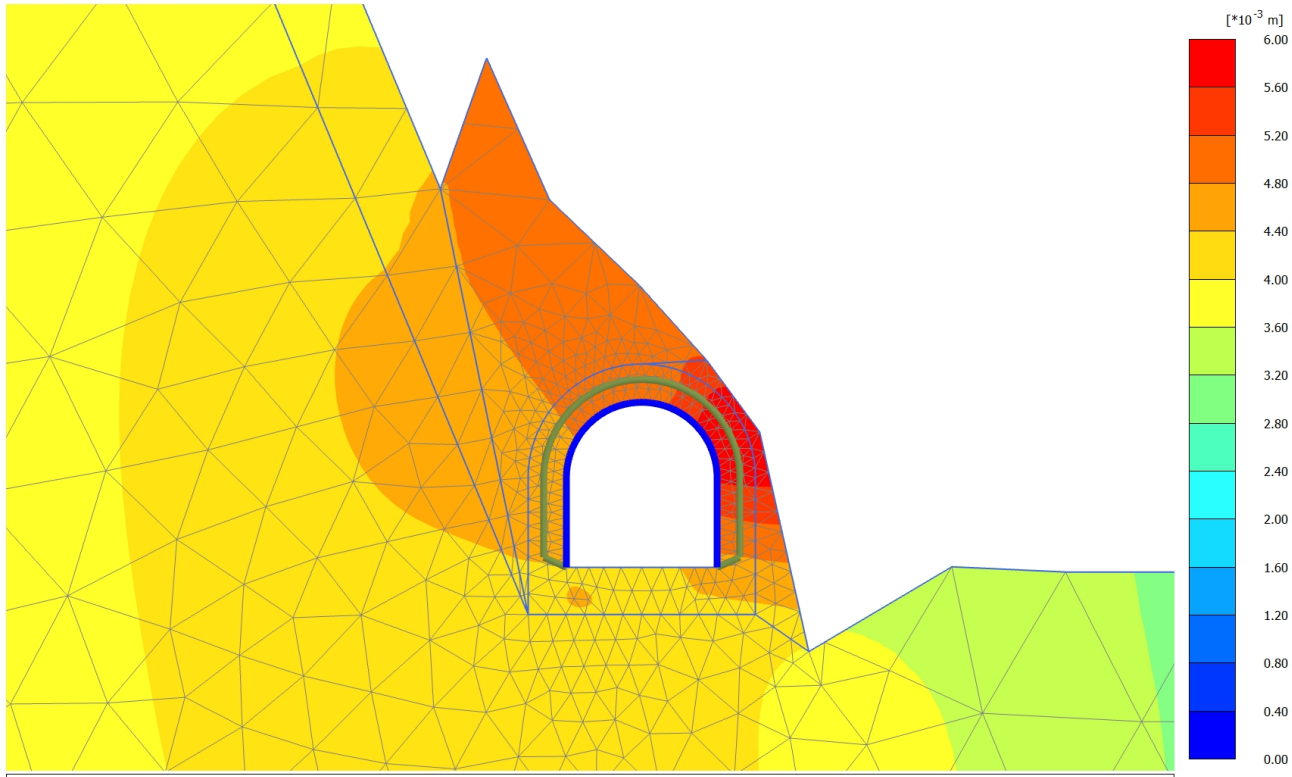
4.1.2 Calculation results, <Phase 1> (1/3), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = $2.277*10^{-3}$ m (Element 2083 at Node 16728)

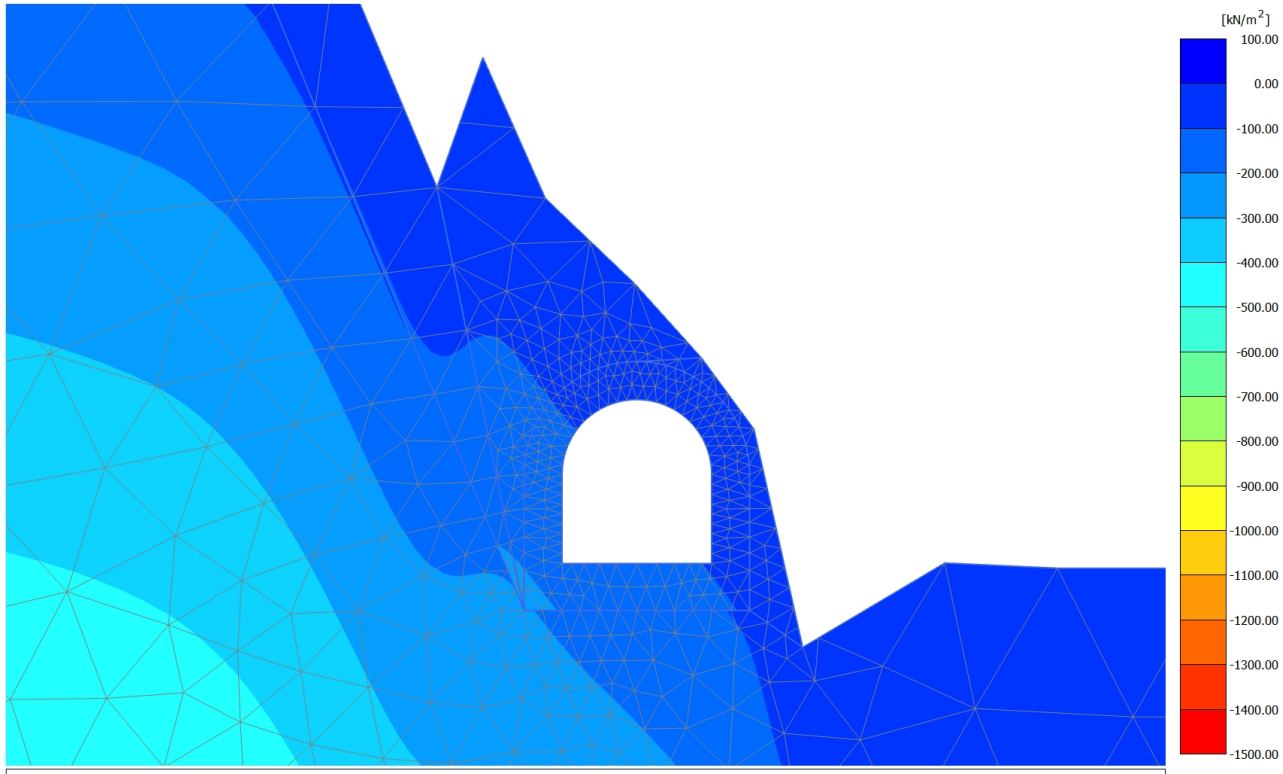
4.1.3 Calculation results, <Phase 2> (2/9), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = $5.987*10^{-3}$ m (Element 2100 at Node 15947)

4.2.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Cartesian effective stress σ'_{xx}

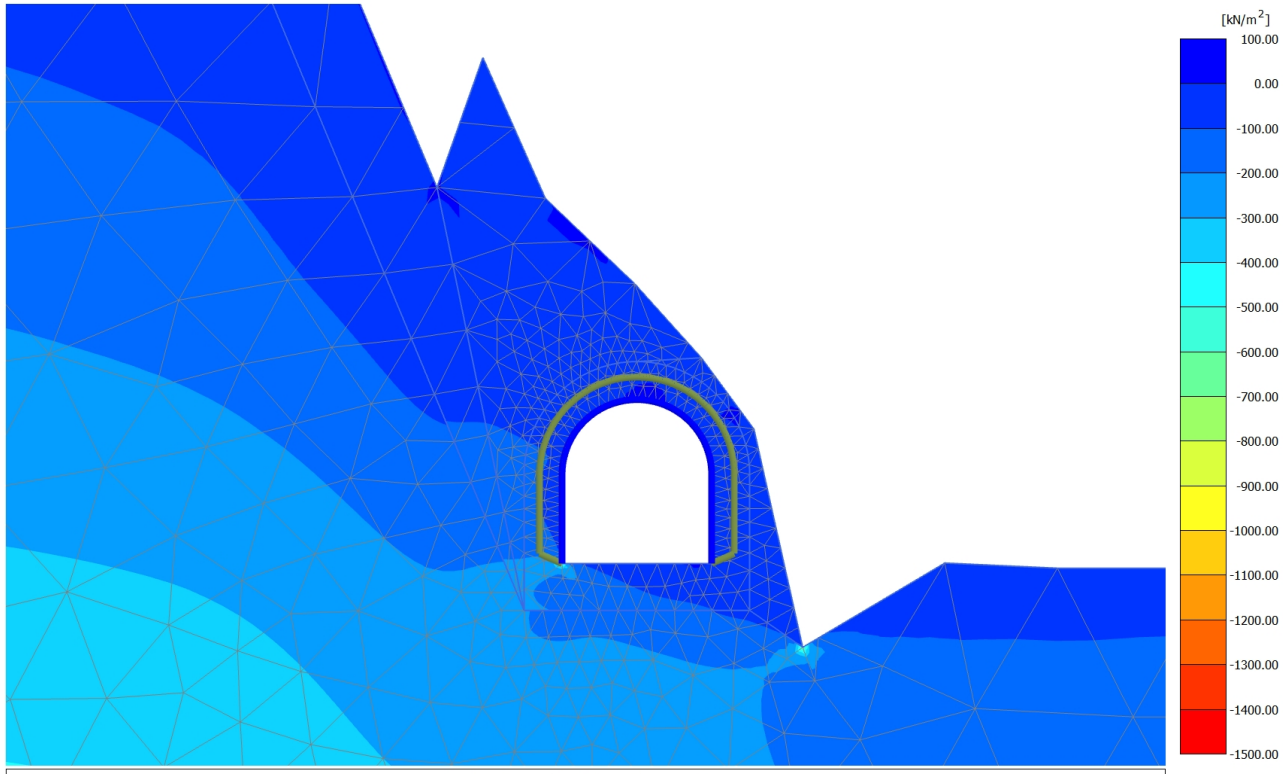


Cartesian effective stress σ'_{xx}

Maximum value = 0.4368 kN/m^2 (Element 1430 at Node 11063)

Minimum value = -1451 kN/m^2 (Element 2 at Node 43)

4.2.2 Calculation results, <Phase 1> (1/3), Cartesian effective stress σ'_{xx}

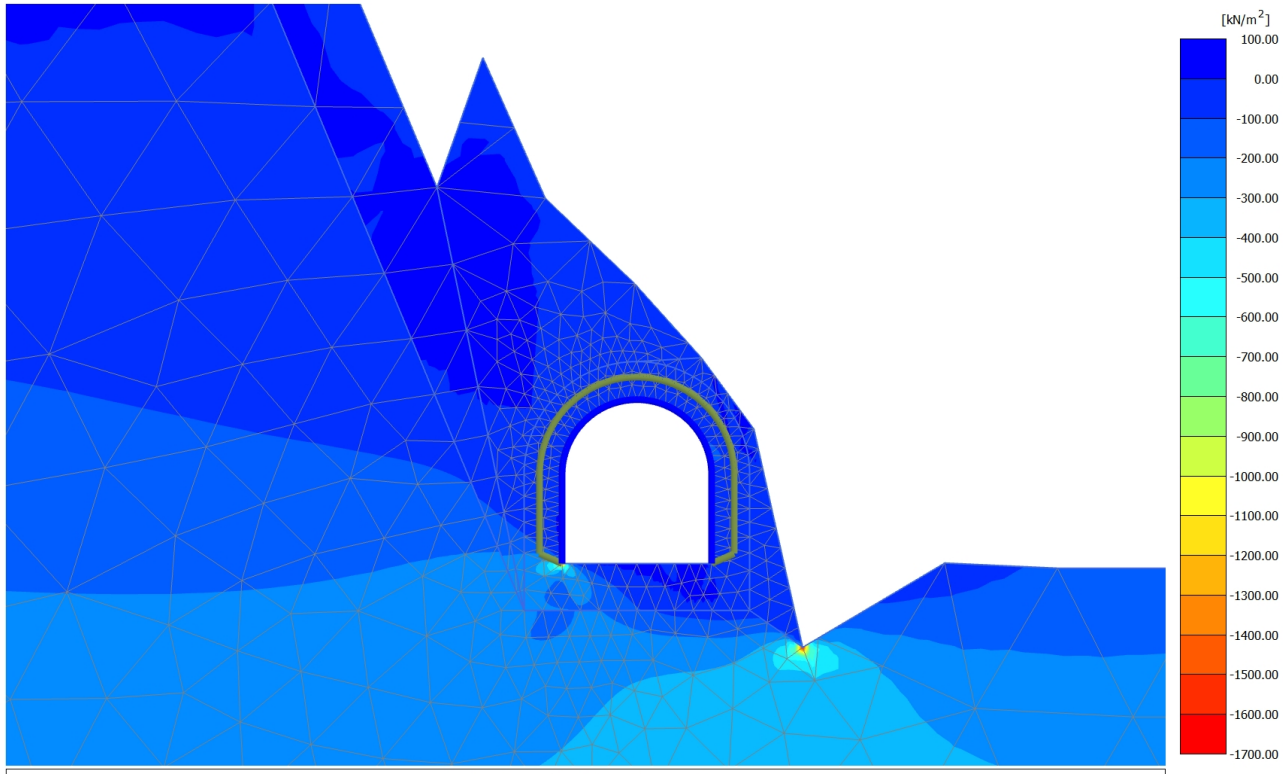


Cartesian effective stress σ'_{xx}

Maximum value = 4.774 kN/m^2 (Element 1514 at Node 14832)

Minimum value = -1439 kN/m^2 (Element 1 at Node 1)

4.2.3 Calculation results, <Phase 2> (2/9), Cartesian effective stress σ'_{xx}

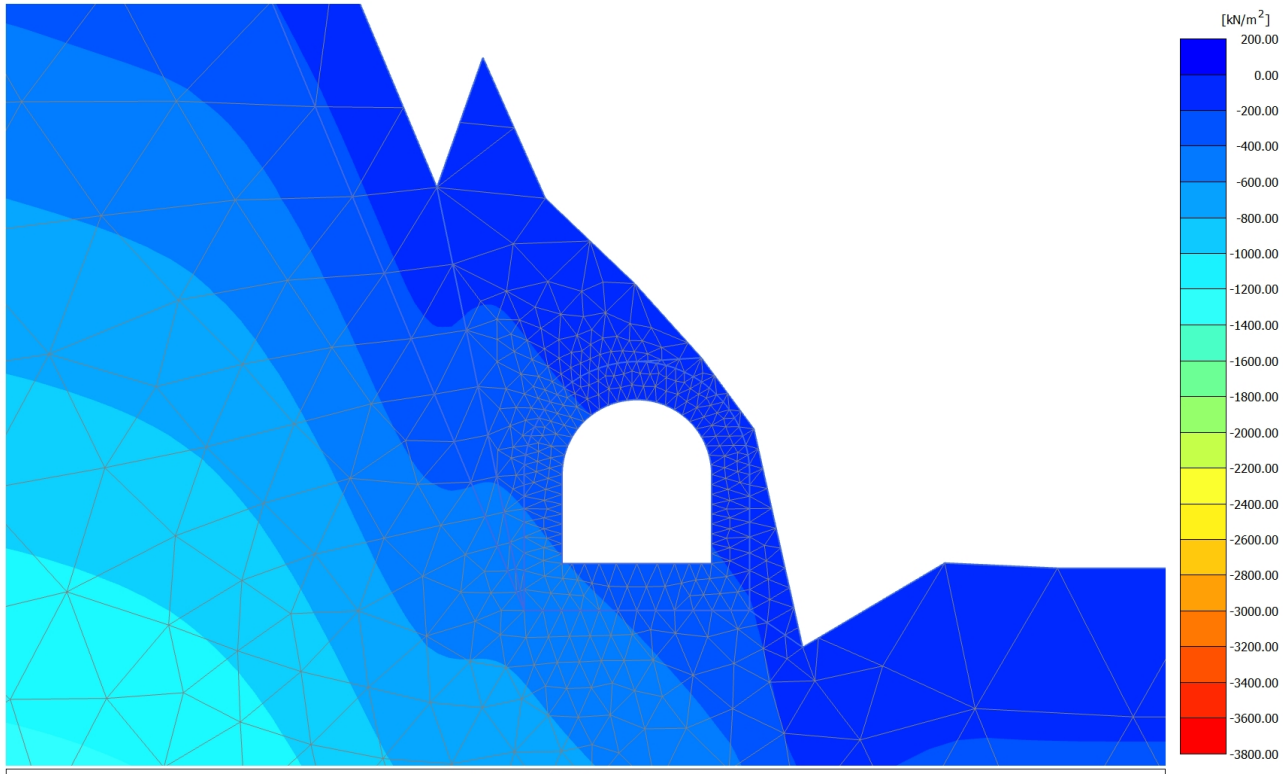


Cartesian effective stress σ'_{xx}

Maximum value = 24.58 kN/m^2 (Element 1469 at Node 11672)

Minimum value = -1697 kN/m^2 (Element 33 at Node 13240)

4.3.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Cartesian effective stress σ'_{yy}

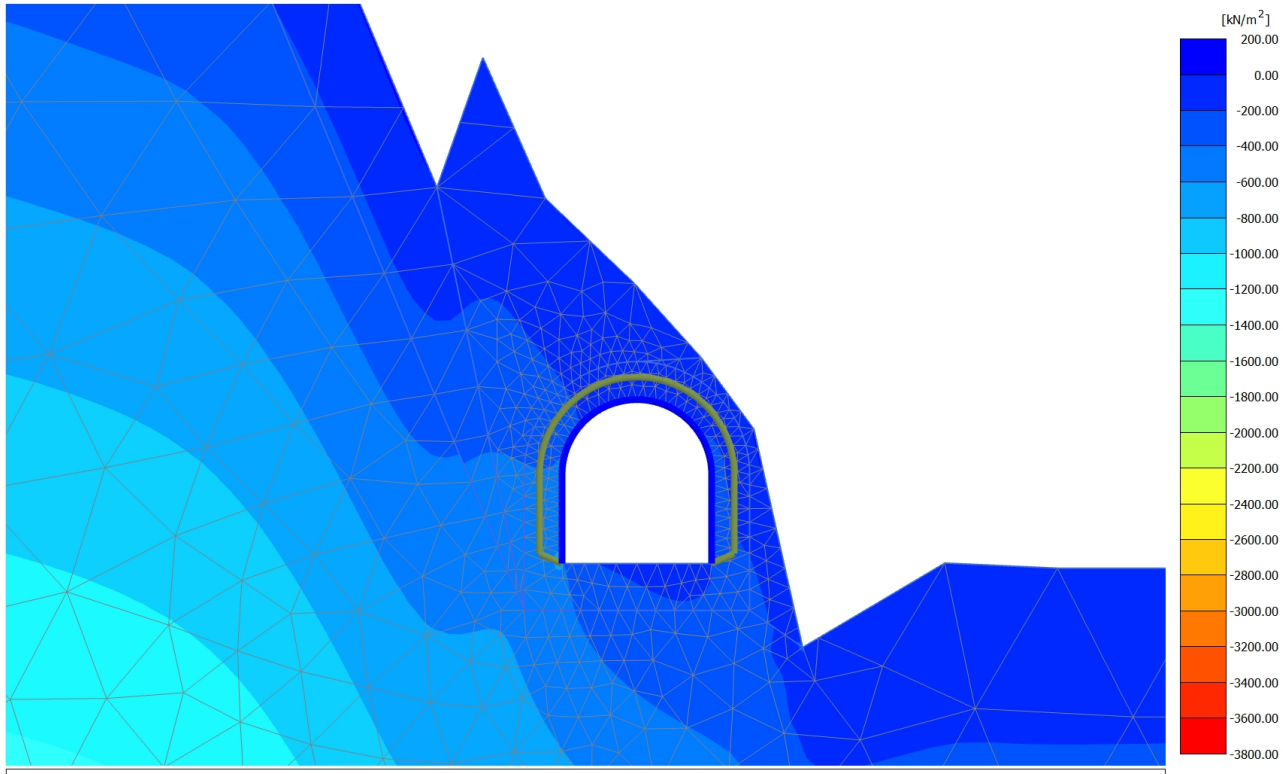


Cartesian effective stress σ'_{yy}

Maximum value = 1.024 kN/m^2 (Element 1430 at Node 11063)

Minimum value = -3645 kN/m^2 (Element 2 at Node 43)

4.3.2 Calculation results, <Phase 1> (1/3), Cartesian effective stress σ'_{yy}

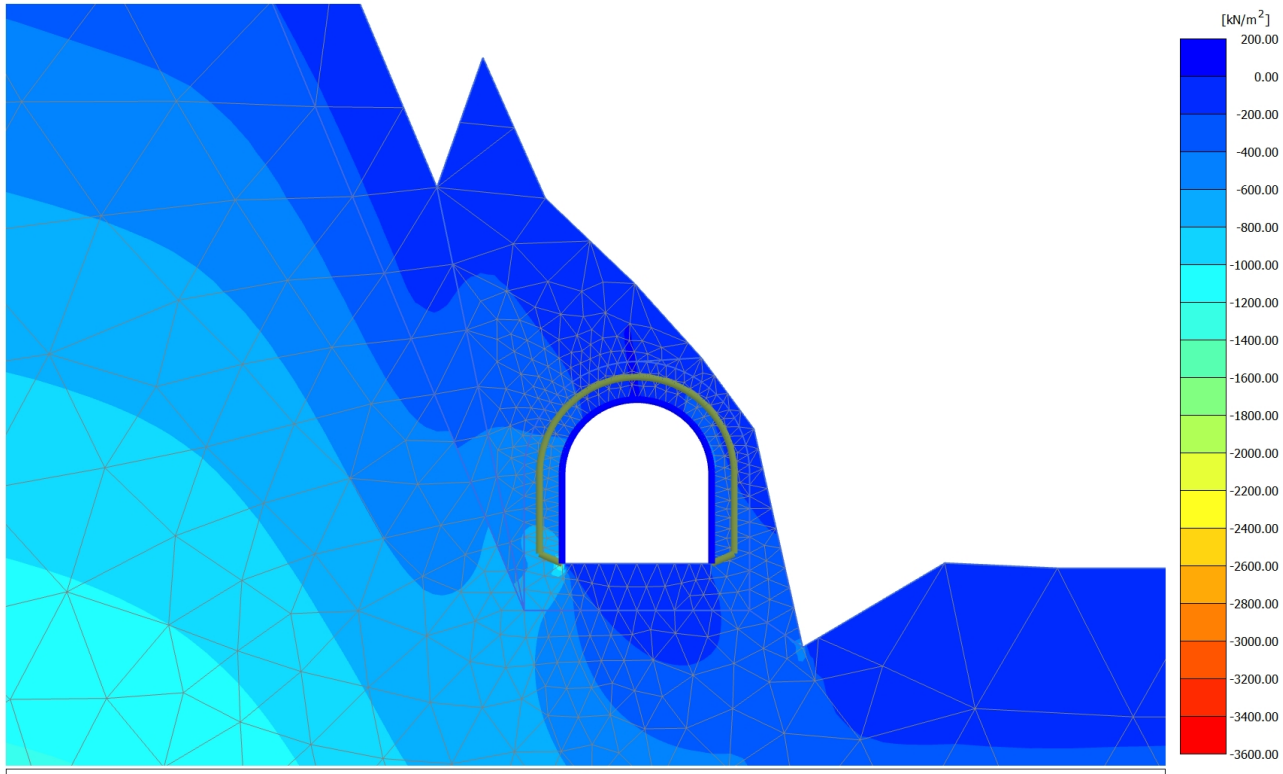


Cartesian effective stress σ'_{yy}

Maximum value = 9.123 kN/m^2 (Element 1290 at Node 9687)

Minimum value = -3615 kN/m^2 (Element 1 at Node 1)

4.3.3 Calculation results, <Phase 2> (2/9), Cartesian effective stress σ'_{yy}

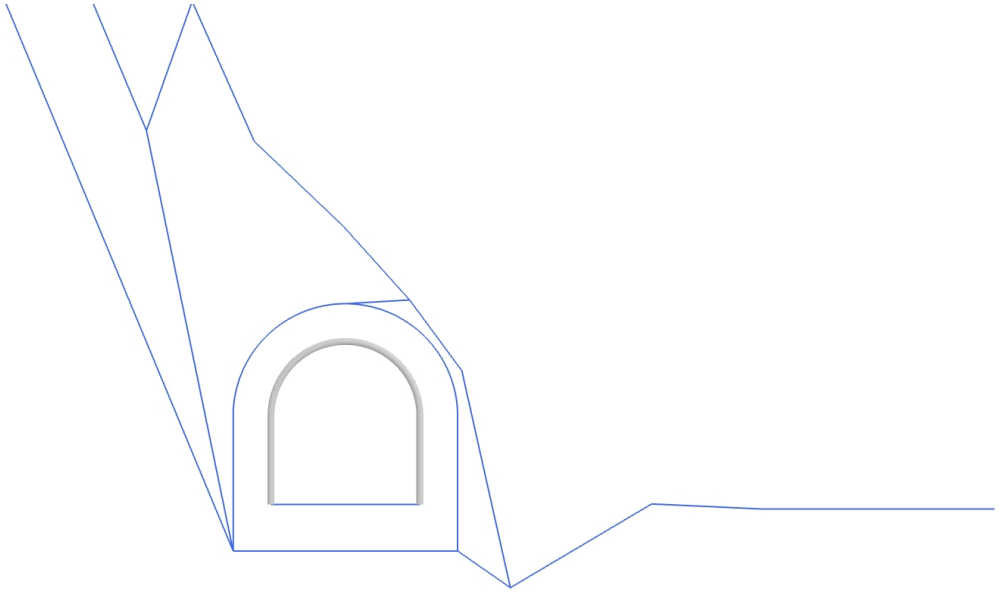


Cartesian effective stress σ'_{yy}

Maximum value = 51.38 kN/m^2 (Element 1512 at Node 12030)

Minimum value = -3573 kN/m^2 (Element 1 at Node 1)

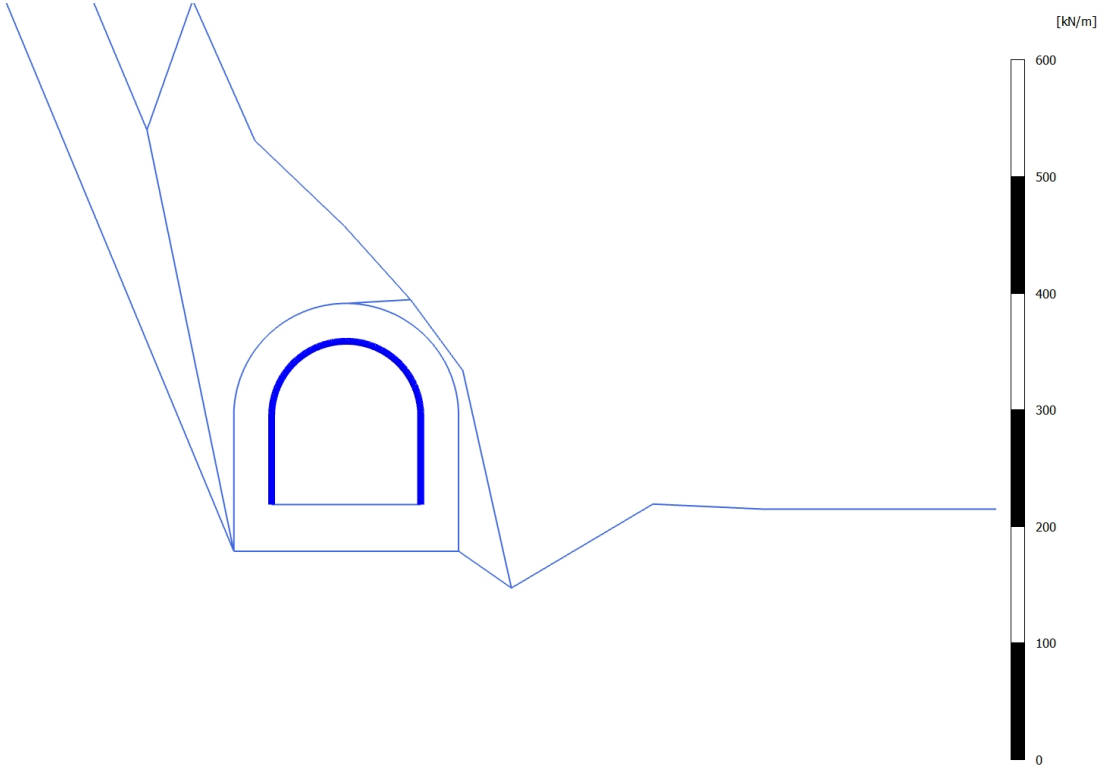
4.4.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0.0500 times)

No results

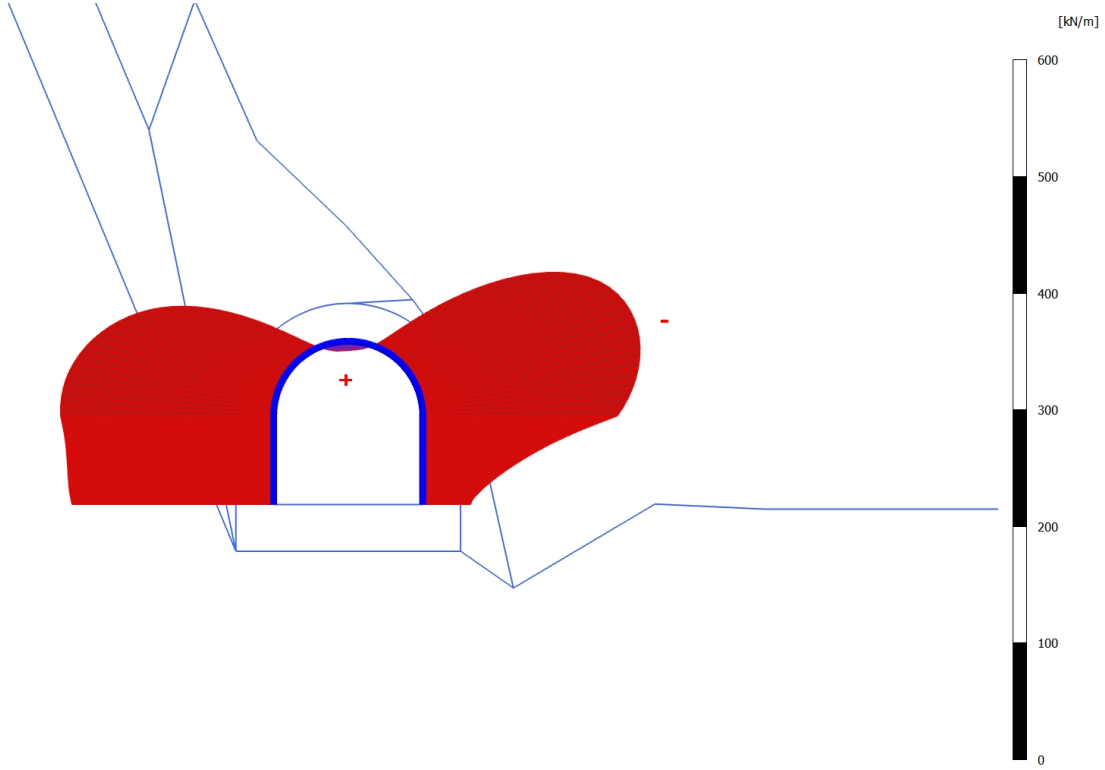
4.4.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/3), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0.0500 times)

Uniform value of $0.05573*10^{-12}$ kN/m

4.4.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/9), Axial forces N

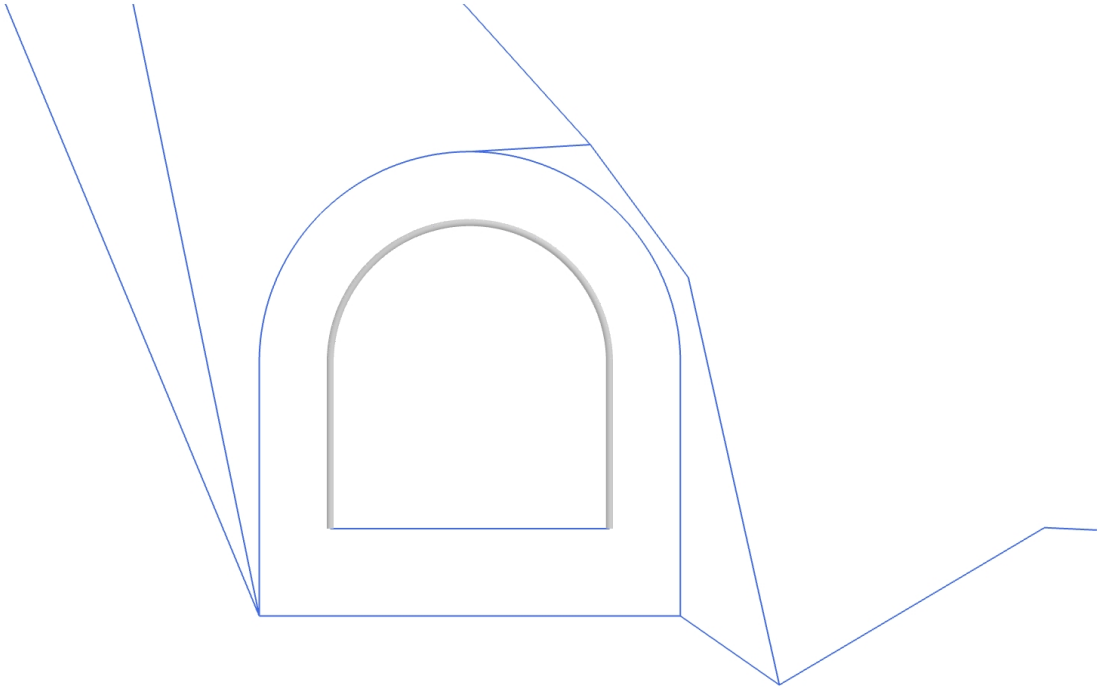


Axial forces N (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 8.078 kN/m (Element 22 at Node 14728)

Minimum value = -195.5 kN/m (Element 12 at Node 16883)

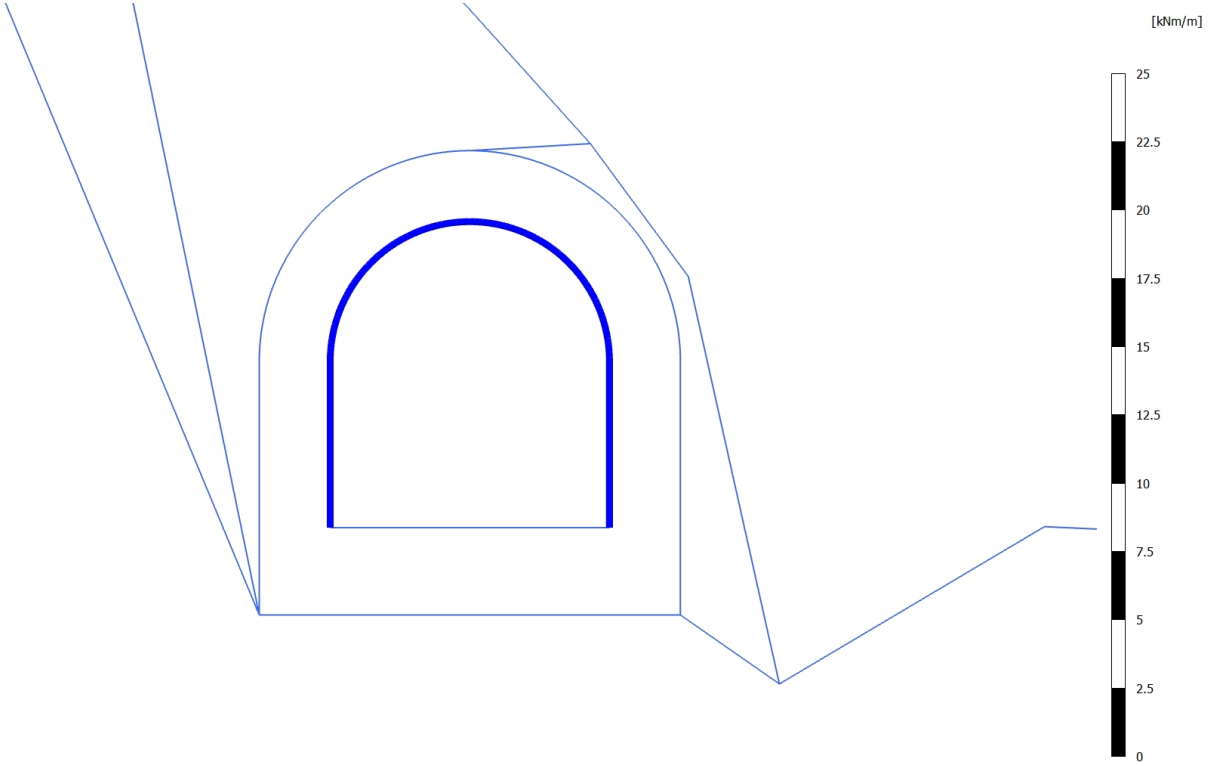
4.5.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 0.625 times)

No results

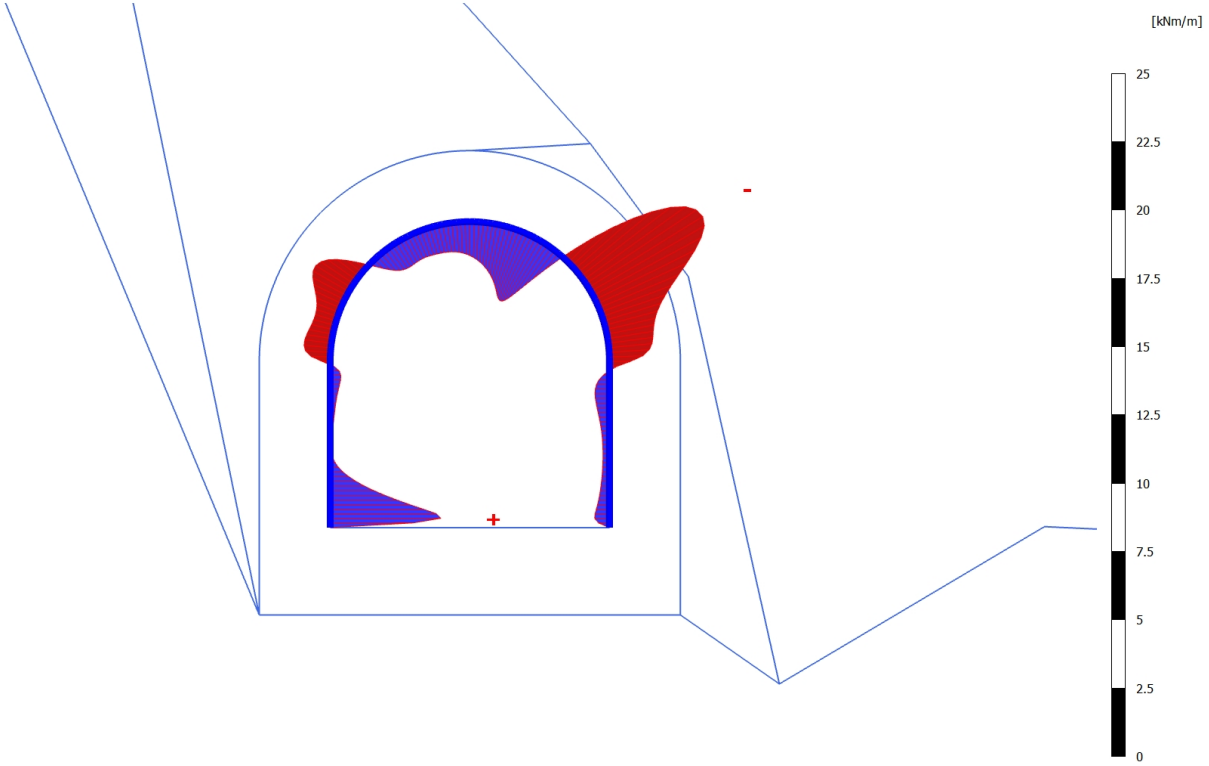
4.5.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/3), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 0.625 times)

Uniform value of $0.02695*10^{-12}$ kNm/m

4.5.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/9), Bending moments M

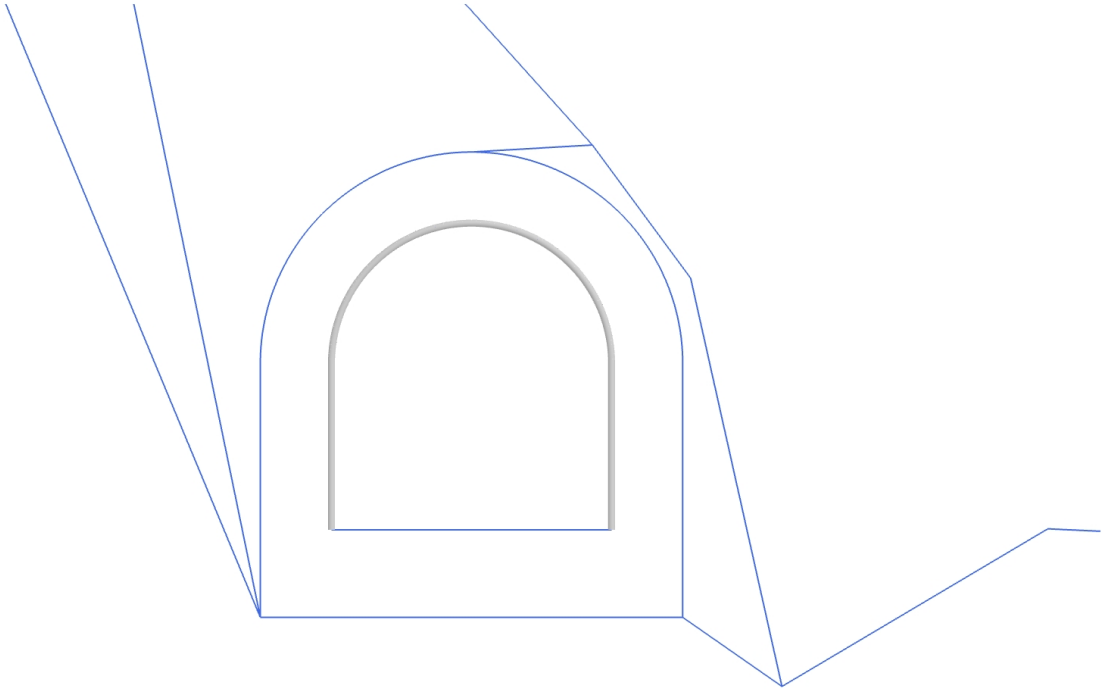


Bending moments M (scaled up 0.625 times)

Maximum value = 4.059 kNm/m (Element 42 at Node 12033)

Minimum value = -4.934 kNm/m (Element 14 at Node 16218)

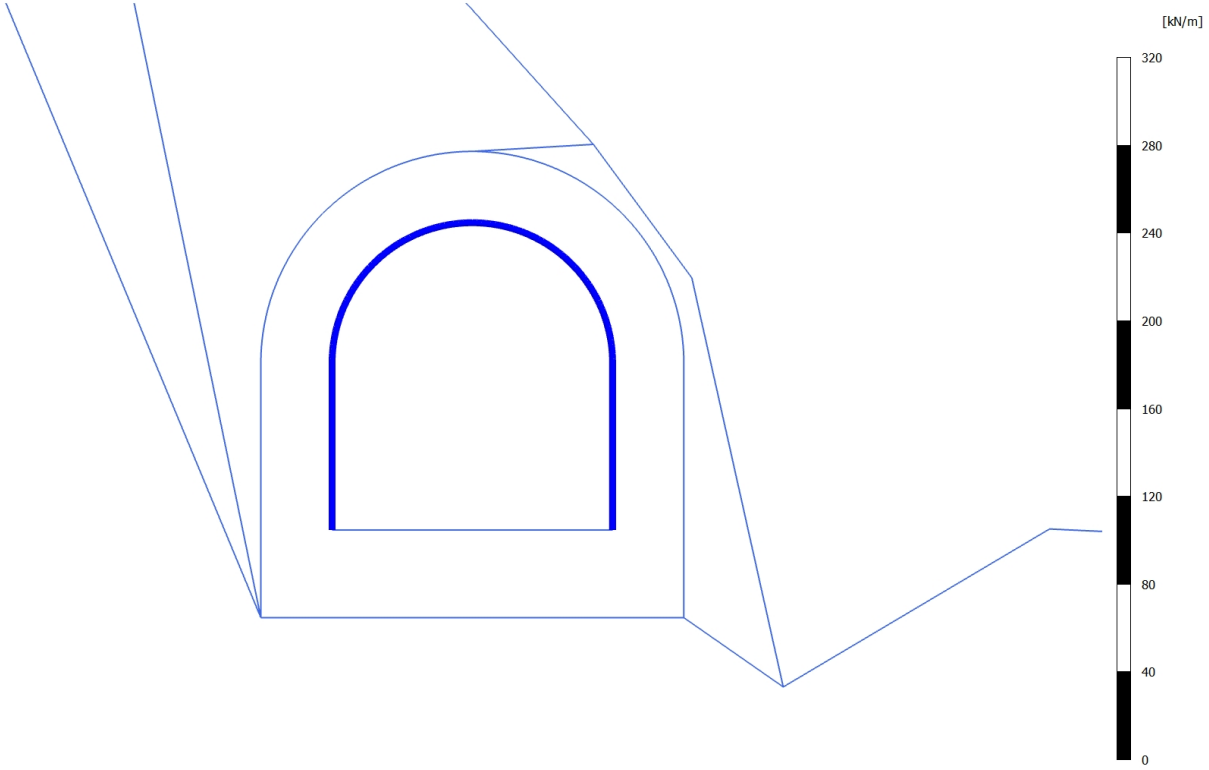
4.6.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

No results

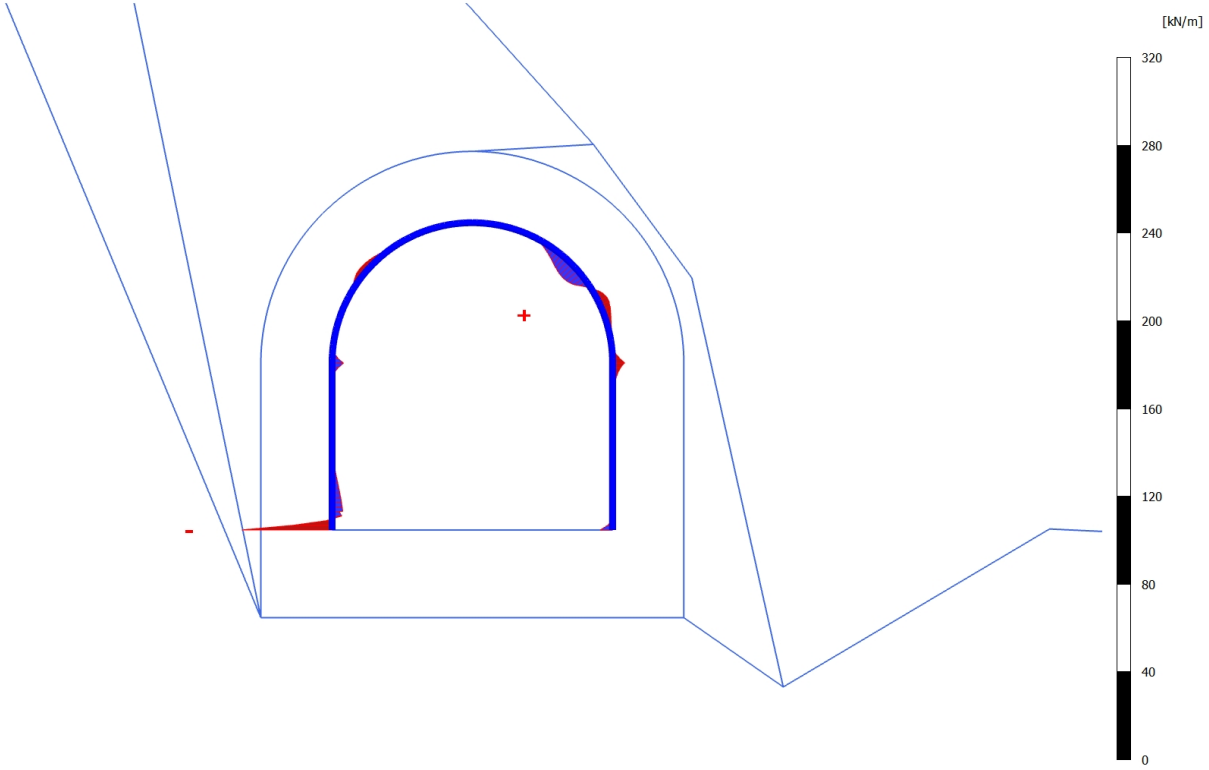
4.6.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/3), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Uniform value of $0.03291*10^{-12}$ kN/m

4.6.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/9), Shear forces Q

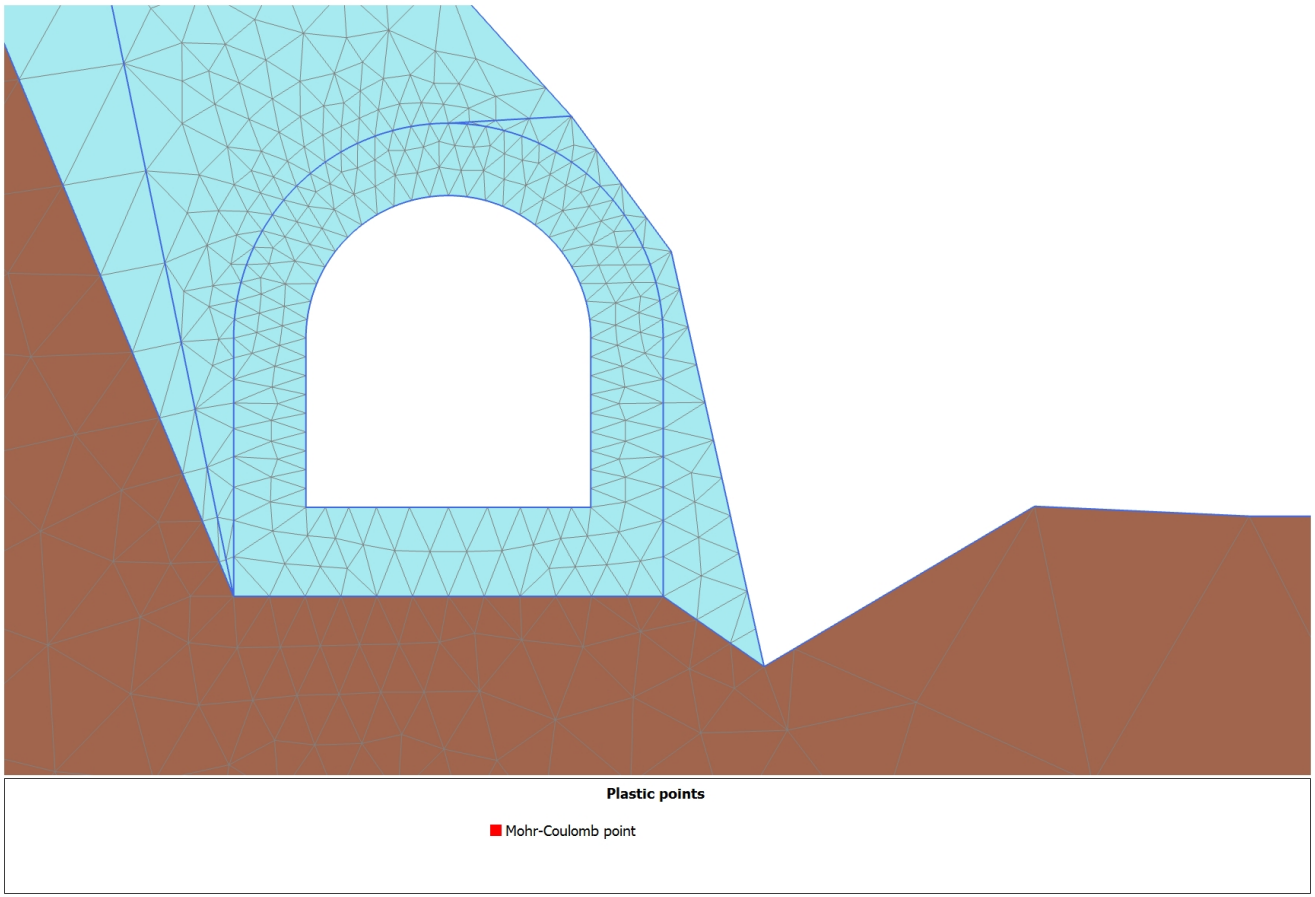


Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

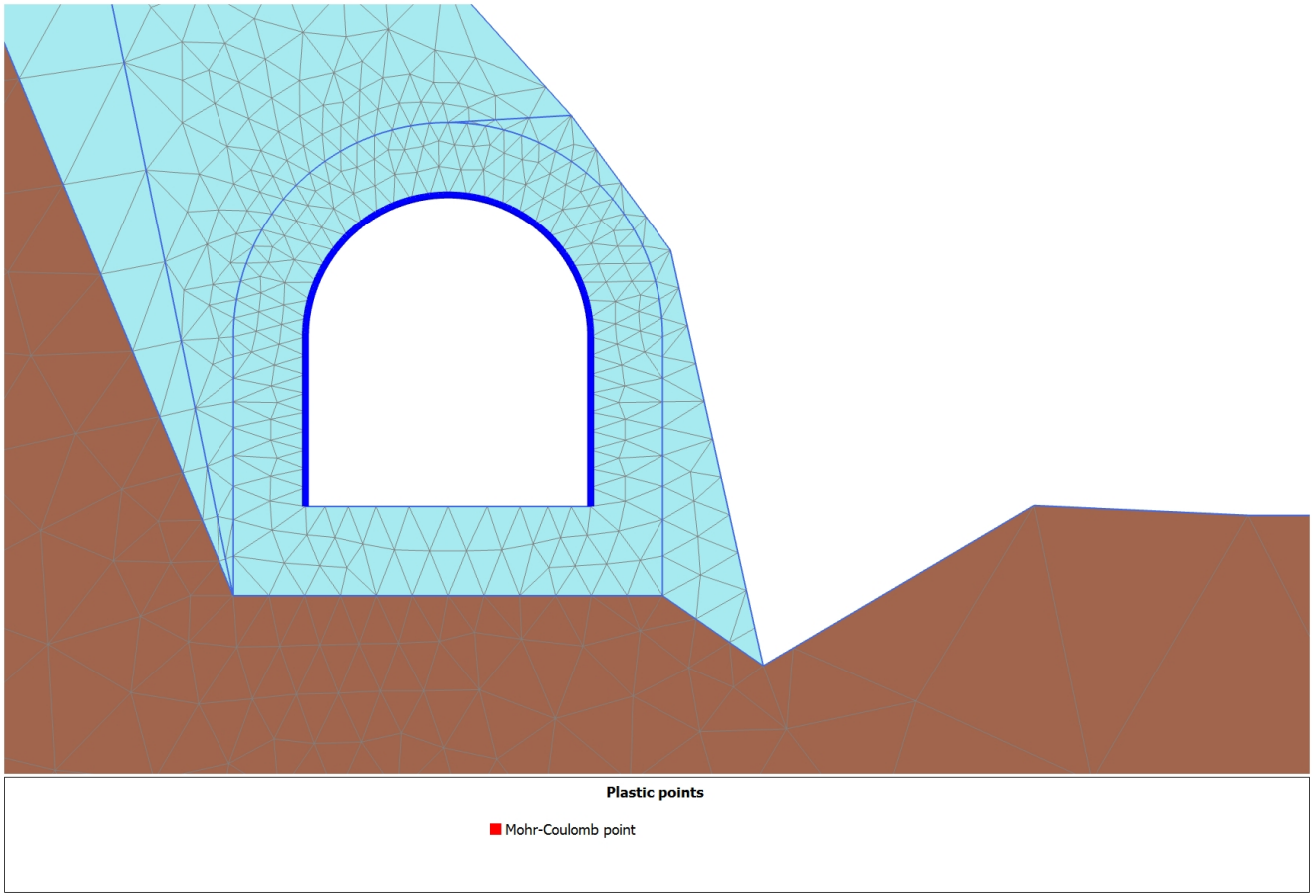
Maximum value = 7.321 kN/m (Element 15 at Node 15876)

Minimum value = -41.19 kN/m (Element 42 at Node 12028)

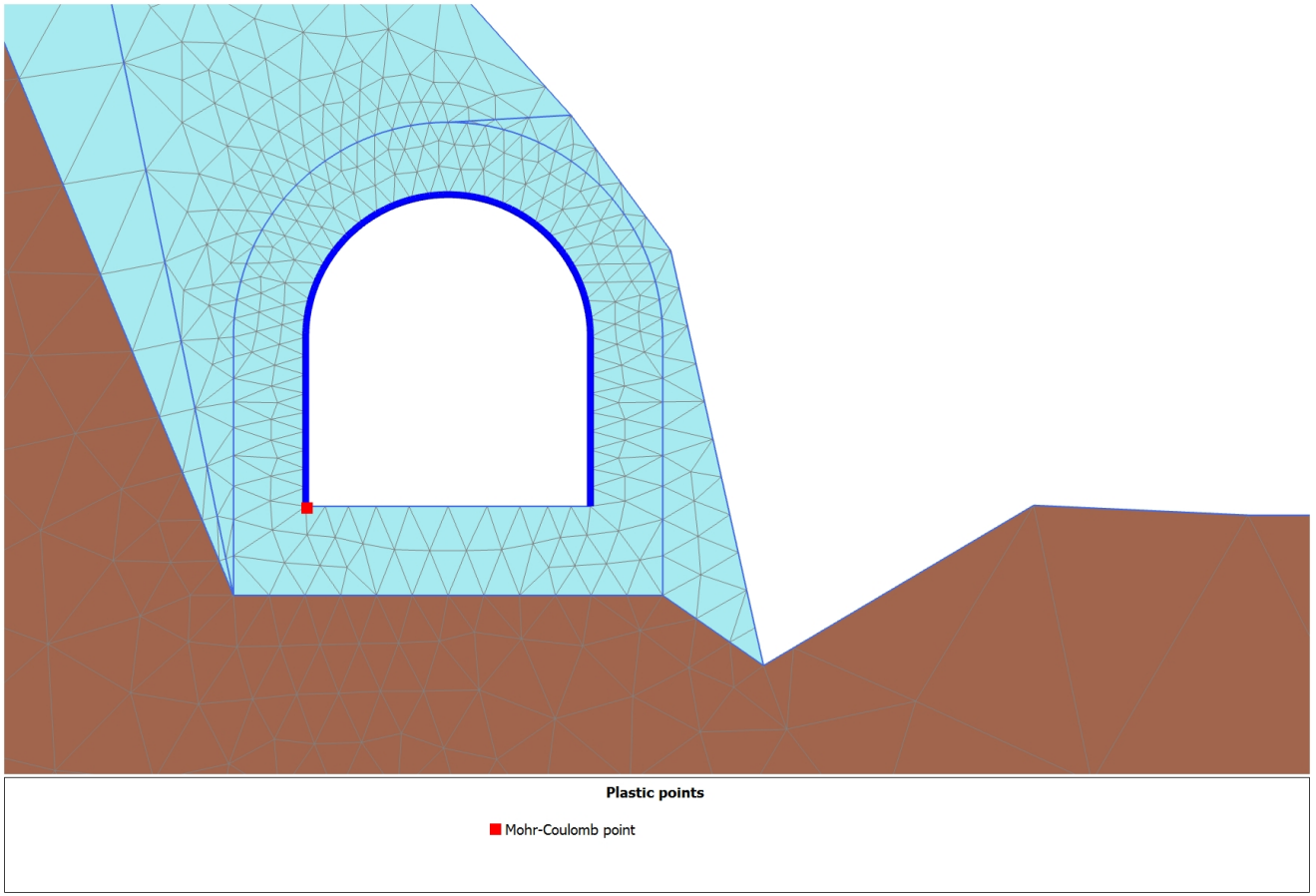
4.7.1 Calculation results, Initial phase (0/1), Plastic points



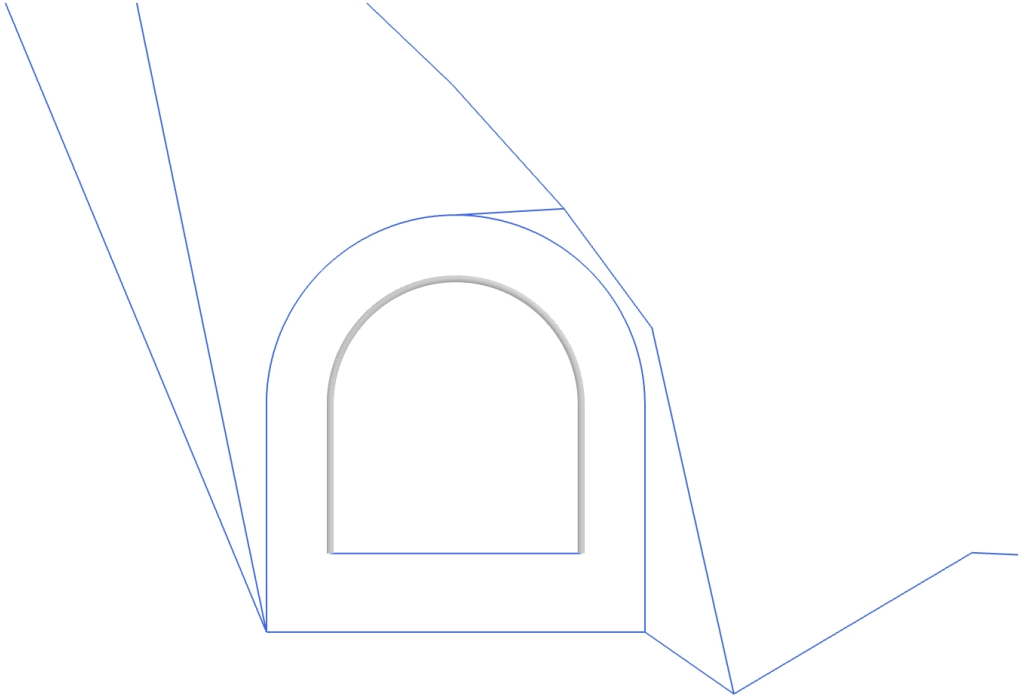
4.7.2 Calculation results, <Phase 1> (1/3), Plastic points



4.7.3 Calculation results, <Phase 2> (2/9), Plastic points



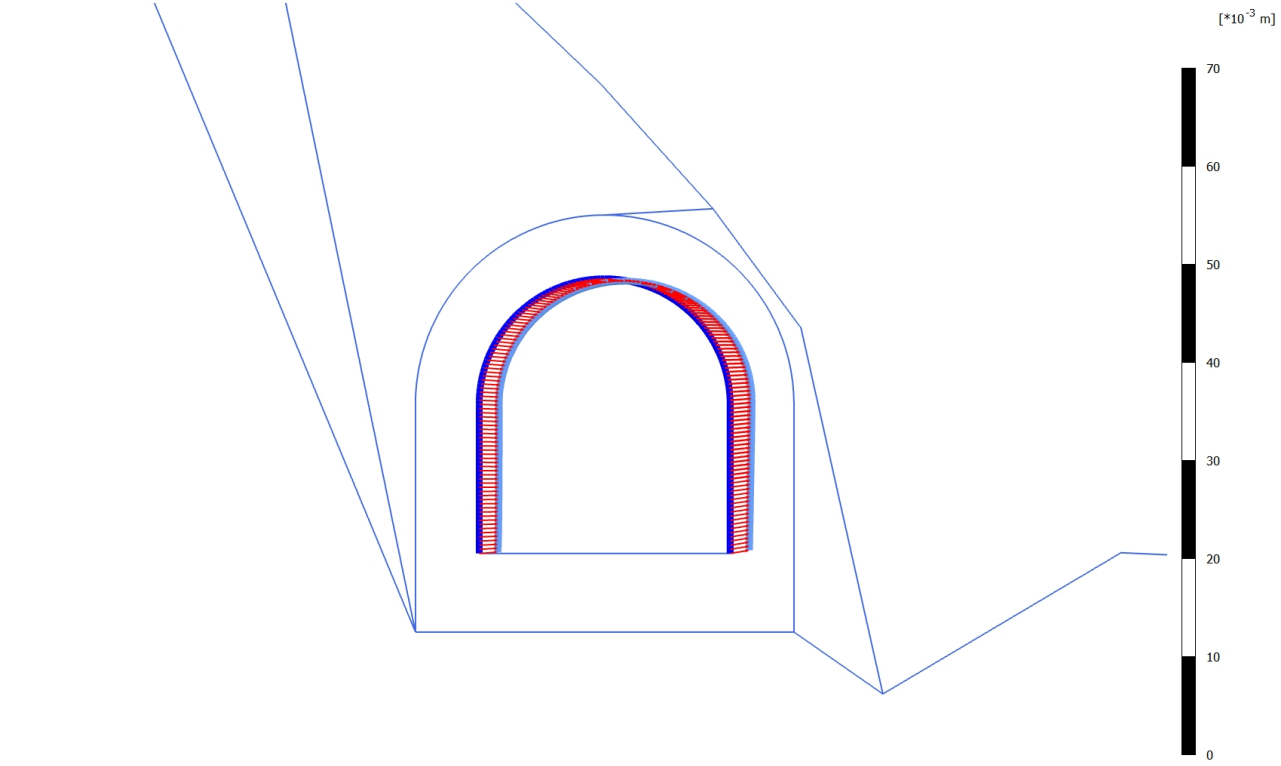
4.8.1 Calculation results, Plate, Initial phase (0/1), Total displacements |u|



Total displacements |u| (scaled up 250 times)

No results

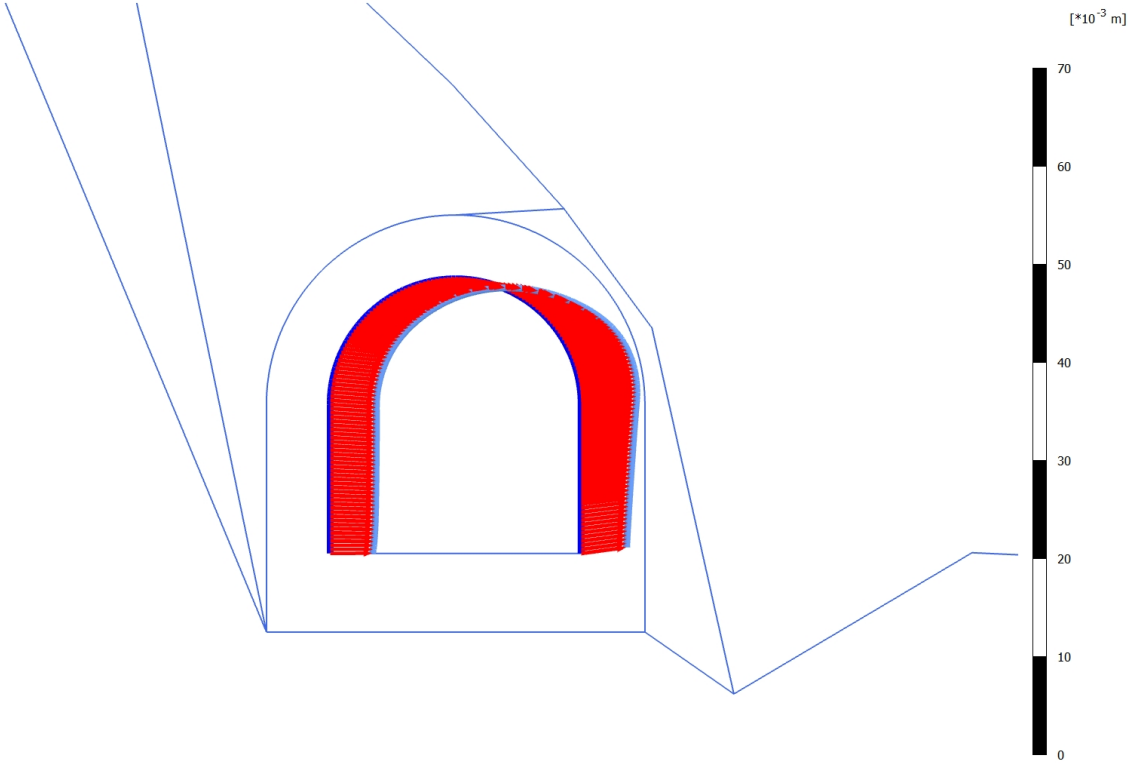
4.8.2 Calculation results, Plate, <Phase 1> (1/3), Total displacements |u|



Total displacements |u| (scaled up 250 times)

Maximum value = 2.254*10^{-3} m (Element 11 at Node 17075)

4.8.3 Calculation results, Plate, <Phase 2> (2/9), Total displacements |u|



Total displacements |u| (scaled up 250 times)

Maximum value = 5.869*10^{-3} m (Element 12 at Node 16877)

ALLEGATO 4 – SEZIONI TRASVERSALI

A B C D E F

Uscita Galleria Cava Buzz

254(168.32)

43 - 840.00

44 - 860.00

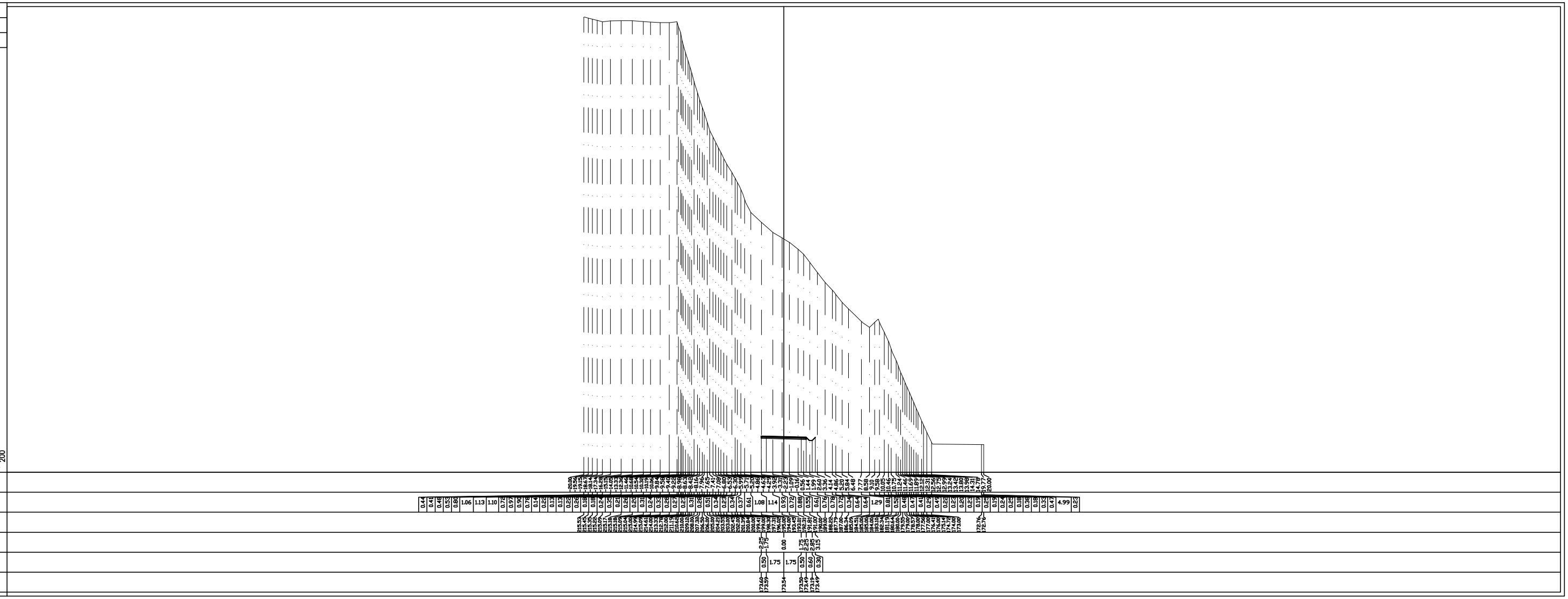
44a - 861.00
44b - 862.00
44c - 863.00
44d - 864.00
44e - 865.00
44f - 866.00
44g - 867.00
44h - 868.00
44i - 869.00
44l - 870.00
44m - 871.00
44n - 872.00
44o - 873.00
44p - 874.00
44q - 875.00

45 - 870.53

PROFILO Cava_Buzzi

SEZIONE 44a

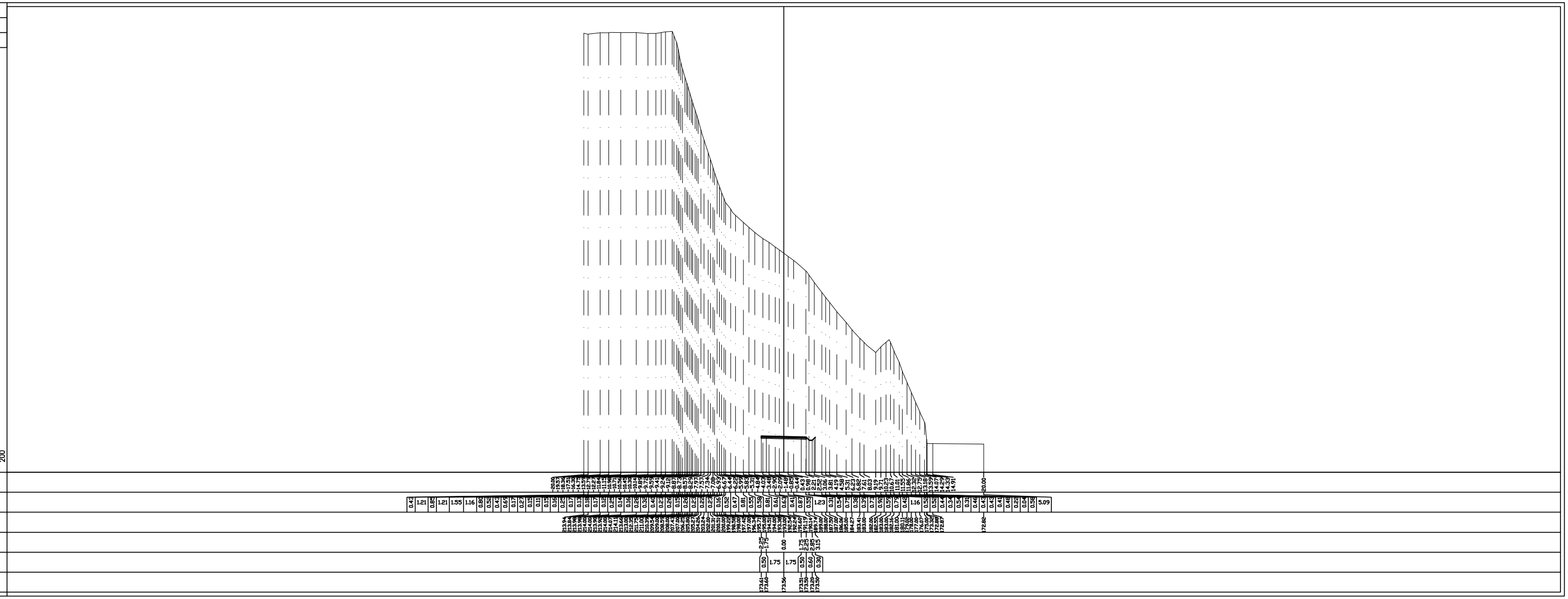
PROGRESSIVA 861.00



PROFILO Cava_Buzzi

SEZIONE 44c

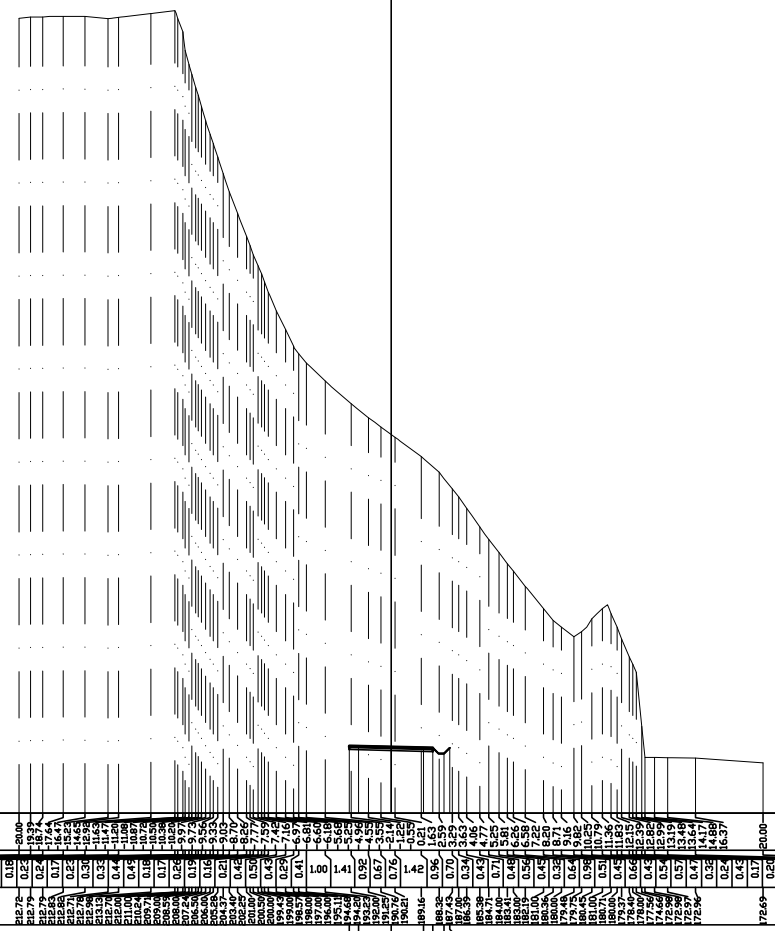
PROGRESSIVA 863.00



PROFILO Cava_Buzzi

SEZIONE 44e

PROGRESSIVA 865.00



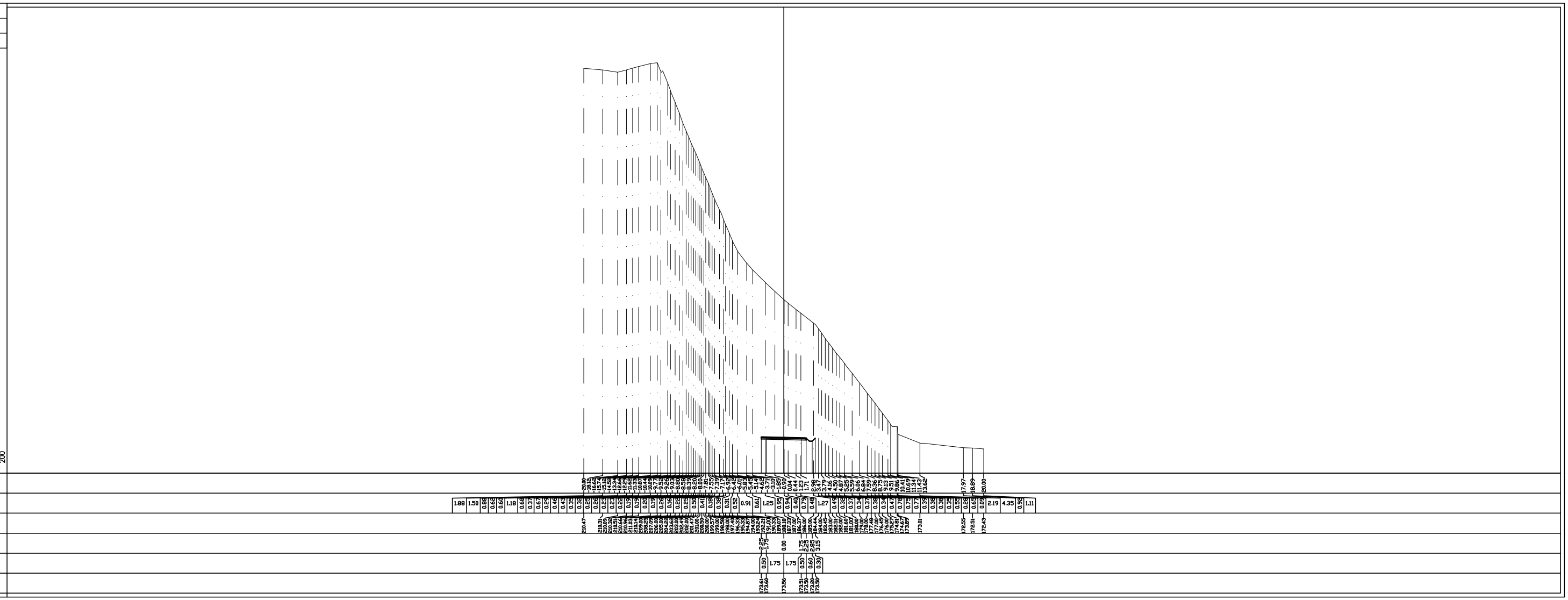
| | | |

PROFILO	Cava_Buzzi
SEZIONE	44g
PROGRESSIVA	867.00



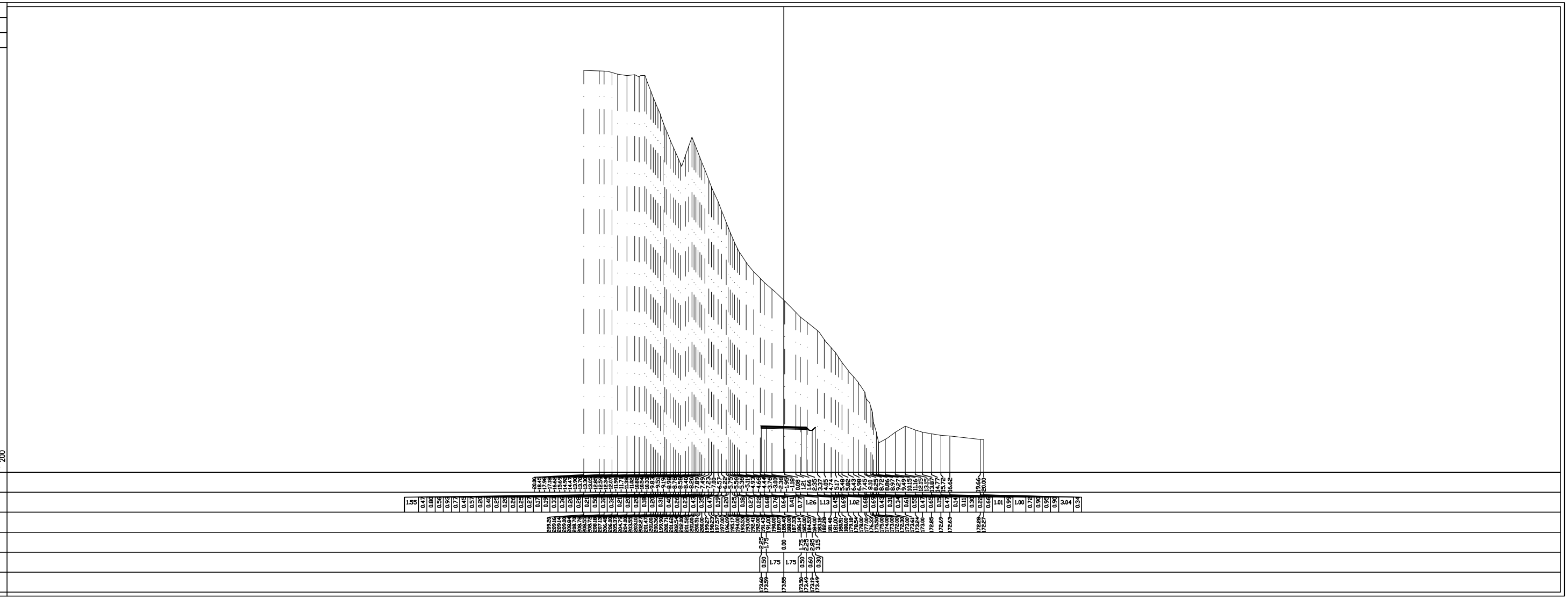
PROGRESSIVE TERRENO	
PARZIALI TERRENO	0.53 0.56 0.75 2.49 1.11 0.45 0.72 1.31 0.13 0.15 0.22 0.14 0.24 0.25 0.21 0.35 0.34 0.44 0.36 0.25 0.17 0.35 0.27 0.15 0.28 0.31 0.41 0.40 0.42 0.65 0.65 0.96 1.28 0.61 0.74 1.33 0.56 0.65 0.45 0.44 0.37 0.66 0.72 0.75 0.86 0.75 0.44 0.42 0.87 1.05 0.15 0.15 0.32 0.96 0.71 1.75 3.71
QUOTE TERRENO	21.65 21.65 21.65 21.65 21.43 21.17 21.04 21.04 21.11 21.11 21.26 21.26 20.98 20.78 20.58 20.73 20.70 20.65 20.65 20.40 20.39 20.39 20.46 20.00 19.94 19.93 19.86 19.77 19.68 19.59 19.42 19.42 19.42 19.42 19.40 19.40 19.40 19.40 18.80 18.74 18.71 18.56 18.53 18.53 18.53

PROFILO	Cava_Buzzi
SEZIONE	44i
PROGRESSIVA	869.00



PROGRESSIVE TERRENO	
PARZIALI TERRENO	
QUOTE TERRENO	
PROGRESSIVE PROGETTO	
PARZIALI PROGETTO	
QUOTE PROGETTO	

PROFILO	Cava_Buzzi
SEZIONE	44m
PROGRESSIVA	871.00

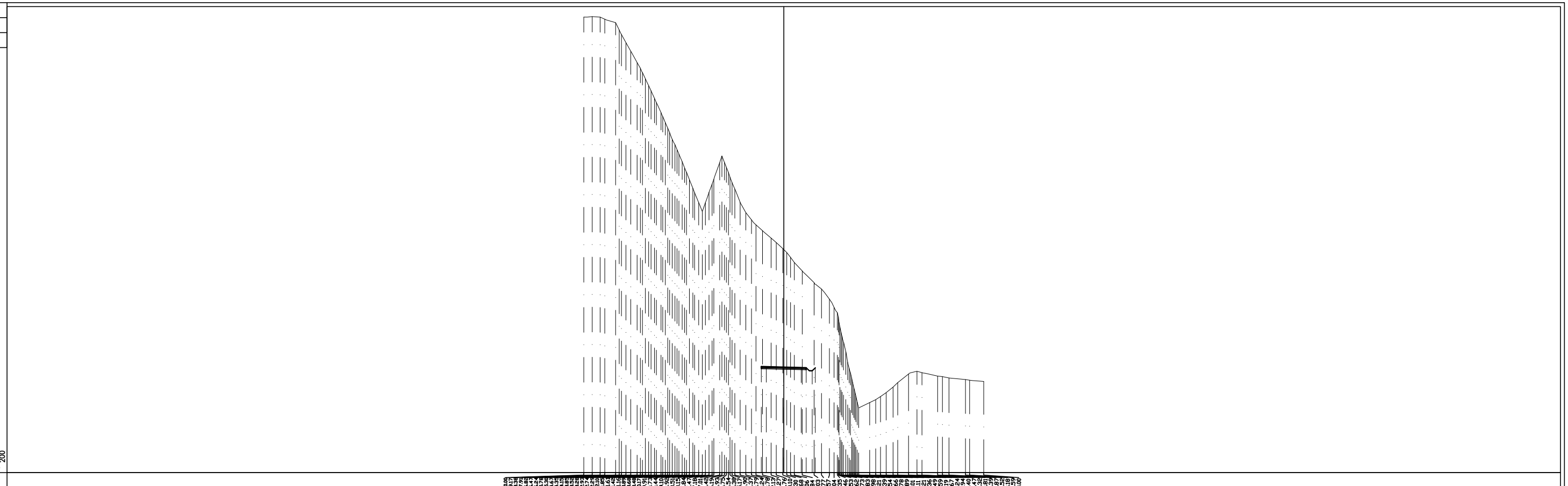


PROGRESSIVE TERRENO	-20.03 -19.43 -18.98 -18.28 -17.74 -16.93 -16.37 -15.82 -15.34 -14.84 -14.50 -13.96 -13.35 -12.85 -12.34 -11.90 -11.50 -11.08 -10.68 -10.26 -9.81 -9.36 -8.96 -8.56 -8.20 -7.83 -7.23 -6.87 -6.57 -6.27 -5.75 -5.56 -5.35 -5.11 -4.85 -4.68 -4.44 -4.14 -3.90 -3.69 -3.50 -3.18 -2.96 -2.75 -2.25 -1.75 0.00 1.75 2.25 2.65 3.15 3.37 3.85 4.74 5.18 5.82 6.45 6.98 7.45 8.25 8.77 8.86 9.27 9.49 10.15 11.16 11.51 11.97 12.77 13.72 14.62 19.66 20.00
PARZIALI TERRENO	1.55 0.47 0.88 0.56 0.53 0.77 0.54 0.55 0.28 0.46 0.28 0.28 0.28 0.25 0.17 0.19 0.13 0.36 0.28 0.68 0.28 0.56 0.28 0.28 0.28 0.28 0.18 0.28 0.56 0.28 0.28 0.28 0.14 0.56 0.28 0.28 0.47 0.20 0.15 0.19 0.45 0.28 0.68 0.74 0.64 0.48 0.17 1.26 1.13 0.45 1.82 0.68 0.45 0.45 0.45

PROFILO Cava_Buzzi

SEZIONE 44o

PROGRESSIVA 873.00

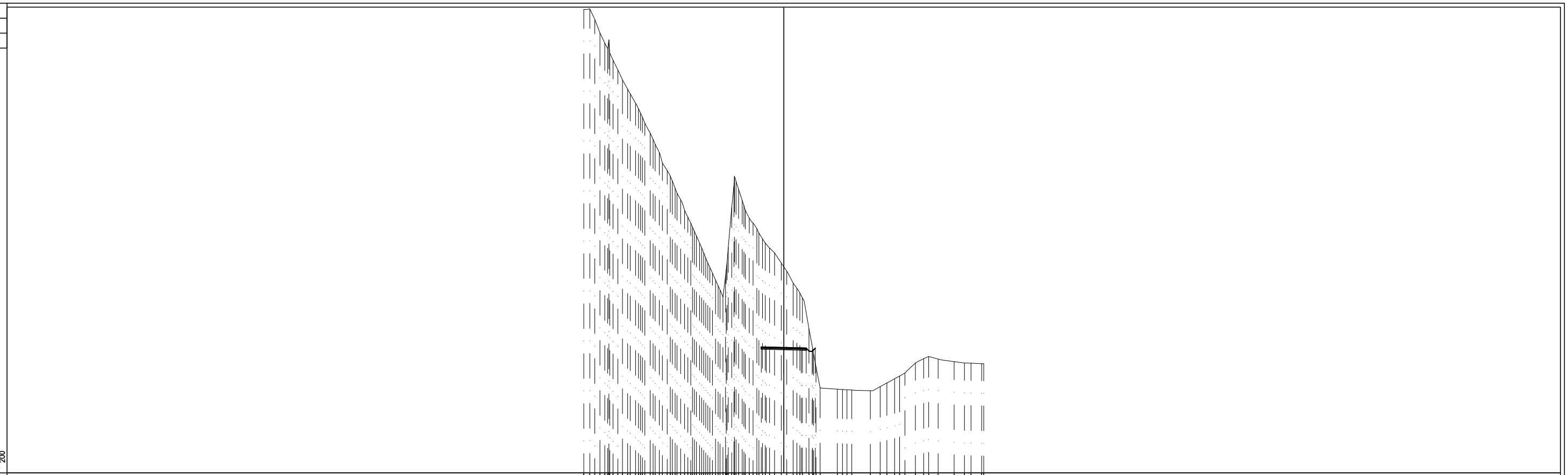


PROGRESSIVE TERRENO	-20.05 -17.37 -16.38 -15.68 -14.47 -13.79 -13.43 -12.93 -12.38 -11.74 -11.10 -10.47 -9.81 -9.16 -8.51 -7.84 -7.41 -7.01 -6.58 -6.19 -5.54 -5.17 -4.90 -4.54 -3.79 -3.37 -2.78 -2.17 -1.75 0.00 1.28 2.85 3.15 3.72 4.57 5.14 5.45 5.62 5.73 5.83 6.39 6.54 6.66 6.89 7.11 7.21 7.46 8.59 9.19 9.67 10.24 11.40 11.91 13.32 13.91 15.87 16.57 18.18 18.59 19.00
PARZIALI TERRENO	0.83 0.75 0.47 1.09 0.35 0.23 0.46 0.46 0.65 0.38 0.24 0.34 0.24 0.25 0.19 0.45 0.25 0.24 0.27 0.23 0.26 0.38 0.26 0.18 0.24 0.18 0.44 0.36 0.31 0.29 0.37 0.29 0.17 0.31 0.28 0.26 0.18 0.21 0.16 0.21 0.27 0.35 0.46 0.65 0.86 0.51 0.66 0.46 0.36 0.46 0.36 0.78 1.9 0.74 0.68 0.45 0.34 0.11 0.07 0.06 0.11 0.10 0.15 0.18 0.15 0.15 0.11 0.15 0.10 0.15 0.18 0.15 0.46 0.57 0.76 0.46 1.07 0.85 0.44 1.58 0.46 0.45 1.66 0.44 1.41
QUOTE TERRENO	19080.25 19080.83 19081.58 19082.05 19082.80 19083.44 19084.09 19084.61 19085.14 19085.66 19086.04 19086.40 19086.66 19087.06 19087.32 19087.58 19087.84 19088.10 19088.36 19088.62 19088.88 19089.14 19089.40 19089.66 19089.92 19090.18 19090.44 19090.70 19090.96 19091.22 19091.48 19091.74 19092.00 19092.26 19092.52 19092.78 19093.04 19093.30 19093.56 19093.82 19094.08 19094.34 19094.60 19094.86 19095.12 19095.38 19095.64 19095.90 19096.16 19096.42 19096.68 19096.94 19097.20 19097.46 19097.72 19097.98 19098.24 19098.50 19098.76 19099.02 19099.28 19099.54 19099.80 19100.06 19100.32 19100.58 19100.84 19101.10 19101.36 19101.62 19101.88 19102.14 19102.40 19102.66 19102.92 19103.18 19103.44 19103.70 19103.96 19104.22 19104.48 19104.74 19105.00 19105.26 19105.52 19105.78 19106.04 19106.30 19106.56 19106.82 19107.08 19107.34 19107.60 19107.86 19108.12 19108.38 19108.64 19108.90 19109.16 19109.42 19109.68 19109.94 19110.20 19110.46 19110.72 19110.98 19111.24 19111.50 19111.76 19112.02 19112.28 19112.54 19112.80 19113.06 19113.32 19113.58 19113.84 19114.10 19114.36 19114.62 19114.88 19115.14 19115.40 19115.66 19115.92 19116.18 19116.44 19116.70 19116.96 19117.22 19117.48 19117.74 19118.00 19118.26 19118.52 19118.78 19119.04 19119.30 19119.56 19119.82 19120.08 19120.34 19120.60 19120.86 19121.12 19121.38 19121.64 19121.90 19122.16 19122.42 19122.68 19122.94 19123.20 19123.46 19123.72 19123.98 19124.24 19124.50 19124.76 19125.02 19125.28 19125.54 19125.80 19126.06 19126.32 19126.58 19126.84 19127.10 19127.36 19127.62 19127.88 19128.14 19128.40 19128.66 19128.92 19129.18 19129.44 19129.70 19129.96 19130.22 19130.48 19130.74 19131.00 19131.26 19131.52 19131.78 19132.04 19132.30 19132.56 19132.82 19133.08 19133.34 19133.60 19133.86 19134.12 19134.38 19134.64 19134.90 19135.16 19135.42 19135.68 19135.94 19136.20 19136.46 19136.72 19136.98 19137.24 19137.50 19137.76 19138.02 19138.28 19138.54 19138.80 19139.06 19139.32 19139.58 19139.84 19140.10 19140.36 19140.62 19140.88 19141.14 19141.40 19141.66 19141.92 19142.18 19142.44 19142.70 19142.96 19143.22 19143.48 19143.74 19144.00 19144.26 19144.52 19144.78 19145.04 19145.30 19145.56 19145.82 19146.08 19146.34 19146.60 19146.86 19147.12 19147.38 19147.64 19147.90 19148.16 19148.42 19148.68 19148.94 19149.20 19149.46 19149.72 19149.98 19150.24 19150.50 19150.76 19151.02 19151.28 19151.54 19151.80 19152.06 19152.32 19152.58 19152.84 19153.10 19153.36 19153.62 19153.88 19154.14 19154.40 19154.66 19154.92 19155.18 19155.44 19155.70 19155.96 19156.22 19156.48 19156.74 19157.00 19157.26 19157.52 19157.78 19158.04 19158.30 19158.56 19158.82 19159.08 19159.34 19159.60 19159.86 19160.12 19160.38 19160.64 19160.90 19161.16 19161.42 19161.68 19161.94 19162.20 19162.46 19162.72 19162.98 19163.24 19163.50 19163.76 19164.02 19164.28 19164.54 19164.80 19165.06 19165.32 19165.58 19165.84 19166.10 19166.36 19166.62 19166.88 19167.14 19167.40 19167.66 19167.92 19168.18 19168.44 19168.70 19168.96 19169.22 19169.48 19169.74 19170.00 19170.26 19170.52 19170.78 19171.04 19171.30 19171.56 19171.82 19172.08 19172.34 19172.60 19172.86 19173.12 19173.38 19173.64 19173.90 19174.16 19174.42 19174.68 19174.94 19175.20 19175.46 19175.72 19175.98 19176.24 19176.50 19176.76 19177.02 19177.28 19177.54 19177.80 19178.06 19178.32 19178.58 19178.84 19179.10 19179.36 19179.62 19179.88 19180.14 19180.40 19180.66 19180.92 19181.18 19181.44 19181.70 19181.96 19182.22 19182.48 19182.74 19183.00 19183.26 19183.52 19183.78 19184.04 19184.30 19184.56 19184.82 19185.08 19185.34 19185.60 19185.86 19186.12 19186.38 19186.64 19186.90 19187.16 19187.42 19187.68 19187.94 19188.20 19188.46 19188.72 19188.98 19189.24 19189.50 19189.76 19190.02 19190.28 19190.54 19190.80 19191.06 19191.32 19191.58 19191.84 19192.10 19192.36 19192.62 19192.88 19193.14 19193.40 19193.66 19193.92 19194.18 19194.44 19194.70 19194.96 19195.22 19195.48 19195.74 19196.00 19196.26 19196.52 19196.78 19197.04 19197.30 19197.56 19197.82 19198.08 19198.34 19198.60 19198.86 19199.12 19199.38 19199.64 19199.90 19200.16 19200.42 19200.68 19200.94 19201.20 19201.46 19201.72 19201.98 19202.24 19202.50 19202.76 19203.02 19203.28 19203.54 19203.80 19204.06 19204.32 19204.58 19204.84 19205.10 19205.36 19205.62 19205.88 19206.14 19206.40 19206.66 19206.92 19207.18 19207.44 19207.70 19207.96 19208.22 19208.48 19208.74 19209.00 19209.26 19209.52 19209.78 19210.04 19210.30 19210.56 19210.82 19211.08 19211.34 19211.60 19211.86 19212.12
PROGRESSIVE PROGETTO	-2.25 -1.75 0.00 1.28 2.85 3.15
PARZIALI PROGETTO	0.50 1.75 1.75 0.50 0.65 0.30
QUOTE PROGETTO	17359 17358 17354 17349 17348 17348 17348 17348

PROFILO Cava_Buzzi

SEZIONE 44q

PROGRESSIVA 875.00

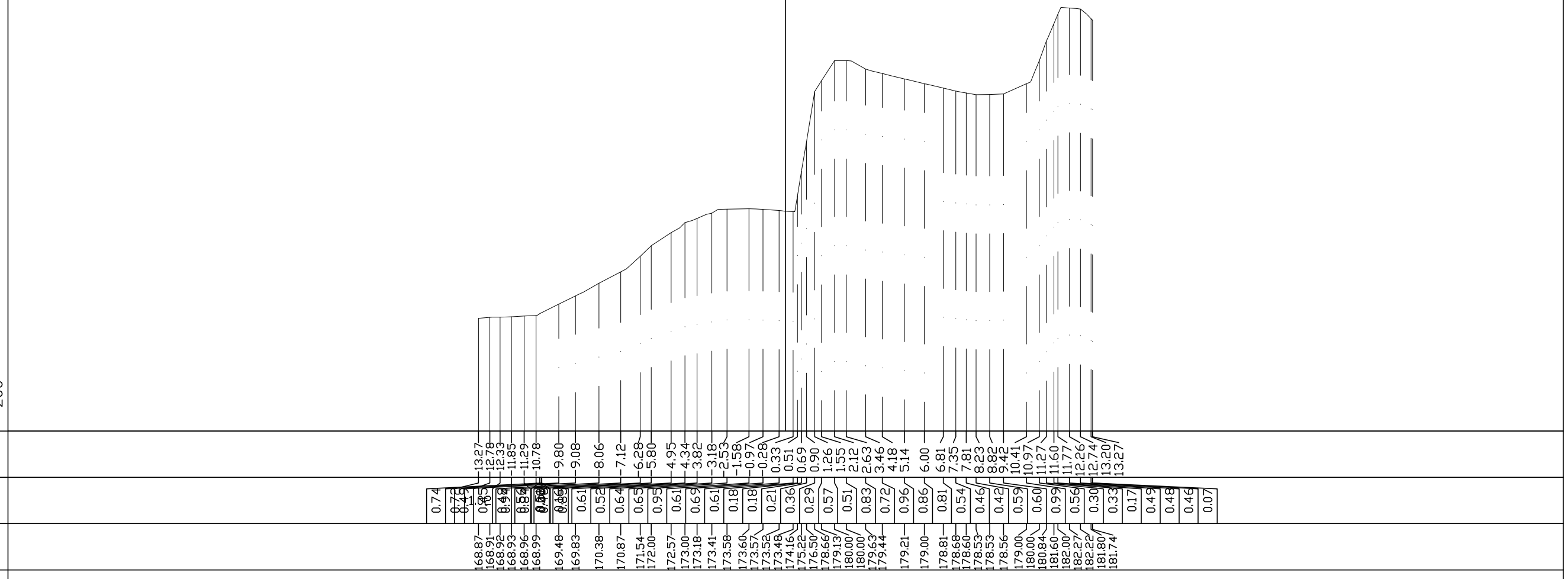


PROGRESSIVE TERRENO	2800 2780 2760 2740 2720 2700 2680 2660 2640 2620 2600 2580 2560 2540 2520 2500 2480 2460 2440 2420 2400 2380 2360 2340 2320 2300 2280 2260 2240 2220 2200 2180 2160 2140 2120 2100 2080 2060 2040 2020 2000 1980 1960 1940 1920 1900 1880 1860 1840 1820 1800 1780 1760 1740 1720 1700 1680 1660 1640 1620 1600 1580 1560 1540 1520 1500 1480 1460 1440 1420 1400 1380 1360 1340 1320 1300 1280 1260 1240 1220 1200 1180 1160 1140 1120 1100 1080 1060 1040 1020 1000 980 960 940 920 900 880 860 840 820 800 780 760 740 720 700 680 660 640 620 600 580 560 540 520 500 480 460 440 420 400 380 360 340 320 300 280 260 240 220 200 180 160 140 120 100 80 60 40 20 0
PARZIALI TERRENO	0.60 0.45 0.55 0.45 0.30 0.10 0.05 0.05 0.45 0.41 0.51 0.27 0.55 0.25 0.63 0.10 0.24 0.55 0.25 0.81 0.45 1.27 0.31 0.46 0.53 0.50 0.25 0.16 0.34 0.40 0.38 0.41 0.25 0.25 0.28 0.25 0.25 0.25

PROFILO Profilo

SEZIONE A

PROGRESSIVA 0.00

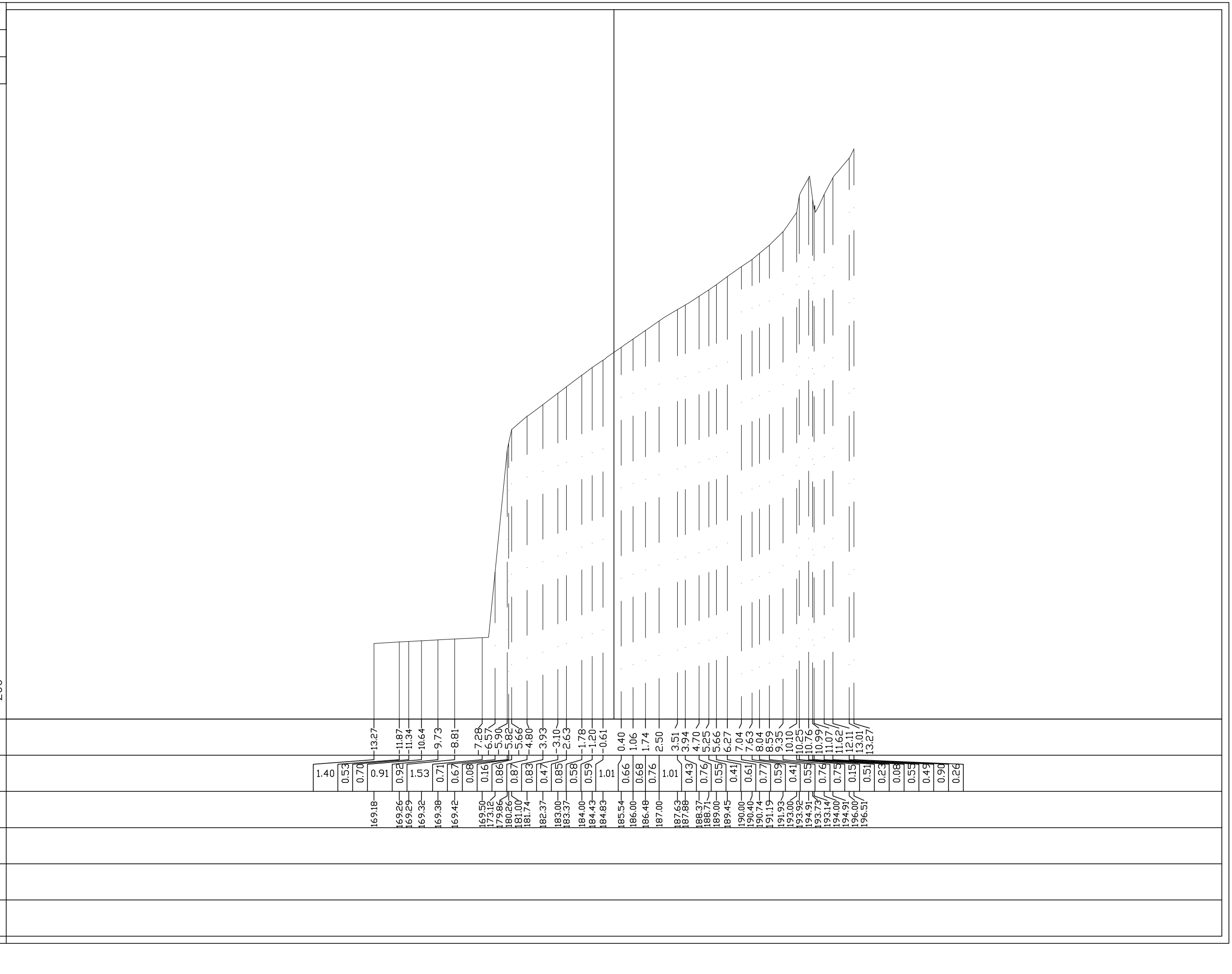


PROGRESSIVE TERRENO	13.27 12.78 12.33 11.85 11.29 10.78 9.80 9.08 8.06 7.12 6.28 5.80 4.95 4.34 3.82 3.18 2.53 1.58 0.97 0.28 0.33 0.51 0.69 0.90 1.26 1.55 2.12 2.63 3.46 4.18 5.14 6.00 6.81 7.35 7.81 8.23 8.82 9.42 10.41 10.97 11.27 11.60 11.77 12.26 12.74 13.20 13.27
PARZIALI TERRENO	0.74 0.61 0.52 0.64 0.65 0.95 0.61 0.69 0.61 0.18 0.18 0.21 0.36 0.29 0.57 0.51 0.83 0.72 0.96 0.86 0.81 0.54 0.46 0.42 0.59 0.60 0.99 0.56 0.30 0.33 0.17 0.49 0.48 0.46 0.07
QUOTE TERRENO	168.87 168.91 168.92 168.93 168.96 168.99 169.48 169.83 170.38 170.87 171.54 172.00 172.57 173.00 173.18 173.41 173.58 173.60 173.57 173.52 173.48 174.16 175.22 176.50 178.66 179.13 180.00 180.00 179.63 179.44 179.21 179.00 178.81 178.68 178.60 178.53 178.53 178.56 179.00 180.00 180.84 181.60 182.00 182.27 182.22 181.80 181.74
PROGRESSIVE PROGETTO	
PARZIALI PROGETTO	
QUOTE PROGETTO	

PROFILO Profilo

SEZIONE C

PROGRESSIVA 0.00

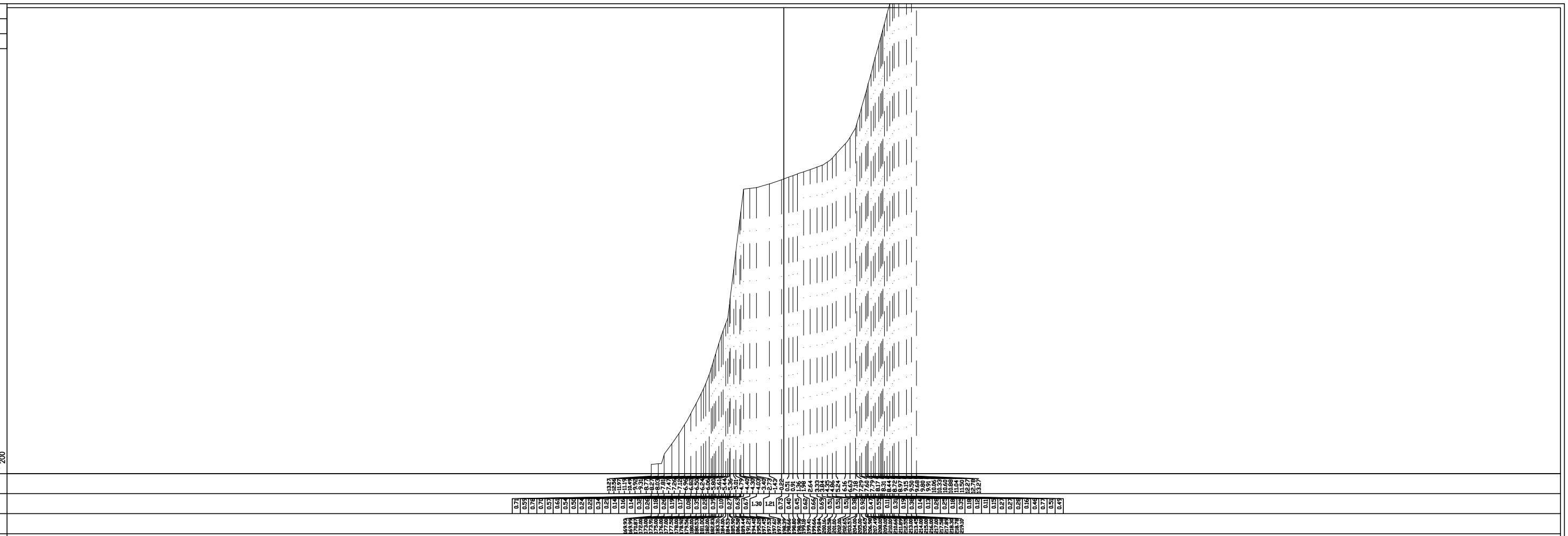


| | | |

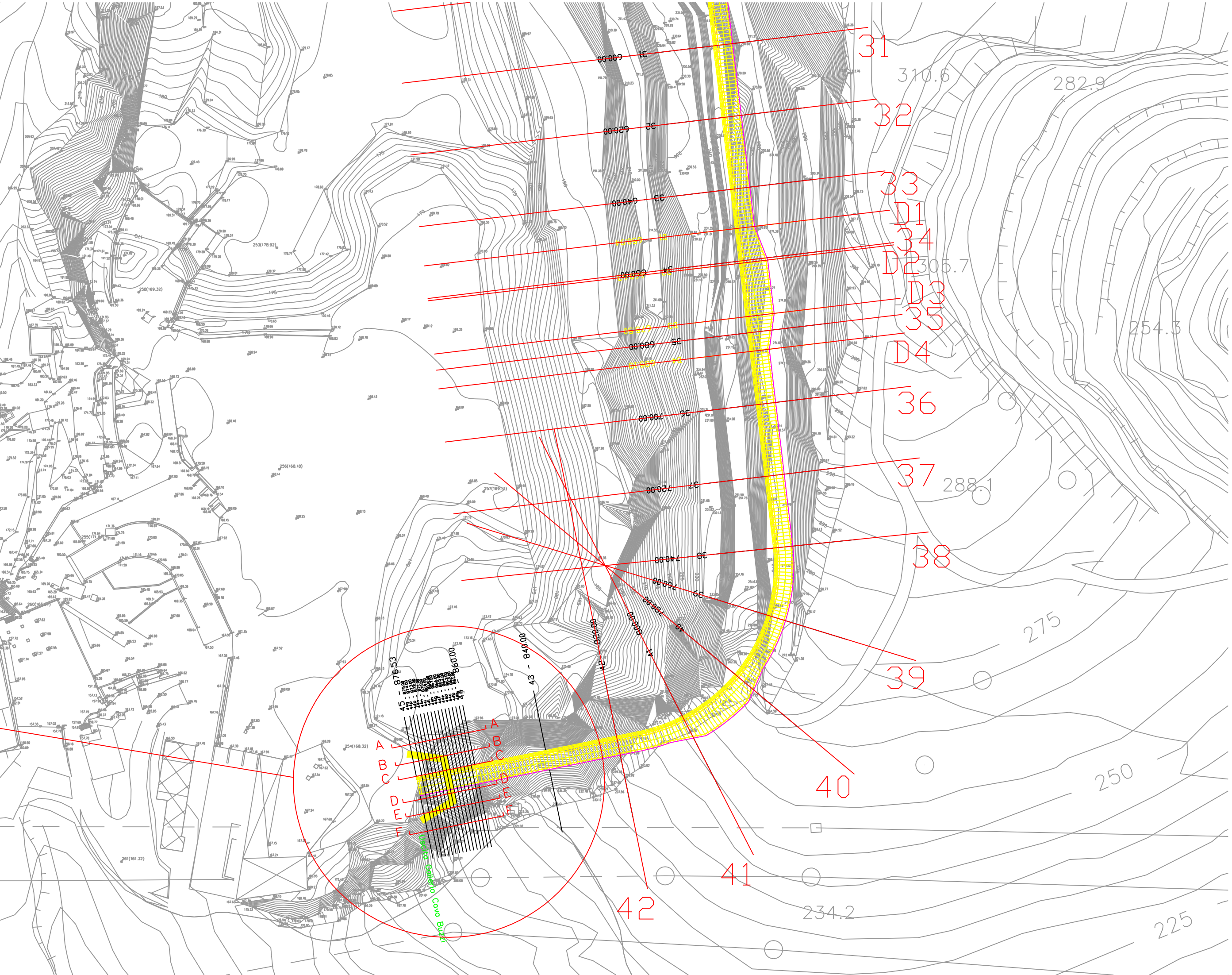
PROFILO Profilo

SEZIONE E

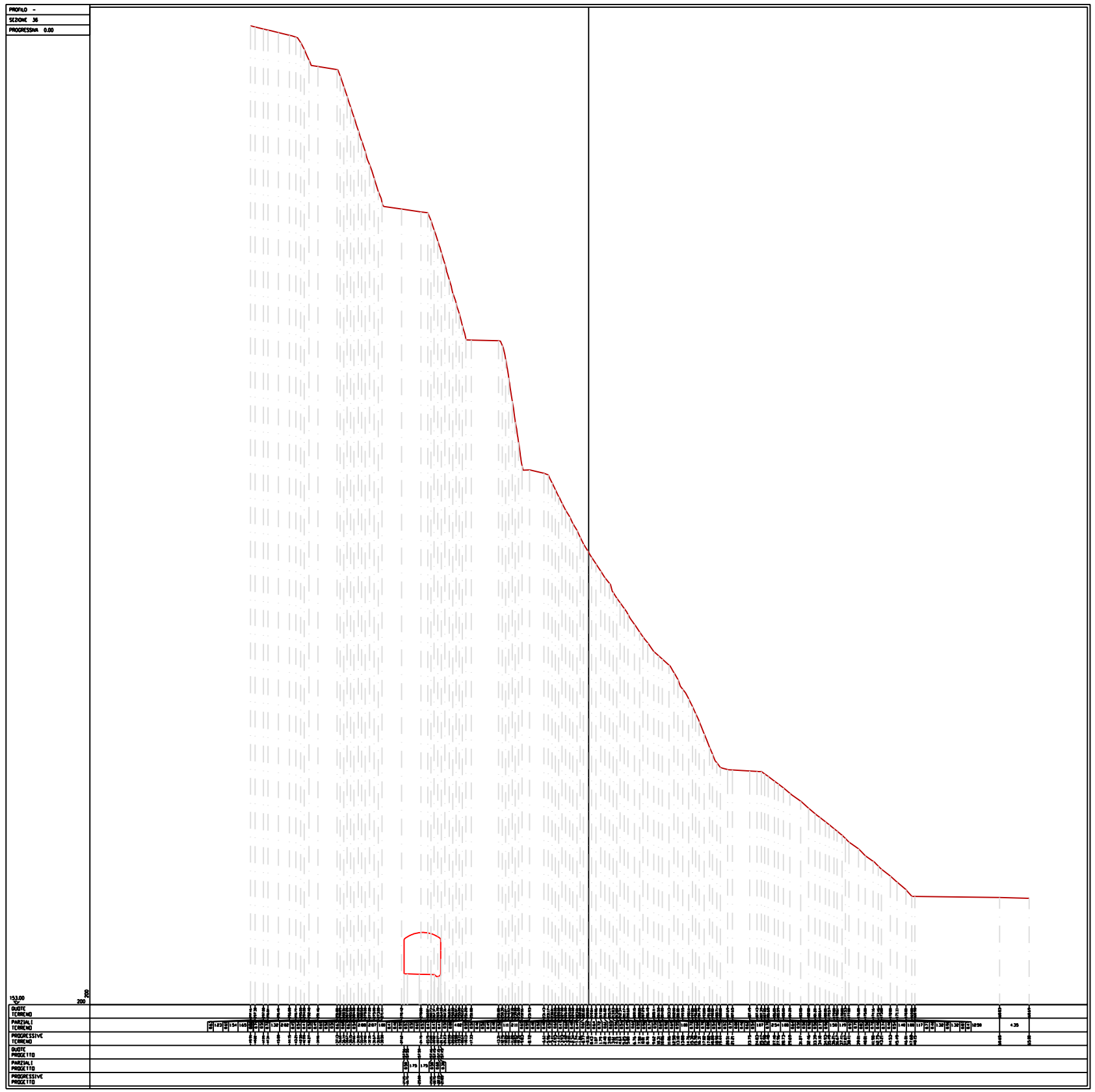
PROGRESSIVA 0.00



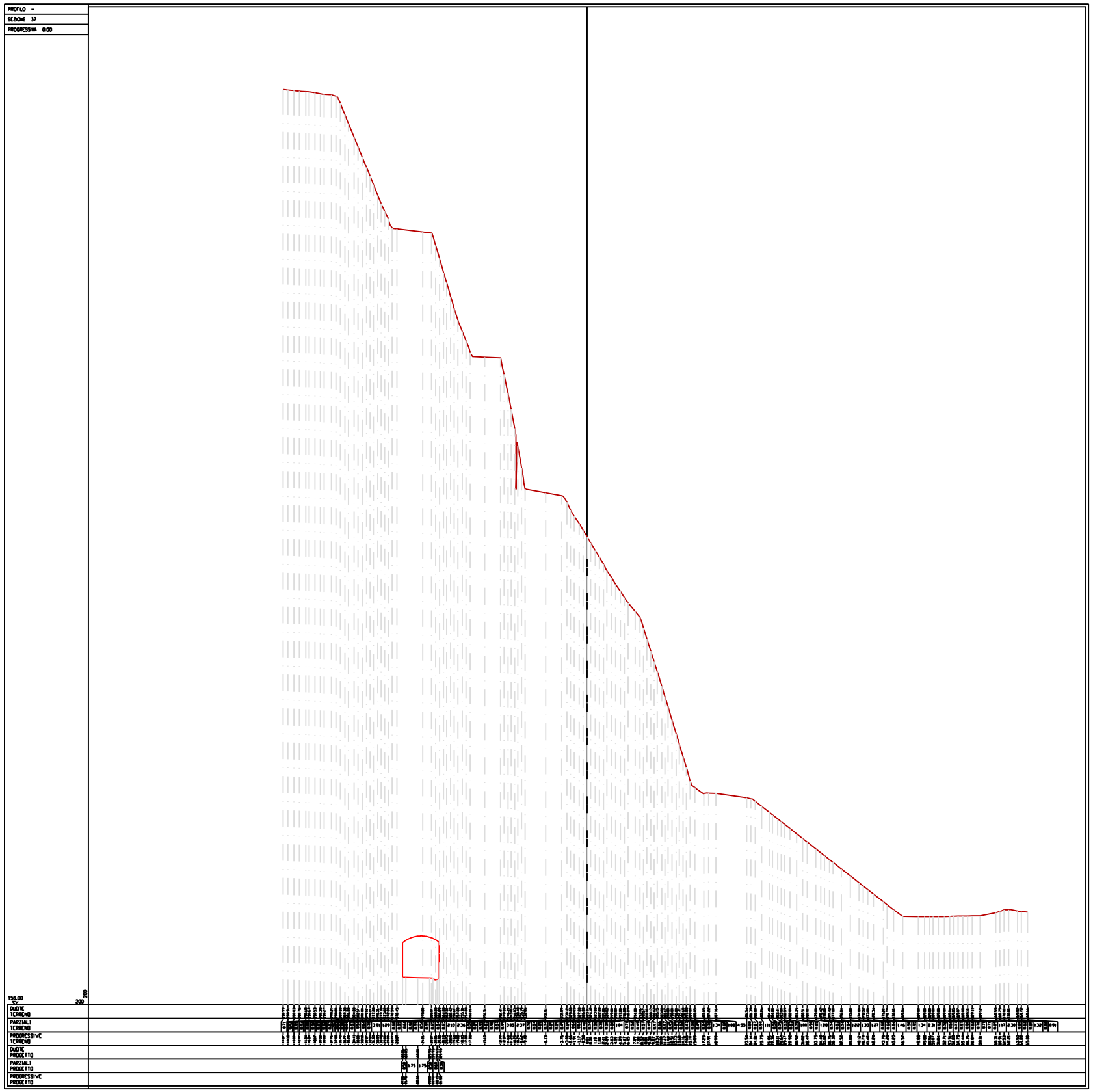
PROGRESSIVE TERRENO	
PARZIALI TERRENO	
QUOTE TERRENO	
PROGRESSIVE PROGETTO	
PARZIALI PROGETTO	
QUOTE PROGETTO	

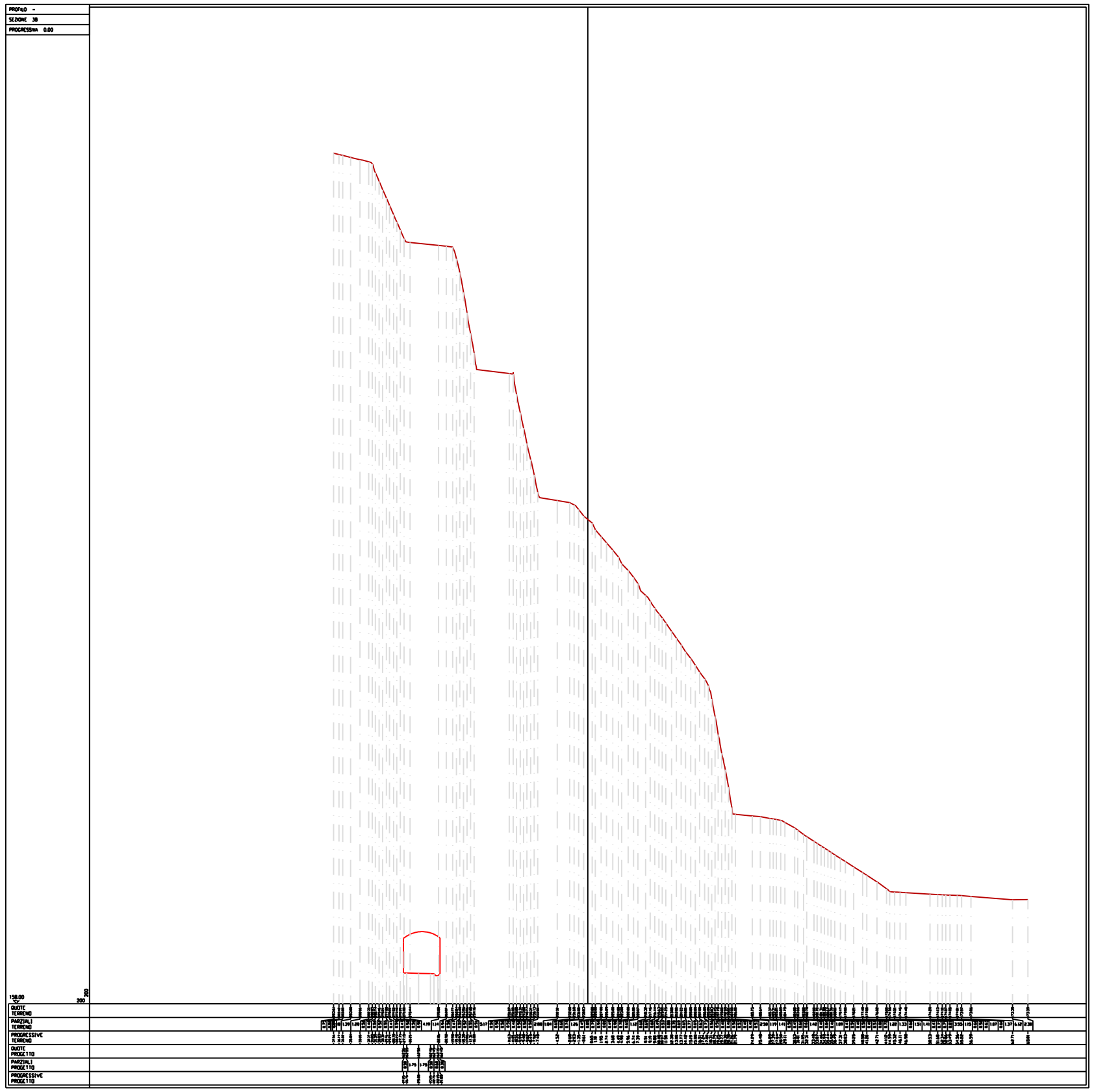

31
32
33
D1
34
D2
D3
35
D4
36
37
38
39
40
41
42
310.6
282.9
305.7
254.3
288.1
275
250
234.2
225
600.00
620.00
640.00
660.00
700.00
720.00
740.00
760.00
780.00
800.00
840.00
A
B
C
D
E
F
Lisolo Collado Cova Buzzi

36

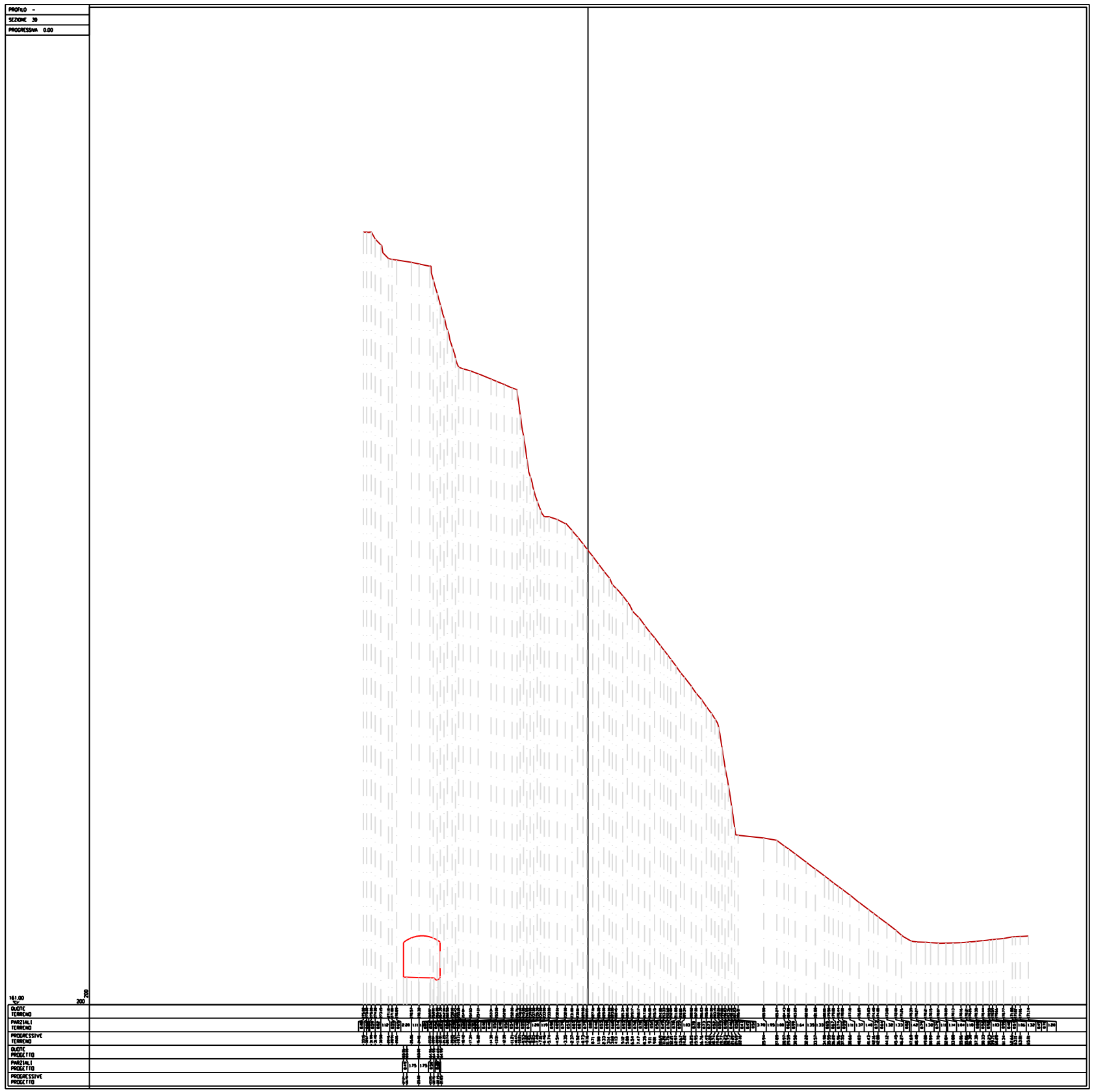

PROFILO -
SEZIONE 36
PROGRESSIVA 0.00
153.00
200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO

37

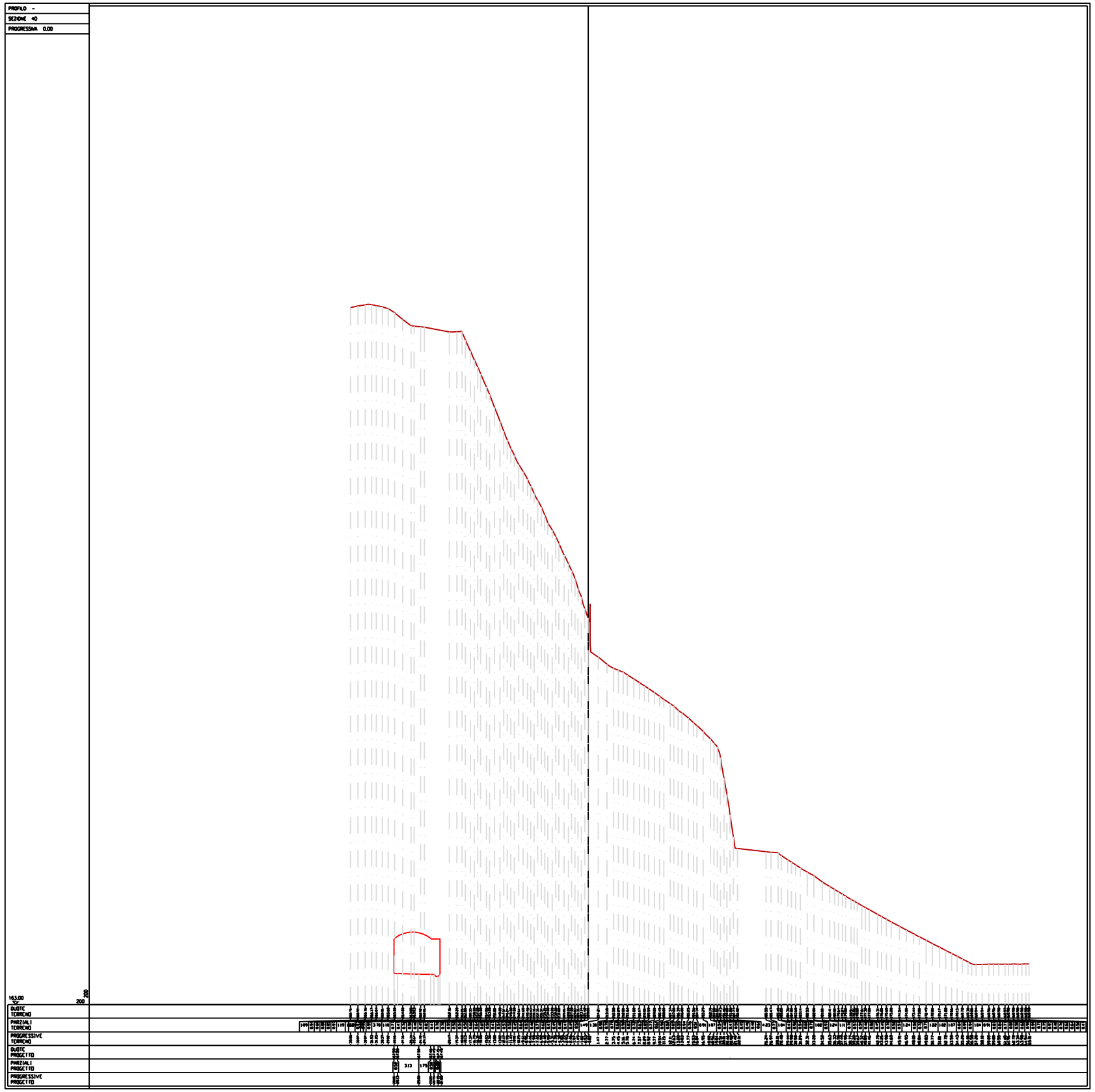

PROFILO -
SEZIONE 37
PROGRESSIVA 0.00
150.00
SC 200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO
1.75
1.75


PROFILO –
SEZIONE 38
PROGRESSIVA 0.00
+58.00
200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO

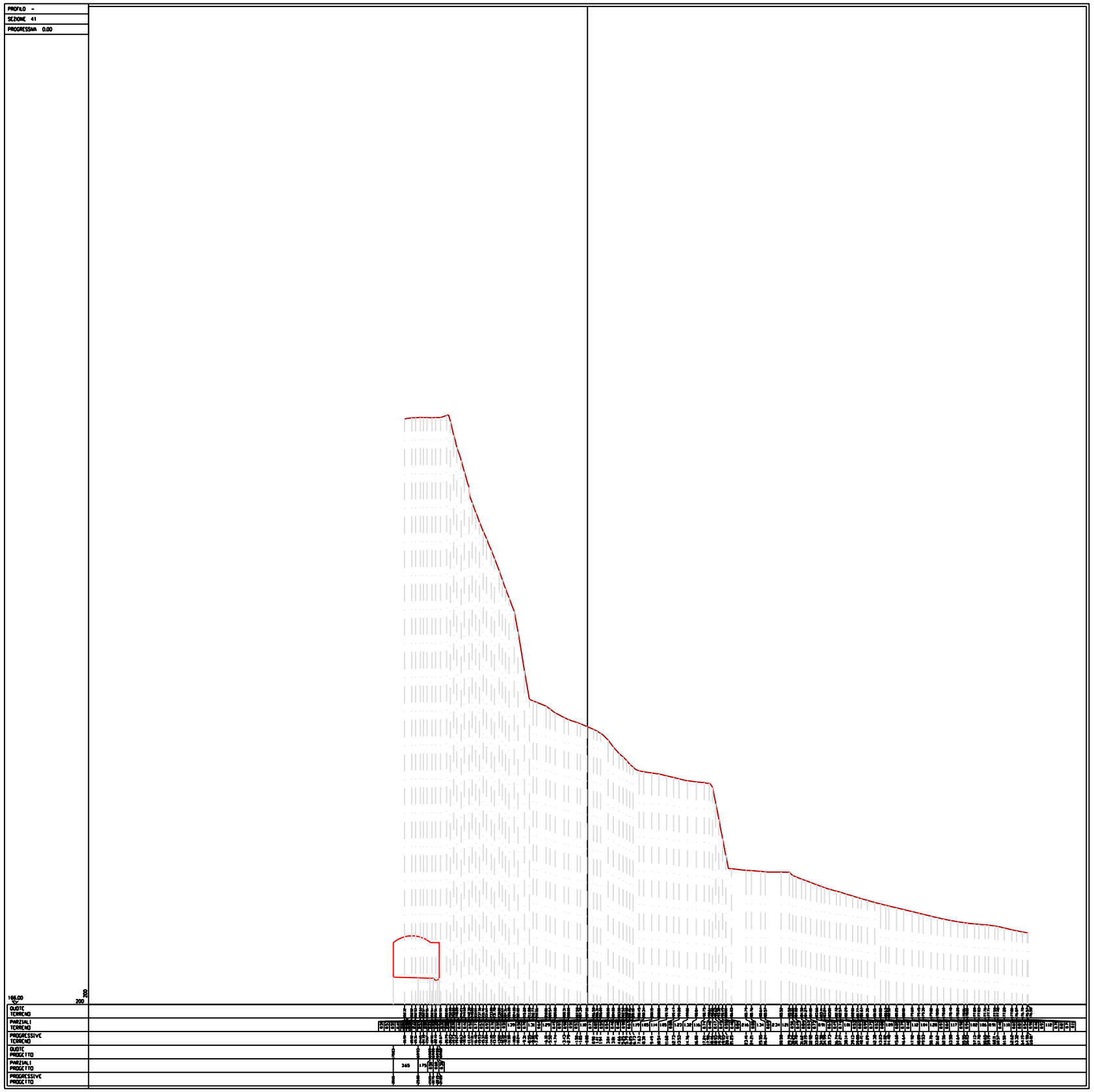
39


PROFILO -
SEZIONE 39
PROGRESSIVA 0.00
161.00
200
80
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO

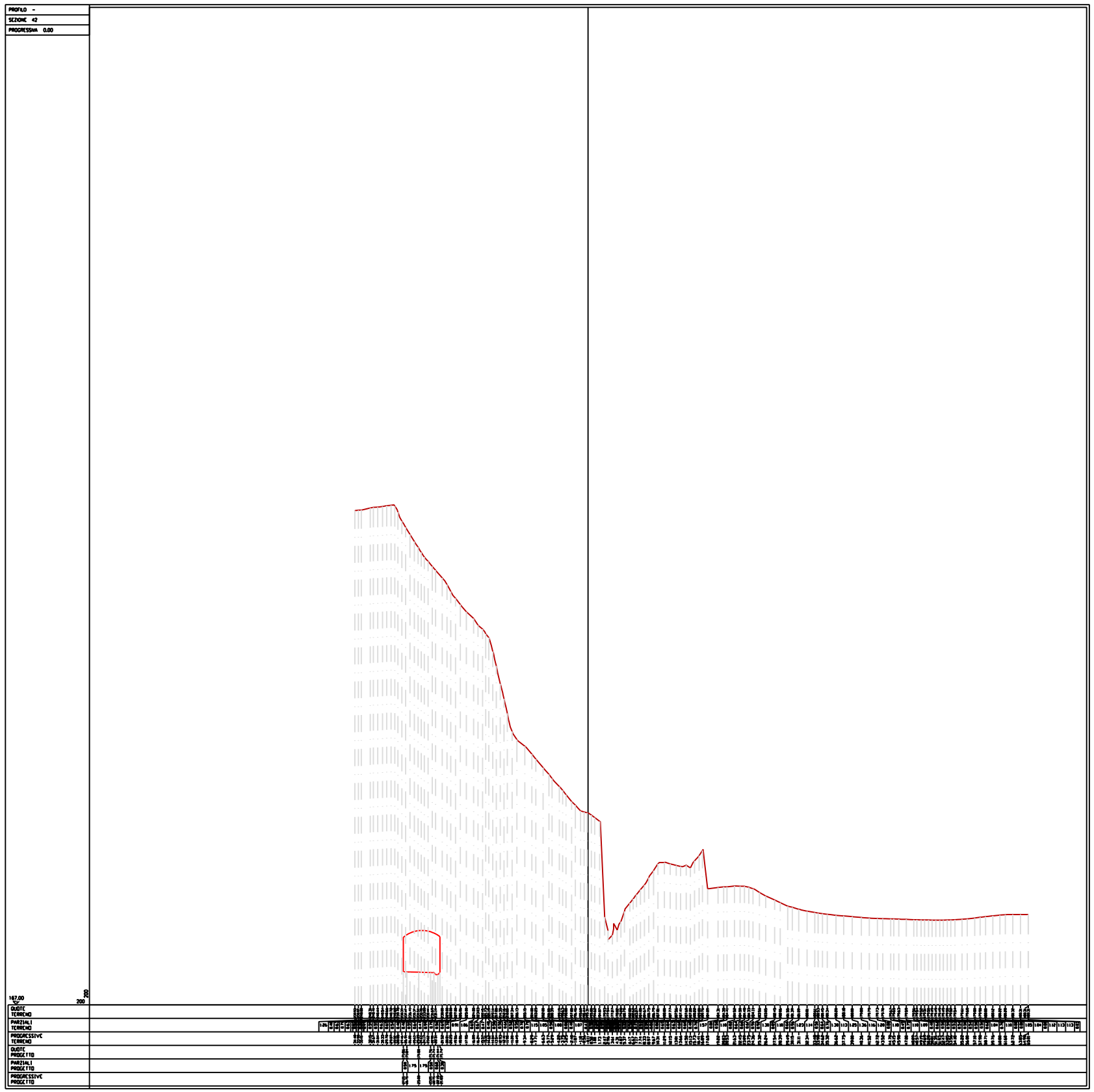
40


PROFILO -
SEZIONE 40
PROGRESSIVA 0.00
163.00
200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO
313
175

41


PROFILO -
SEZIONE 41
PROGRESSIVA 0.00
160.00
200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO
365
175

42


PROFILO -
SEZIONE 42
PROGRESSIVA 0.00
167.00
200
QUOTE TERRENO
PARZIALI TERRENO
PROGRESSIVE TERRENO
QUOTE PROGETTO
PARZIALI PROGETTO
PROGRESSIVE PROGETTO