

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DOLOMITI
Responsabile integrazione fra le varie
prestazioni specialistiche
Dot. Ing. PAOLO CUCINO
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" GALLERIE

GALLERIE NATURALI DI LINEA ED INTERCONNESSIONE

Scavo Tradizionale

Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto

APPALTATORE	COMMITTENTE	SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. Pietro Gianvecchio	IL RESPONSABILE DEI LAVORI Ing. Rosanna Del Maschio	-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G N 0 0 0 0	0 1 0	B

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Falanesca / A. Solcà / C. Bertello	18/07/2022	D. Merlini	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	IL PROGETTISTA A. Pelli 09/93/2023
B	Emissione a seguito di istruttorie ed interlocuzioni	M. Falanesca / A. Solcà / C. Bertello	25/02/2023	D. Merlini	26/02/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	27/02/2023	

File: IB0U1AEZZRHGN0000010B.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 2 di 69	

1. PREMESSA	4
2. SCOPO E CONTENUTI DEL PROGETTO	5
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
4.2 DOCUMENTI CORRELATI	6
5. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	7
6. DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
6.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	9
6.2 SISTEMA STRUTTURALE	10
7. FASE CONOSCITIVA	11
7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
7.2 INDAGINI GEOTECNICHE	11
7.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	15
7.3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni	15
7.3.2 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi	15
7.3.3 Il regime idraulico	20
7.3.4 Lo stato tensionale in sito	21
8. FASE DI DIAGNOSI	22
8.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	22
8.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	24
8.2.1 Analisi con i metodi all'equilibrio limite.....	24
9. FASE DI TERAPIA	27
9.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	27
9.1.1 Sezione As.....	27
9.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	31
9.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO.....	33
9.3.1 Criteri di verifica	34
9.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi.....	36
9.3.3 Modelli numerici per analisi tensio-deformative agli elementi finiti	36

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 3 di 69

9.3.4	Ipotesi di calcolo	38
9.3.5	Sezione As.....	40
9.4	VERIFICHE DEGLI INTERVENTI RADIALI	54
9.4.1	Sezione As.....	54
9.5	VERIFICHE DEGLI INTERVENTI DI CUCITURA	55
9.5.1	Sezione As.....	55
9.6	CRITERI ADOTTATI NELLE VERIFICHE STRUTTURALI	56
9.6.1	Verifiche dei rivestimenti di prima fase	56
9.6.2	Verifiche dei rivestimenti definitivi.....	57
9.7	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	60
9.7.1	Sezione As.....	60
10.	VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO	66
11.	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	67
12.	CONCLUSIONI	68
13.	ALLEGATI	69
13.1	ALLEGATO 1 – ANALISI A BLOCCHI.....	69
13.2	ALLEGATO 2 – TABELLE RIEPILOGATIVE VERIFICHE SLU RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE E DEFINITIVO – SEZIONE 9-9	69

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 4 di 69

1. PREMESSA

Nell'ambito della Progettazione Esecutiva della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1, la presente relazione si pone l'obiettivo di illustrare le soluzioni previste nella Progettazione Esecutiva nel tratto che, a partire dall'imbocco Nord, lato Fortezza, si estende a Sud per una lunghezza approssimativamente pari a 60 m.

Le soluzioni proposte si basano anche sulle recenti esperienze occorse nella limitrofa Galleria di base del Brennero, in particolar modo le esperienze sui lotti costruttivi H71 Sotto-attraversamento Isarco e H61 Mules 2-3, in cui sono stati scavati ammassi rocciosi simili a quelli in esame. Si rimanda al documento *Proposta di ottimizzazione delle sezioni tipo Galleria di linea* per maggiori approfondimenti.

Le opere in oggetto ricadono nella provincia di Bolzano. La galleria in esame ha una lunghezza complessiva di circa 15 km, con configurazione a doppia canna ad interasse di 40 m.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	5 di 69

2. SCOPO E CONTENUTI DEL PROGETTO

Nel tratto qui considerato, di estensione pari a circa 60 m dall'imbocco Nord, le due canne di galleria Scaleres, quelle di B.P. e B.D., si trovano in condizioni parietali rispetto al versante e sono poste a distanza così ravvicinata da lasciare uno spessore del setto centrale passante gradualmente da meno di 3.00 m a circa 4.50 m. Sotto queste particolari condizioni, l'indagine sulla stabilità degli scavi in sotterraneo richiede la definizione di un modello geotecnico-geomeccanico che, indipendentemente dalle caratteristiche meccaniche intrinseche della roccia granitica che compone l'ammasso, tenga conto della resistenza disponibile lungo i giunti delle discontinuità che la campagna geognostica ha registrato attraverso rilievi geostrutturali eseguiti nell'areale pertinente alle opere in progetto.

Sulla base della probabile orientazione delle superfici delle principali discontinuità rispetto agli scavi e rispetto al versante esterno, il modello geotecnico-geomeccanico dovrà permettere di individuare gli interventi di preconsolidamento e consolidamento dell'ammasso atti ad impedire l'insorgere di instabilità legate a cinematismi dei blocchi rocciosi e l'evoluzione della concentrazione tensionale sul setto centrale per evitare il collasso dello stesso per difetto di resistenza a taglio lungo le superfici di giunto. Le informazioni delle discontinuità sono state anche desunte dai limitrofi scavi della Galleria di base del Brennero all'interno dei graniti di Bressanone.

L'elaborato in oggetto è stato realizzato con lo scopo di definire, nella zona di interesse:

- il modello geolitologico dell'ammasso;
- gli intervalli rappresentativi dei parametri geotecnici e geomeccanici del litotipo costituente l'ammasso ed i parametri geotecnici di resistenza lungo i giunti delle discontinuità che pervadono l'ammasso stesso;
- le soluzioni progettuali che soddisfino la richiesta di resistenza delle opere di sostegno degli scavi in sotterraneo, pririvestimento e rivestimento definitivo, e la loro stabilità.

La progettazione è stata sviluppata nel rispetto della normativa di riferimento [1][2].

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	6 di 69

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- [2] C.S.LL.PP., Circolare n° 617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".

4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

- [3] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZRGGN0000001 "Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo";
- [4] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZF6GN0100001 "Profilo geotecnico - tav. 1";
- [5] U.O. Gallerie, documento IB0U1AEZZSPGN000000 "Caratteristiche dei materiali - Note generali - Opere parte A";
- [6] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZSPGN0000001 "Caratteristiche dei materiali - Note generali - Opere parte B";
- [7] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici.
- [8] U.O. Gallerie, documento, IBL11BD07RBGN0100003A "Relazione geotecnica e di calcolo – Sezione a setto ridotto" – Fase PD

4.2 DOCUMENTI CORRELATI

- [9] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [10] Lembo Fazio A., Ribacchi R. (1984). Progressi nella realizzazione e nell'interpretazione delle prove di carico su piastra negli ammassi rocciosi. Riv. It. Geotecnica, 18, 1-11;
- [11] Hoek E., Brown E.T. (1988). The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, 31-38;
- [12] Hoek E., Marinos P. (2000). GSI: A geological friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, 1422-1446;
- [13] Hoek E., Diederichs M. S. (2006). Empirical Estimation of rock mass modulus. Int. J. Rock Mech. & Mining Sciences, 43, 203-215;
- [14] Hoek E., Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 7 di 69	

- [15] Jethwa J.L., Singh B and Singh B. (1984). Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions – a new approach. Design and Performance of Underground Excavations, ISRM Symposium, Cambridge, E.T. Brown and J.A.Hudsoneds., pp. 231-238.
- [16] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993.
- [17] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990.
- [18] Hoek E., Marinos P. - Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rocks. Tunnels and Tunneling International, 2000.
- [19] Panet, M., Guenot, A., (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris
- [20] Tamez E. (1984) "Estabilidad de tuneles excavados en suelos" - Mexican Engineering Academy.
- [21] Bodini D. (2003). Deep Tunnels in Weak Rock-Masses: Analysis of the Ground-Shotcrete Interaction. Tesi di Dottorato, Consorzio tra le Università di Roma La Sapienza e l'Università di Napoli Federico II e Napoli II.
- [22] Oreste P.P. (1999). Aspetti Notevoli dell'Analisi e Dimensionamento dei Sostegni di Gallerie attraverso i Metodi di Calcolo Numerici. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n° 57

5. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

- [23] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBG0000026 Sezione tipo As – Tratto con setto a spessore ridotto – Scavo e consolidamenti;
- [24] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBG0000027 Sezione tipo As – Tratto con setto a spessore ridotto -- Carpenteria e particolari costruttivi;
- [25] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZW8GN0000001 Sezione tipo As – Tratto con setto a spessore ridotto – Fasi esecutive;
- [26] U.O. Geologia, documento IB0U1BEZZGEGN0000001 Relazione geotecnica Galleria Scaleres;
- [27] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZRHGN0100001 Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo in scavo tradizionale;
- [28] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZRHGN0100003 Relazione monitoraggio – scavo tradizionale;
- [29] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZRHGN0000011 Galleria Scaleres e Gardena – Proposta di ottimizzazione delle sezioni tipo Galleria di linea.
- [30] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZCLGN0000004 Galleria Scaleres – Relazione geotecnica e di calcolo
- [31] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWAGA0100001 Galleria Scaleres – Imbocco Nord – Fase Provvisoria 1 – Profili

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	8 di 69	

- [32] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWAGA0100002 Galleria Scalers – Imbocco Nord – Fase provvisoria 2 - Profili
- [33] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZP9GA0100001 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Planimetria Generale Opere di Imbocco”
- [34] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZWAGA0100003/4/5/6 “Galleria Scalers - Imbocco Nord – Sezioni trasversali”
- [35] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZPZGA0100001 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Sviluppata delle paratie delle opere di imbocco e particolari costruttivi”
- [36] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZP9GA0100004 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Sistemazione Definitiva - Planimetria”
- [37] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZWAGA0100007 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Sistemazione definitiva - Profili”
- [38] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZWAGA0100008/9 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Sistemazione definitiva – Sezioni trasversali”
- [39] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZBBGA0100009 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Dima e concio d'attacco - Carpenteria e consolidamenti”
- [40] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZBBGA0100001/2 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Galleria artificiale - Carpenteria”
- [41] U.O. Gallerie, documento n.° IB0U1BEZZP9GA0100007/8/9 “Galleria Scalers - Imbocco Nord - Schema delle fasi esecutive”

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 9 di 69	

6. DESCRIZIONE DELL'OPERA

6.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Galleria Scaleres si sviluppa con configurazione a doppia canna, singolo binario, con interasse tra le canne pari a 40 m. La galleria, da realizzarsi in parte con metodo di scavo tradizionale pari a 3555.74m (di cui 61.2 m in artificiale) e con metodo di scavo meccanizzato per 11630.9 m, ha una lunghezza complessiva di circa 15186.64 m, ed è provvista di cunicoli trasversali di collegamento tra le due canne, con passo non superiore a 500 m. Le misure sono indicative al binario dispari.

Le tratte in artificiale sono così ripartite: l'imbocco nord (lato Fortezza) ha un'estensione di 45.31 m circa mentre quello a sud (lato ponte sull'Isarco) ha un'estensione di 15.89 m circa.

Di seguito sono elencate le progressive di riferimento dell'opera (binario dispari):

- Da pk 0+489.47 a pk 0+534.78 L=45.31 m galleria artificiale;
- Da pk 0+534.78 a pk 3+951.47 L=3416.69 m galleria naturale – scavo tradizionale;
- Da pk 3+951.86 a pk 15+607.54 L=15186.64 m galleria naturale – scavo meccanizzato;
- Da pk 15+685.38 a pk 15+701.27 L=15.89 m galleria artificiale;

Dal punto di vista altimetrico il tracciato della galleria è caratterizzato da una livelletta monopendente (pendenza max del 12.5 ‰ circa) in discesa verso le progressive crescenti e presenta la copertura massima di 800 m circa intorno alla progressiva km 7+250.

Nella seguente tabella si riporta la sintesi delle principali opere in sotterraneo che si incontrano seguendo il tracciato del sistema galleria Scaleres da Nord verso Sud.

La presente relazione ha come oggetto la progettazione del solo tratto di galleria naturale realizzato con metodo di scavo tradizionale.

<i>Galleria di linea Scaleres</i>	Galleria con configurazione a doppia canna, singolo binario, lunghezza di 15.4 km circa.
<i>Finestra di Forch</i>	Galleria costruttiva di circa 1.4 km che si innesta in corrispondenza della canna dispari della galleria Scaleres ed è propedeutica ai lavori di scavo della galleria di linea. In esercizio, verrà utilizzata come uscita di emergenza.
<i>Cunicoli trasversali di collegamento</i>	By-pass pedonali previsti sia per le gallerie di linea che per le gallerie di interconnessione e collocati ad intervalli di 500 m al massimo.
<i>Altre opere funzionali al sistema</i>	Locali tecnici sotterranei ubicati in prossimità della zona di innesto delle finestre con le gallerie di linea, camerone di manovra zona di innesto, by-pass tecnici, nicchioni tecnici.
<i>Altre opere funzionali alla galleria</i>	Camerone per il montaggio della struttura di spinta e di partenza della TBM.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	10 di 69

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali inerenti l'applicazione della sezione a setto ridotto As, prevista in corrispondenza del tratto iniziale di galleria naturale all'imbocco Nord della Galleria Scalers.

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato e delle opere si rimanda alla "Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo" (Rif. [3]).

6.2 SISTEMA STRUTTURALE

Le sezioni d'intradosso per i tratti realizzati con metodologia di scavo tradizionale, presentano il raggio della calotta pari a 3,5 metri e piano dei centri posto a 2,44 metri sul p.f. Nei tratti in tradizionale la galleria sarà impermeabilizzata con un telo in PVC, su supporto di tessuto non tessuto. Questo sistema permette di convogliare l'eventuale acqua intercettata durante lo scavo all'interno di due tubi laterali di drenaggio che sversano nei pozzetti del collettore centrale di raccolta posto a quota inferiore e pertanto evita qualsiasi interazione con le acque di piattaforma. I pozzetti sono ubicati ogni 50 m e sono ispezionabili per consentire la manutenzione degli stessi. Lo smaltimento dell'acqua di infiltrazione avviene per gravità.

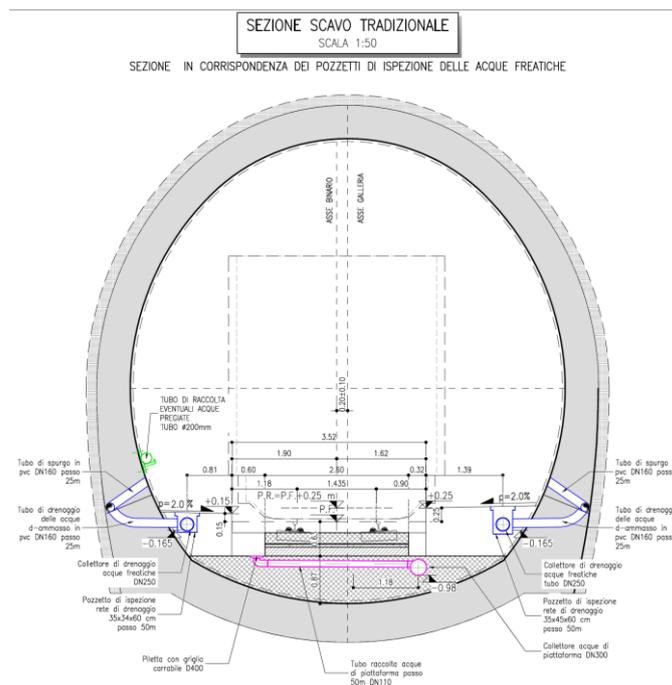


Figura 6-1 Sezione tipo di intradosso galleria a semplice binario. Scavo tradizionale.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	11 di 69

7. FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo.

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere di imbocco nord della galleria Scalers.

7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Galleria Scalers per le tratte di galleria con setto ridotto. Per un quadro esauriente e dettagliato si rimanda agli elaborati specialistici di U.O. Geologia del presente progetto (Rif. [7] e [26]).

L'imbocco nord della Galleria Scalers è situato nella Valle d'Isarco sul versante sud in sponda destra del Fiume Isarco. Il pendio con vergenza verso NNE è interamente costituito da litotipi lapidei appartenenti alla formazione denominata "Granito di Bressanone" che ne determinano l'accentuata acclività (mediamente 45-50°). Il substrato roccioso granitico si presenta generalmente con ridotte coperture, talvolta con roccia affiorante ed è caratterizzato da una porzione superficiale a maggior fratturazione ed alterazione con aumento progressivo delle caratteristiche geomeccaniche con la profondità. Al piede del pendio è presente detrito di falda derivante dal disfacimento della roccia in posto, costituito prevalentemente da ghiaia e ciottoli granitici in matrice sabbioso-limosa di spessore variabile. I depositi alluvionali del Fiume Isarco, costituiti da materiali sabbioso-ghiaiosi poligenici, caratterizzano l'intera valle e raggiungono spessori molto elevati (>40m).

7.2 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere commentate in questa Relazione, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagini geognostiche, sia pregresse (PD CdS 2013- 2017), sia 2021-2022 per il PE, ubicati nelle aree di interesse. Per maggiori dettagli si rimanda al documento [26].

In particolare, per la zona di interesse dell'imbocco nord della galleria Scalers possono essere suddivise in due fasi distinte:

- campagna geognostica di Progetto Preliminare costituita dall'esecuzione di:
 - 1 rilievo geologico-strutturale, denominato SG1, mirato alla definizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso;
- campagna geognostica di Progetto Definitivo costituita dall'esecuzione di:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	12 di 69

- 1 indagine geofisica tipo Cross Hole, denominata D2, con registrazione delle Vp e delle Vs e calcolo del rapporto di Poisson, del modulo di taglio dinamico, modulo di Young dinamico, modulo di compressione volumetrica e densità lungo tutta la verticale;
- 2 sondaggi a carotaggio continuo, denominati C1 e C2 con registrazione dei valori di recupero percentuale modificato RDQ, prelievo di campioni, esecuzione di prove di permeabilità tipo Lugeon e Lefranc, esecuzione di prove dilatometriche e pressiometriche, esecuzione di prove SPT e rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione;
- analisi di laboratorio sui 11 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi C1 e C2;
- 1 rilievo geologico-strutturale, denominato 23N, mirato alla definizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso;

Di seguito si riporta la planimetria con l'ubicazione delle indagini eseguite.



Figura 7-1 Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite nella zona di interesse dell'imbocco..

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	13 di 69

Di seguito si sintetizzano le prove in situ e di laboratorio eseguite per ogni campagna di indagine per l'intero tracciato.

Campagna 2006, RFI

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2006 sono stati eseguiti n° 1 sondaggi (spinti a profondità superiore ai 150 m) e n° 3 sondaggi ordinari a carotaggio continuo (profondità minore di 150 m).

Per il sondaggio profondo sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 8 campioni;
- n° 3 prove di permeabilità tipo Lugeon.

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 27 campioni;
- n° 26 prove SPT;
- n° 10 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2012-2013, Italferr S.p.A.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2012-2013 sono stati eseguiti n° 39 rilievi geostrutturali di superficie, n° 8 sondaggi profondi (spinti a profondità superiori a 150 m) e n° 35 sondaggi ordinari a carotaggio continuo (profondità minore di 150 m).

Per i sondaggi profondi sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 212 campioni;
- n° 27 prove di permeabilità tipo Leugeon;
- n° 20 prove dilatometriche;
- n° 17 prove di fratturazione idraulica.

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 297 campioni;
- n° 197 prove SPT;
- n° 85 prove pressiometriche;
- n° 67 prove dilatomeriche
- n° 73 prove di permeabilità tipo Leugeon;
- n° 76 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2017, Italferr S.p.A.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	14 di 69

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche del 2017 sono stati eseguiti n° 52 rilievi geostrutturali di superficie, n° 9 sondaggi profondi (spinti fino a profondità superiori a 150 m) e n° 30 sondaggi ordinari (profondità minore di 150 m), di cui 4 perforazioni a distruzione e 26 a carotaggio continuo.

Per i sondaggi profondi sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 90 campioni rimaneggiati;
- n° 74 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 3 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- n° 59 prove dilatometriche;
- n° 52 prove di fratturazione idraulica.

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 176 campioni
- n° 158 prove SPT;
- n° 6 prove pressiometriche;
- n° 30 prove dilatometriche;
- n° 31 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 47 prove di permeabilità tipo Lefranc.

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici di U.O. Geologia (Rif. [7]) e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sul profilo geotecnico di progetto (Rif. [4]).

Campagna 2021/2022, Consorzio Dolomiti per il Progetto Esecutivo.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2021/2022 sono stati eseguiti, con riferimento alla tratta oggetto di questa Relazione, le seguenti indagini:

- S21/3;
- S21/4;
- S21/15;
- TS_01;
- S21/10;
- S21/10a.

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata nelle carte geologiche e sui profili geotecnici di progetto (Rif. [4]).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	15 di 69

7.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere di imbocco. Il modello geotecnico complessivo dell'opera in sotterraneo è rappresentato nell'elaborato "Profilo geotecnico Galleria Scaleres 1/2".

In particolare, per la zona interessata dall'imbocco nord della galleria Scaleres sono stati ipotizzati 4 litotipi distinti di seguito descritti:

Litotipi lapidei:

- granito poco alterato (Ybi alt): granito grigiastro poco alterato e poco fratturato, fessure riempite da prodotti di alterazione sabbiosi-limosi
- granito (Ybi): granito di colore grigiastro, con struttura granulare, alterazione assente, poco fratturato;

Litotipi costituiti da materiale sciolto:

- granito molto fratturato (Ybi frant): ammasso roccioso destrutturato assimilabile a materiale detritico sciolto costituito da ghiaia e ciottoli di granito in matrice sabbioso- limosa;
- depositi alluvionali recenti (Ar) alternanza di depositi sabbiosi e ghiaiosi di natura poligenica

Le indagini in sito effettuate risultano essere ubicate tutte al piede del versante, la stratigrafia ipotizzata lungo il versante è stata dedotta dal sopralluogo effettuato.

7.3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dei *Depositi alluvionali antichi di primo ordine (at1)*, che la galleria Scaleres incontra in prossimità dell'imbocco Nord, si rimanda al documento [26].

7.3.2 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi

La Galleria Scaleres per la tratta in esame, come già indicato al capitolo 7.2, attraversa le formazioni dei Graniti di Bressanone (*ybi*). Per queste unità geotecniche sono stati analizzati e interpretati tutti i dati provenienti dalle indagini in sito e in laboratorio, permettendo la caratterizzazione della matrice litoide e l'individuazione di range di variabilità dell'indice GSI e dello stato di fratturazione nella tratta di interesse.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	16 di 69

7.3.2.1. Caratterizzazione della matrice litoide

Per ogni unità geotecnica sono stati analizzati i risultati provenienti dalle prove di laboratorio (compressione monoassiale, compressione triassiale e misure di velocità ultrasonica) che hanno consentito di definire le principali caratteristiche meccaniche della matrice: la resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} e il modulo elastico E_i .

Per la definizione del modulo elastico della matrice litoide, oltre ai dati provenienti dalle prove di laboratorio, è stata utilizzata la correlazione di Lembo Fazio e Ribacchi (1984) (Rif. [10]) che lega il modulo elastico E_i alla velocità delle onde P (v_p). Per maggiori dettagli si rimanda al documento [26]. Nel seguito si riportano le informazioni di sintesi per le tratte in esame.

Intrusioni Permiane

Granito di Bressanone – ybi

Il *Granito di Bressanone* è stato intercettato da quattro sondaggi (C2, C3, S2 e sondaggio orizzontale EO03).

Dai risultati delle prove di laboratorio si osservano valori di resistenza a compressione della roccia intatta σ_{ci} compresi tra 44 MPa e 180 MPa. Non si notano particolari tendenze con la profondità. I valori più elevati sono stati misurati nei campioni più superficiali.

Si considera rappresentativo il seguente intervallo di valori di resistenza a compressione della roccia intatta:

$$90 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 145 \text{ MPa}$$

Con riferimento al modulo di Young della roccia intatta E_i (ricavabile dalle prove di laboratorio) i valori sono compresi tra 17 GPa e 56 GPa e si ritiene rappresentativo il seguente range di variabilità del modulo elastico della roccia intatta:

$$30 \text{ GPa} \leq E_i \leq 40 \text{ GPa}$$

In considerazione del numero di prove a disposizione, per la caratterizzazione della matrice litoide sono stati assunti i seguenti valori:

$$\sigma_{ci} = 110 \text{ MPa}$$

$$E_i = 35 \text{ GPa}$$

$$m_i = 22$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	17 di 69

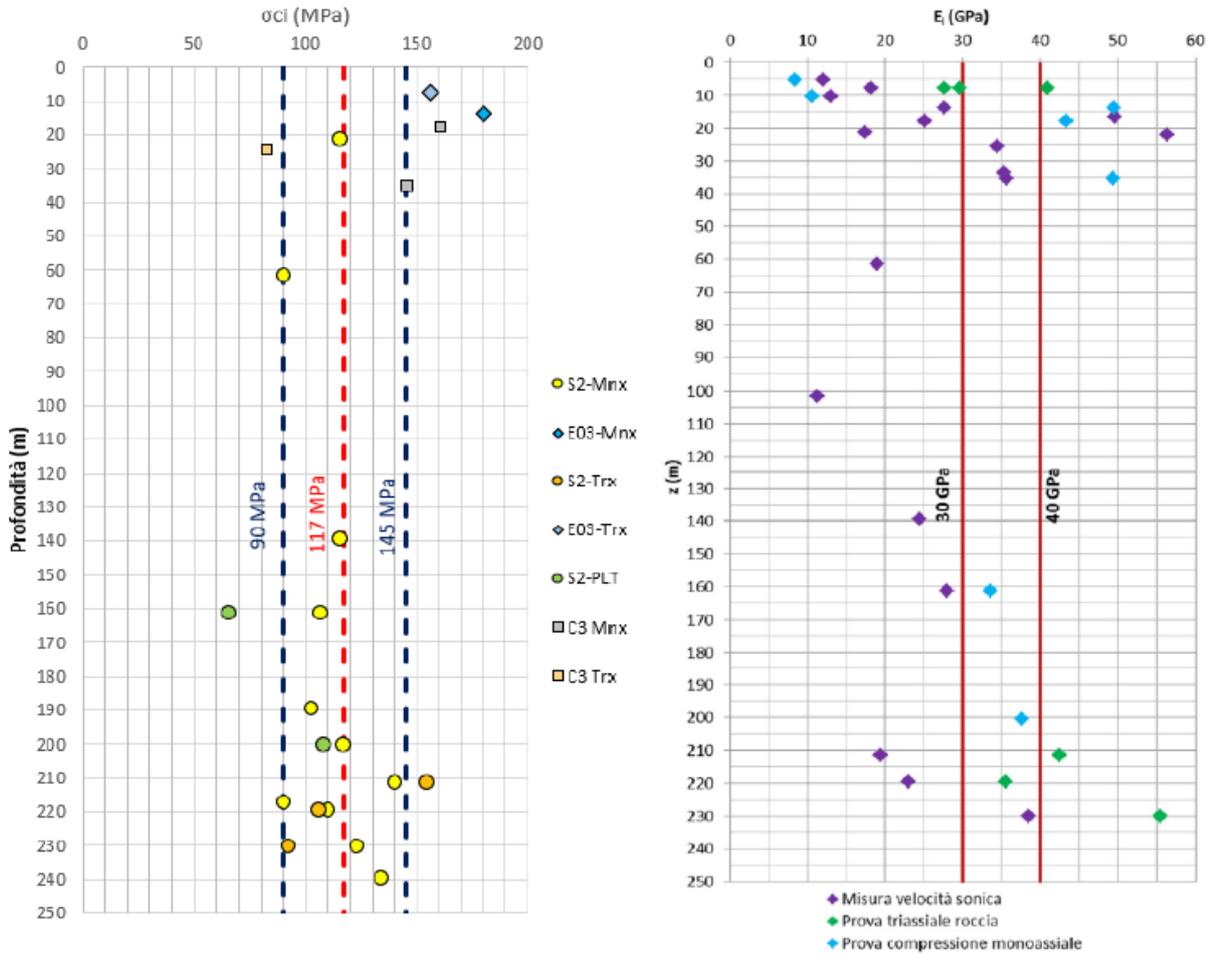


Figura 7-2 Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide del Granito di Bressanone.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	18 di 69

7.3.2.2. Caratteristiche meccaniche

La determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso è stata eseguita a partire dalle caratteristiche della matrice litoide con riferimento al metodo proposto da Hoek e Brown (1988, Rif. [11]) e alla definizione dell'indice GSI (Geological Strength Index method, 1994, Figura 7-3) come descritto con maggior dettaglio nella relazione [26].



Figura 7-3 Stima dell'indice GSI sulla base della descrizione geologica dell'ammasso (Hoek e Marinos, 2000).

Qualora l'ammasso roccioso abbia un valore del GSI maggiore di 25, è possibile determinare il valore analiticamente (forma indiretta) in funzione dell'indice RMR (Rock Mass Rating Sistem), secondo la relazione:

$$GSI = RMR - 5$$

Il sistema RMR, proposto da Bieniawsky nel 1989, associa a ciascuna caratteristica dell'ammasso roccioso un indice numerico così di seguito definito:

- resistenza a compressione monoassiale della roccia R1;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	19 di 69

- indice RQD (Rock Quality Designation) R2;
- spaziatura delle discontinuità R3;
- condizioni delle discontinuità R4;
- condizioni idrauliche R5.

La somma algebrica dei valori degli indici parziali fornisce l'indice di qualità dell'ammasso RMR_{base} :

$$RMR_{base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988) (Rif. [17]), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

Il criterio di resistenza dell'ammasso è dato dall'espressione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

dove:

σ'_1 è la tensione principale efficace maggiore a rottura;

σ'_3 è la tensione principale efficace minore a rottura;

σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

m_b , s , a sono parametri che dipendono dall'indice GSI e dal fattore di disturbo D (variabile tra 0 ed 1).

A partire dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown così definito, è possibile calcolare i parametri equivalenti c' e φ' , secondo il criterio di resistenza lineare di Mohr-Coulomb. A tale scopo è necessario stabilire una profondità (dunque una tensione) di riferimento, nell'intorno della quale linearizzare il criterio di resistenza di Hoek e Brown. Anche il modulo elastico dell'ammasso roccioso E_{rm} può essere determinato a partire da quello relativo alla roccia intatta E_i , in funzione dell'indice GSI e del fattore di disturbo D, secondo quanto proposto da Hoek e Diedericks (2006) (Rif. [19]).

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione, sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali e, dove necessario, i dati geostrutturali ricavati dai sondaggi condotti nelle campagne di indagine del 2012-2013, del 2017 e 2021-2022 (§7.2) (Rif. [14]). Considerando che il GSI, determinato attraverso i rilievi su carote, è affetto da incertezze e da indeterminazioni e quindi può risultare non rappresentativo e non affidabile per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è dato maggior peso al GSI determinato da rilievi di superficie.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse e di definire un range di variazioni del Geological Strength Index (GSI) in funzione della profondità e dello stato di fratturazione come riportato in Tabella 7-2 Parametri ammasso roccioso per la tratta delle gallerie di linea scavate in tradizionale Scalers

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 20 di 69

. In corrispondenza delle faglie, dei sovrascorrimenti e di tratte intensamente fratturate i valori dell'indice GSI sono stati ridotti in funzione dell'unità e della copertura. Per maggiori dettagli si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]).

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici definiti sono stati individuati i parametri caratteristici delle diverse formazioni:

Unità	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	m_i (-)
γ_{bi}	27	110	35	22

Tabella 7-1 Parametri caratteristici – formazioni rocciose Galleria Scalera.

Di seguito si riportano i valori di angolo di attrito, coesione e modulo di deformazione dell'ammasso roccioso ripresi da PD [8]. A favore di sicurezza, viene considerato tutto l'ammasso roccioso come granito alterato con i seguenti parametri.

Formazione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (GPa)
Granito (γ_{bi})	27	289	55	2.3

Tabella 7-2 Parametri ammasso roccioso per la tratta delle gallerie di linea scavate in tradizionale Scalera

Per quanto riguarda i parametri delle discontinuità si rimanda agli Allegati di calcolo.

7.3.3 Il regime idraulico

Per la definizione dell'ordine di grandezza della permeabilità dell'ammasso roccioso sono state effettuate due prove Lugeon lungo la verticale C2:

- Permeabilità dell'ammasso roccioso: $1 \cdot 10^{-6} - 10^{-7}$ m/s.

Le letture del livello dell'acqua a fondo foro effettuate sulle verticali dei sondaggi sono legate al fondovalle più che ai versanti:

- livello di acqua in foro massimo registrato sui depositi alluvionali recenti: -7.8m dal p.c.;
- livello di acqua in foro massimo registrato nell'ammasso roccioso: -12.2m dal p.c

Nei fori di sondaggio C1 e C2 sono stati installati piezometri a tubo aperto, ma ad oggi non si dispone di letture piezometriche.

Ai fini del dimensionamento si assume l'ipotesi di ammasso in condizioni drenate. Per il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si assume cautelativamente una fase di lungo termine con un battente idraulico di 20 m.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE Galleria Scalares - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 21 di 69

7.3.4 Lo stato tensionale in sito

Lo stato tensionale in sito è stato stimato sulla base dei risultati delle prove di fratturazione idraulica eseguite all'interno dei fori di sondaggio realizzati nelle campagne di indagine del 2008 e del 2013.

Le prove eseguite per la Galleria Scalares mostrano che il coefficiente K_0 assume valori generalmente compresi tra 0.7 e 1.2; ad eccezione delle prove eseguite nei sondaggi EP10 e EP11, tra le pk 9+000 e 10+000 della Galleria Scalares, tratta non oggetto della presente relazione, che mostrano valori più elevati, mediamente compresi tra 1.5 e 2.5.

Sulla base di quanto indicato nella relazione [26], il valore di K_0 , in analogia anche al PD, è stato assunto pari a 0.9.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	22 di 69

8. FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [15]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

8.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [15]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo di avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi sono

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1AEZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">GN0000010</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">23 di 69</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	23 di 69
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	23 di 69													
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto																		

di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento a contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un compartimento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 24 di 69

8.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo di Tamez essendo nel caso con basse coperture.

Le analisi nella fase di diagnosi sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

8.2.1 Analisi con i metodi all'equilibrio limite

8.2.1.1. Metodo di analisi: Tamez (1984)

Nelle analisi di stabilità del nucleo-fronte condotte secondo il metodo proposto da Tamez [20], sono stati adottati i parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci, considerando una risposta del fronte di scavo in condizioni drenate sia per terreni incoerenti che per terreni coesivi, in ipotesi di scenario gravoso di dissipazione delle pressioni interstiziali per permeabilità elevata o fronti di scavo aperti per lungo periodo.

Si ipotizza che al fronte si formi un meccanismo di rottura approssimabile mediante solidi prismatici come mostrato nella figura di seguito riportata, e si valuta il coefficiente di sicurezza FSF rispetto alla condizione di collasso ipotizzato, come rapporto tra i momenti delle forze resistenti e i momenti delle forze attive.

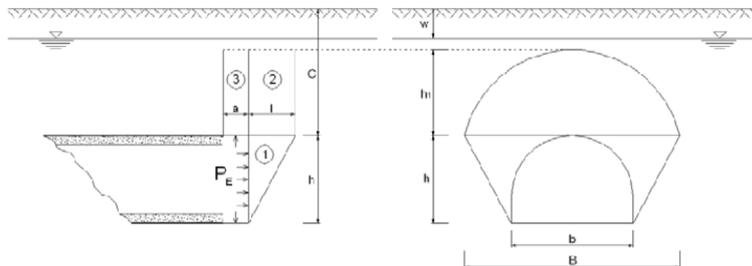


Figura 8-1 Stabilità del fronte secondo il Metodo di Tamez (1984).

Talvolta la stabilità del solo prisma 3 gravante sulla zona di galleria non ancora sostenuta dal rivestimento può risultare più critica rispetto all'insieme dei tre prismi; è definito in tal senso un secondo coefficiente di sicurezza FS₃, per cui ai fini della stabilità del fronte si assume il coefficiente di sicurezza minimo tra i due.

$$A = \left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \times \frac{h_1}{b}$$

$$B = \left[\frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l) \times \sqrt{K_a}} \right] \times \frac{h_1}{h}$$

$$C = \left[\frac{3.4C_1}{(1+a/l)^2 \times \sqrt{K_a}} \right]$$

$$D = \left[1 + \frac{2h}{3Z(1+a/l)^2} \right] \times (\gamma Z - P_E)$$

$$FSF = \frac{A+B+C}{D}$$

$$FS_3 = \frac{2\tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \times \frac{h_1}{b} \times \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

Il fronte di scavo viene considerato stabile per valori di FSF > 1,5. Per valori di FSF superiori a 2, il sostegno del fronte può considerarsi non necessario.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 25 di 69		

Sezioni analizzate

La valutazione del comportamento deformativo del fronte con il metodo di analisi della stabilità del fronte è stata condotta per la sezione As a bassa copertura all'imbocco Nord della galleria.

In tabella sono riepilogati tutti i dati di input utilizzati nelle analisi.

Sezione di calcolo	Formazione	Z	b	h	W	h ₁	γ ₁	γ ₂	c' ₁	c' ₂	φ' _m
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]
Sezione 1	γbi	24	9.6	10.25	24	4.4	25	25	289	289	55

Z = copertura rispetto alla calotta della galleria

b = larghezza dello scavo

h = altezza dello scavo

h₁ = altezza sopra la calotta della galleria del meccanismo di collasso (se Z/h < 3, h₁ = Z)

W = profondità superficie piezometrica da piano campagna

γ₁ = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h₁)

γ₂ = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h)

c'₁ = valore caratteristico medio della coesione al fronte (su h)

c'₂ = valore caratteristico medio della coesione dalla calotta fino a h₁

φ'_m = valore caratteristico medio dell'angolo di attrito dei materiali presenti dall'arco rovescio fino a h₁

L'analisi è stata svolta considerando:

K_a = coefficiente di spinta a attiva = 0,5

a = lunghezza non sostenuta = 1m

Tabella 8-1 Sezione analizzata col metodo di Tamez per l'analisi di stabilità del fronte di scavo.

Risultati delle analisi

Per l'analisi eseguita con il metodo di Tamez i risultati sono stati esaminati in funzione dei valori dei coefficienti di sicurezza FSF e FS3 calcolati secondo quanto riportato nel paragrafo precedente, In particolare per la definizione della categoria di comportamento si è preso a riferimento il seguente criterio:

FS = min (FSF; FS3)	<u>Classe di comportamento</u>
≥ 2	<u>A</u>
< 2 e ≥ 1,5	<u>B</u>
< 1,5	<u>C</u>

Tabella 8-2 Criterio per la definizione della categoria di comportamento.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1AEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000010</td> <td>B</td> <td>26 di 69</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	26 di 69													

Il risultato dell'analisi eseguita con il metodo di Tamez indica un comportamento del fronte stabile risultando il valore di FSF pari a 6,76 mentre quello di FS3 >> 1.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	27 di 69

9. FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

9.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO

L'imbocco nord della galleria Scalers è realizzato con metodo di scavo in tradizionale. Per la scelta del metodo di scavo si rimanda alla Relazione tecnica (Rif. [3]).

Per la tratta suddetta, si prevede l'adozione dello scavo a piena sezione. Il rivestimento di prima fase è nella generalità dei casi composto da spritz-beton e centine metalliche. I rivestimenti definitivi sono previsti in calcestruzzo armato. A tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e di piedritto si porrà in opera l'impermeabilizzazione, costituita da uno strato di geotessuto e da una guaina in PVC. Al piede dell'impermeabilizzazione, su ciascun piedritto, si disporrà un tubo microfessurato di presidio per eventuale drenaggio delle acque presenti nell'ammasso.

Le diverse soluzioni progettuali, in termini di tipologia, geometria ed intensità degli interventi di precontenimento e di sostegno dello scavo definiscono le "sezioni di scavo e consolidamento", di seguito descritte.

I criteri di applicazione delle sezioni di scavo e consolidamento sono descritti all'interno delle linee guida [27].

Nei profili geotecnici di progetto a ciascuna tratta omogenea individuata in fase di diagnosi è associata una sezione di scavo, definita come sezione prevalente. Nelle stesse tratte sono indicate anche le sezioni eventuali, legate a possibili e differenti scenari geotecnici previsti in fase progettuale.

9.1.1 Sezione As

La sezione As (tratto con setto a spessore ridotto) è prevista come sezione prevalente nella tratta iniziale di galleria naturale dopo l'imbocco lato Fortezza ed attraversa il Granito di Bressanone a basse coperture elevate. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [27]. Presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase:

- Contenimento al contorno mediante n°10/11 bulloni radiali ad ancoraggio puntuale $\varnothing 24$ lunghezza $L=4,5-6,0$ m); passo longitudinale = 1,50 m, passo trasversale = 1,50 m;
- eventuale contenimento al contorno (lato setto centrale) mediante n°=6 elementi strutturali in VTR di lunghezza $L=6,0$ m, cementati in foro con miscele cementizie; passo longitudinale = 1,50 m, passo trasversale = 1,50 m;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	28 di 69

- consolidamento setto centrale mediante n°=5 bulloni passanti cementati in foro con miscele cementizie e serrati manualmente con chiave dinamometrica (barra Ø32 lunghezza L=3,20 - 5,40 m); passo longitudinale = 1,50 m, passo trasversale = 1,00 m;
- rivestimento di prima fase composto da uno strato al contorno di 0,05+0,1+0,1 m per il binario pari e di 0,05+0,20 m per il binario dispari di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 160 con passo 1,5 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- eventuali 4 (2+2) drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L=30 m, sovrapposizione minima = 10 m, diametro esterno $\Phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT;

Rivestimento definitivo:

- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato, con spessori rispettivamente di 0,60 m e 0,70 m;
- calotta e piedritti in calcestruzzo armato, con spessore di 0,60 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1 – B.P.: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2 – B.P: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 3,0 m, a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3 – B.P: messa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato: 5 cm e messa in opera delle centine;
- Fase 4 – B.P: Realizzazione delle chiodature radiali e degli eventuali infilaggi in VTR secondo le geometrie indicate e messa in opera dello spritz-beton sp: 10 cm;
- Fase 5 – B.D.: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 3,0 m, a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 5 bis – B.P: (quando lo scavo in B.D. avrà raggiunto quello di B.P.) perforazione per l'inserimento delle barre dei bulloni passanti sul setto centrale;
- Fase 6 – B.D.: messa in opera dello spritz-beton sp: 5 cm e messa in opera delle centine. Serraggio manuale con chiave dinamometrica delle barre di armatura dei bulloni passanti con interposizione di piastra metallica di ripartizione sulle piattabande dei profilati di ciascuna centina;
- Fase 7 – B.P: realizzazione di ultimo strato di spritz-beton sp: 10 cm;
- Fase 8 – B.D.: realizzazione delle chiodature radiali secondo le geometrie indicate e messa in opera dello strato finale di spritz-beton sp: 20 cm;
- Fase 9 – B.P: scavo arco rovescio e successivo getto di arco rovescio e murette laterali;
- Fase 10 – B.D.: scavo arco rovescio e successivo getto di arco rovescio e murette laterali;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 29 di 69

- Fase 11 – B.P e B.D.: posa in opera dell'impermeabilizzazione, composta da uno strato di tessuto non tessuto e da un telo in PVC, immediatamente prima del getto del rivestimento definitivo e successiva al completamento del tratto di scavo in cui è prevista l'applicazione della sezione tipo;
- Fase 12 – B.P e B.D.: getto del rivestimento definitivo di calotta e piedritti.

Di seguito riportate:

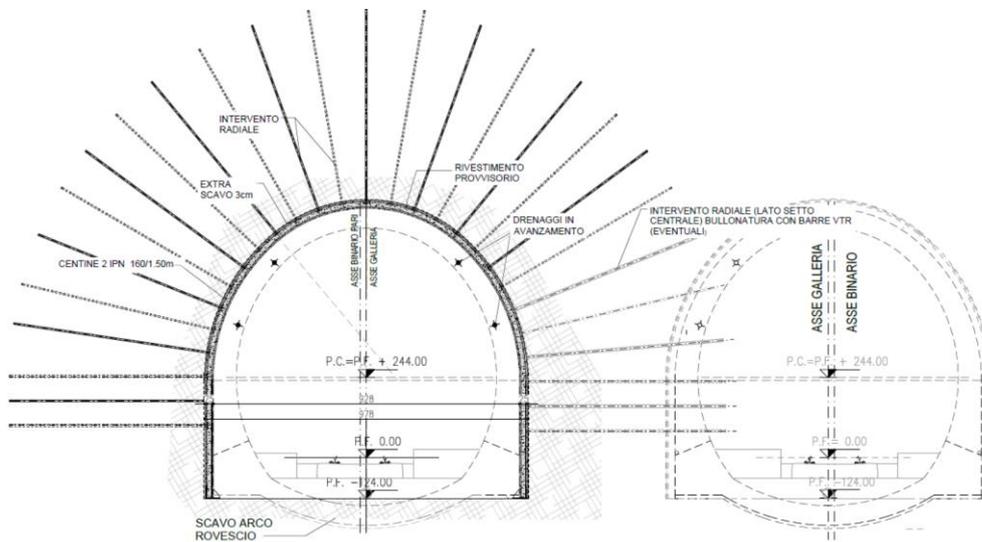


Figura 9-1 Galleria di linea: Sezione As – Fasi esecutive 1/3.

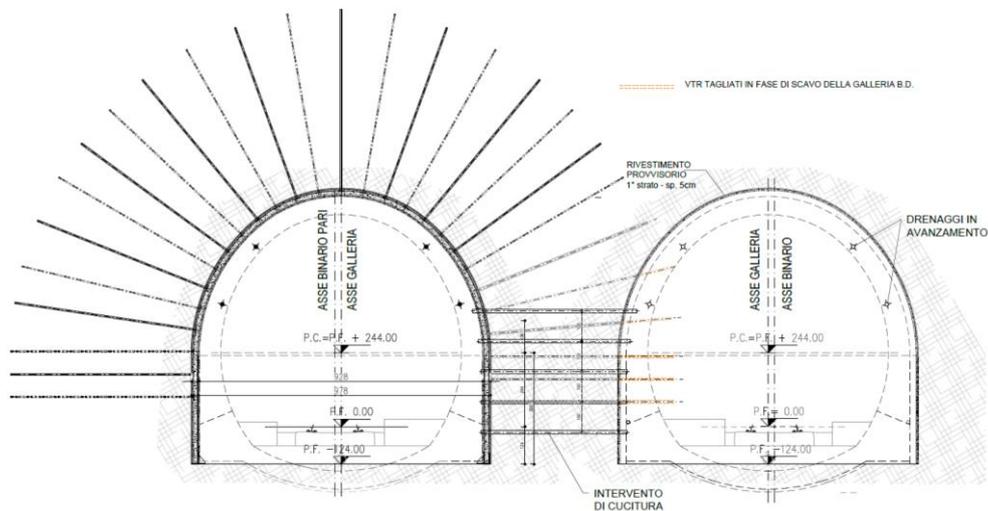


Figura 9-2 Galleria di linea: Sezione As – Fasi esecutive 2/3.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1AEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000010</td> <td>B</td> <td>30 di 69</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	30 di 69
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	30 di 69								

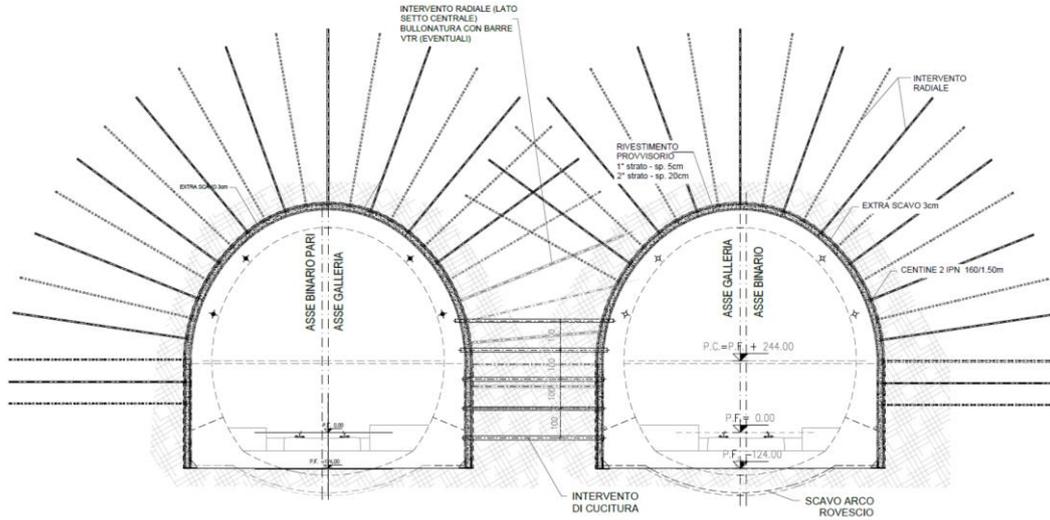


Figura 9-3 Galleria di linea: Sezione As – Fasi esecutive 3/3.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	31 di 69

9.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 (Rif. [1]) e della Circolare 617/2009 (Rif. [2]).

Con riferimento ai rivestimenti provvisori e definitivi, si sottolinea che la classe di resistenza dei calcestruzzi riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della sola modellazione numerica e delle verifiche strutturali (per i rivestimenti definitivi si rimanda alle indicazioni del Capitolato).

Per le caratteristiche dei materiali da adottare per la realizzazione delle opere si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali – note generali" (Rif. [5] e [6]).

Rivestimento di prima fase

Calcestruzzo proiettato fibrorinforzato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{0.85f_{ck}}{1.5} = 14.11 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe minima di sviluppo della resistenza minima a compressione a breve termine	J2
Curva granulometrica degli aggregati di tipo Continuo con diametro massimo di:	10 mm
Classe di consistenza	S5
Classe di assorbimento energetica minima	E700

Acciaio per centine	
Tipo	S 275
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430 \text{ Mpa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275 \text{ Mpa}$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	32 di 69

Bulloni aderenza continua	
Acciaio	B 450 C
Diametro	da 24 mm a 32 mm
Diametro di perforazione	>51 mm

Vetroresina per armatura bulloni di consolidamento	
Tensione di rottura caratteristica a trazione	$f_{frpk} \geq 600 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_{frp} \geq 40000 \text{ Mpa}$
Resistenza di progetto	$f_{frpd} = f_{frpk}/\gamma_{vtr} = 600/1.50 = 400 \text{ MPa}$

Rivestimento definitivo

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} = 14.17 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4
Classe di contenuto in cloruri	CL 0.2
Diametro massimo aggregato	32 mm
Copriferro	5 cm

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B 450 C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima in esercizio	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	33 di 69

9.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO

Nel seguito vengono illustrate le verifiche effettuate. E' stata analizzata la sezione trasversale Sezione 9-9 ritenuta rappresentativa della peggiore condizione in termini di parietalita' in scavo tradizionale (esclusa la zona di imbocco con protesi in cls magro).

Le soluzioni progettuali descritte nel capitolo precedente sono state analizzate per verificarne adeguatezza ed efficacia, con riferimento al modello geotecnico illustrato (§7) e nel rispetto della normativa vigente (Rif. [1] e [2]) anche mediante la sezione tipo 9-9.

Di seguito l'elenco sintetico dell'approccio di calcolo adottato per le verifiche delle sezioni tipo:

- verifiche degli scavi e consolidamenti per la sezione 9-9 mediante modelli FEM con impiego del software Plaxis, nelle seguenti due ipotesi:
 - considerando l'ammasso roccioso come un mezzo continuo equivalente con parametri di resistenza secondo il criterio di rottura alla Mohr-Coulomb; per questa sezione sono stati considerati parametri cautelativi, relativi alle condizioni maggiormente fratturate dei graniti e non sono stati considerati gli incrementi di coesione delle barre VTR previste come eventuali per il rinforzo del setto.
 - considerando l'ammasso roccioso come un mezzo continuo equivalente lineare elastico e modellando la presenza dei giunti di discontinuita' secondo un approccio "ubiquitous joint" (Jointed Rock Model), con parametri di resistenza dei giunti definiti secondo il criterio di rottura alla Mohr-Coulomb; per questa sezione sono stati considerati parametri cautelativi, relativi alle condizioni maggiormente fratturate dei graniti e non sono stati considerati gli incrementi di coesione delle barre VTR previste come eventuali per il rinforzo del setto.
- vengono eseguiti oltre i modelli numerici sopra indicati, anche le verifiche del pre-rivestimento secondo lo scenario di pericolo caduta blocchi mediante il software UnWedge 4.0 (RocScience), visto il riscontro degli scavi della limitrofa galleria di base del Brennero in cui soprattutto per lo scavo all'interno dei graniti di Bressanone e' risultato il principale scenario di rischio per coperture inferiori agli 800 m circa (Rif. [29]). Nell'allegato 1 sono riportate le ipotesi di calcolo e la procedura di verifica adottata.
- i rivestimenti definitivi vengono verificati mediante il software Plaxis considerando i seguenti scenari di carico idraulico:
 - per la sezione tipo As, in analogia al Progetto Definitivo, viene considerata una fase di lungo termine con la presenza di un carico idraulico pari a 20 m simulando l'inefficienza del sistema di drenaggio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	34 di 69

9.3.1 Criteri di verifica

Al fine di dimensionare i rivestimenti di prima fase e i rivestimenti definitivi delle sezioni tipologiche di scavo dell'imbocco nord della galleria di linea Scaleres, sono state condotte diverse analisi numeriche bidimensionali.

Per le verifiche del rivestimento definitivo sono stati inoltre considerati gli spessori minimi, che tengono conto delle tolleranze in fase di costruzione considerate pari a 6 cm per i rivestimenti definitivi armati.

La seguente tabella riassume le principali informazioni delle sezioni tipo della galleria naturale considerate nelle analisi numeriche.

Sezione di calcolo	Sezione tipo adottata	Unità	Pk sez. analisi [km]	H [m]
9-9	As	γ_{bi}	0+566	24

Tabella 9-1 Principali caratteristiche delle sezioni di calcolo analizzate.

I tassi di rilascio da utilizzare nelle analisi numeriche per ciascuna fase di calcolo sono stati ottenuti tramite il metodo di Panet [19].

Stabilità del fronte e del cavo

Si rimanda al cap. 9.3.5.1. Il fronte risulta stabile in assenza di interventi con fattori di sicurezza $\gg 1$.

Interazione opera – terreno

Per quanto riguarda la sezione 9-9, l'interazione opera – terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche agli elementi finiti (FEM: *finite element method*), utilizzando il codice di calcolo Plaxis2D (Versione 2022) sviluppato dalla Bentley Systems. Tale codice permette di analizzare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi, in campo bidimensionale o assialsimmetrico, in equilibrio con le condizioni al contorno imposte e compatibilmente con le leggi costitutive adottate per i materiali, sia in campo statico che dinamico. Le analisi possono essere inoltre condotte in condizioni di flusso idraulico, in modalità accoppiata o con pressioni neutre preventivamente fissate.

Nell'ambito delle analisi condotte per le gallerie in esame, sono state adottate leggi costitutive di tipo elastico lineare per le strutture e leggi elastiche perfettamente-plastiche con criterio di resistenza alla Mohr-Coulomb (M-C) per le zone di terreno naturale e i giunti (Jointed Rock Model, J-R).

Il comportamento del sistema opera – terreno è stato analizzato nelle diverse fasi costruttive fino alla configurazione finale e in condizioni di esercizio. Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo al contorno dello scavo e dei carichi attesi sui sostegni provvisori e sui rivestimenti definitivi. Le analisi consentono di verificare:

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno;

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IB0U</td> <td style="text-align: center;">1AEZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">GN0000010</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">35 di 69</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1AEZZ	RH	GN0000010	B	35 di 69
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1AEZZ	RH	GN0000010	B	35 di 69													
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto																		

- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio per il rivestimento definitivo.

Per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi di interazione opera – terreno sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, applicando i coefficienti parziali all'effetto delle azioni, adottando l'Approccio1 – Combinazione 1, con $R1 = 1$. Con la combinazione dei carichi fondamentali si è proceduto secondo questo schema:

- Verifiche SLU interventi di stabilizzazione: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni;
- Verifiche SLU rivestimento di prima fase: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni;
- Verifiche SLU rivestimento di definitivo: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni.

Per la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni in esercizio, secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008 (Rif. [1]) e Circolare n. 617 (Rif. [2]).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 36 di 69	

9.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, in accordo con le indicazioni del DM 14/01/2008, sono stati individuati i parametri caratteristici appropriati per gli stati limite considerati nella verifica delle opere in sotterraneo.

Le seguenti tabelle riassumono i parametri geotecnici adottati per i calcoli di dimensionamento della sezione 9-9, in funzione della sezione tipologica di scavo adottata. Il livello della falda è stato assunto inizialmente alla base del modello numerico al fine di evitare lo sviluppo di sovrappressioni interstiziali durante le fasi di realizzazione dell'opera e di normale esecuzione. Inoltre, per ogni analisi, è stata implementata una fase finale in cui il livello della falda è stato imposto 20 m al di sopra della calotta al fine di simulare lo sviluppo di sovrappressioni nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

Sezione di calcolo	H [m]	GSI [-]	K_0 [-]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	E_k [MPa]	Carico idraulico [m]	Modelli di calcolo
9-9	24	40	0.9	27	289	55	2300	20	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D

Tabella 9-2 Parametri geotecnici di calcolo (M-C model).

Sezione di calcolo	Famiglia di giunti	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	ψ_k [°]	σ_{tk} [kPa]	Modelli di calcolo
9-9	K1 (288°/75°) K2 (068°/69°)	200	35	7	57	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D Verifica pre-rivestimento mediante analisi a blocchi con software UnWedge

Tabella 9-3 Parametri geotecnici di calcolo (J-R model).

9.3.3 Modelli numerici per analisi tensio-deformative agli elementi finiti

Le analisi numeriche per lo studio della deformazione e delle sollecitazioni indotte sugli elementi strutturali per la sezione 9-9 sono state eseguite con il codice agli elementi finiti PLAXIS 2D (versione 2018) che permette di simulare i tipici problemi di Ingegneria Geotecnica, e quindi anche lo studio delle gallerie, attraverso modelli in condizione di deformazione piana o di assialsimmetria.

Un modello in condizione di deformazione piana (*plain strain*) viene utilizzato per analizzare il comportamento della galleria nella sua sezione trasversale all'asse, assumendo deformazioni nulle nella direzione longitudinale (direzione z). Un esempio di modello *plain strain* è mostrato in Figura 9-4.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 37 di 69

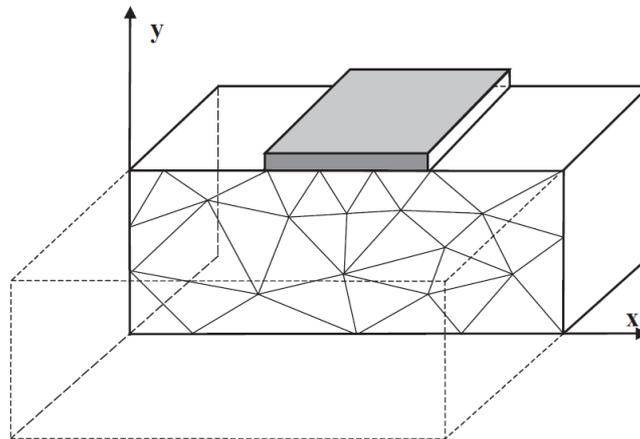


Figura 9-4 Esempio di modello in condizione di deformazione piana.

Secondo il metodo degli elementi finiti un continuo è diviso in un numero di elementi ed ogni elemento è costituito da un numero di nodi. In particolare, si è considerato nelle analisi un elemento triangolare a 15 nodi, che permette di ottenere risultati molto accurati. Tale elemento fornisce un'interpolazione di quarto ordine per gli spostamenti e l'integrazione numerica coinvolge dodici punti Gauss.

Il metodo agli elementi finiti permette di risolvere, noto il legame costitutivo, le equazioni di equilibrio e congruenza nel rispetto delle condizioni al contorno. In particolare, l'equilibrio statico di un continuo può essere formulato secondo l'equazione:

$$\underline{\underline{L}}^T \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{b}} = \underline{\underline{0}}$$

Questa equazione mette in relazione le derivate spaziali delle sei componenti di sforzo, assemblate nel vettore $\underline{\underline{\sigma}}$, alle tre componenti delle forze di volume, assemblate nel vettore $\underline{\underline{b}}$. $\underline{\underline{L}}^T$ è la trasposta di un operatore differenziale, definito secondo l'equazione:

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Le equazioni di congruenza possono essere formulate secondo l'espressione:

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{L}} \underline{\underline{u}}$$

Questa equazione esprime le sei componenti di deformazione, assemblate nel vettore $\underline{\underline{\varepsilon}}$, quali derivate spaziali delle tre componenti di spostamento, assemblate nel vettore $\underline{\underline{u}}$, utilizzando l'operatore differenziale $\underline{\underline{L}}$ precedentemente definito. Il legame tra le equazioni di equilibrio e di congruenza è formato da una relazione costitutiva che rappresenta il comportamento del materiale. L'espressione generale delle possibili relazioni costitutive è rappresentata dall'equazione:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 38 di 69	

$$\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{M}} \underline{\underline{\varepsilon}}$$

9.3.4 Ipotesi di calcolo

Per la sezione 9-9 sono state eseguite in sequenza la determinazione della stabilità del fronte secondo quanto descritto al §8.2.1 e l'analisi numerica relativa ad una sezione trasversale in condizioni di deformazione piana ma adottando la reale geometria dello scavo e dello stato di sforzo e simulando anche lo scavo della galleria adiacente. Il tasso di rilascio corrispondente alla convergenza valutata tramite il metodo di Panet per basse coperture permette di tenere conto in maniera semplificata in un'analisi piana del progressivo avanzamento del fronte di scavo.

Un esempio di modello numerico è mostrato in Figura 9-6, dove si evincono le condizioni al contorno introdotte in termini di carrelli ai bordi laterali e di cerniere al bordo inferiore.

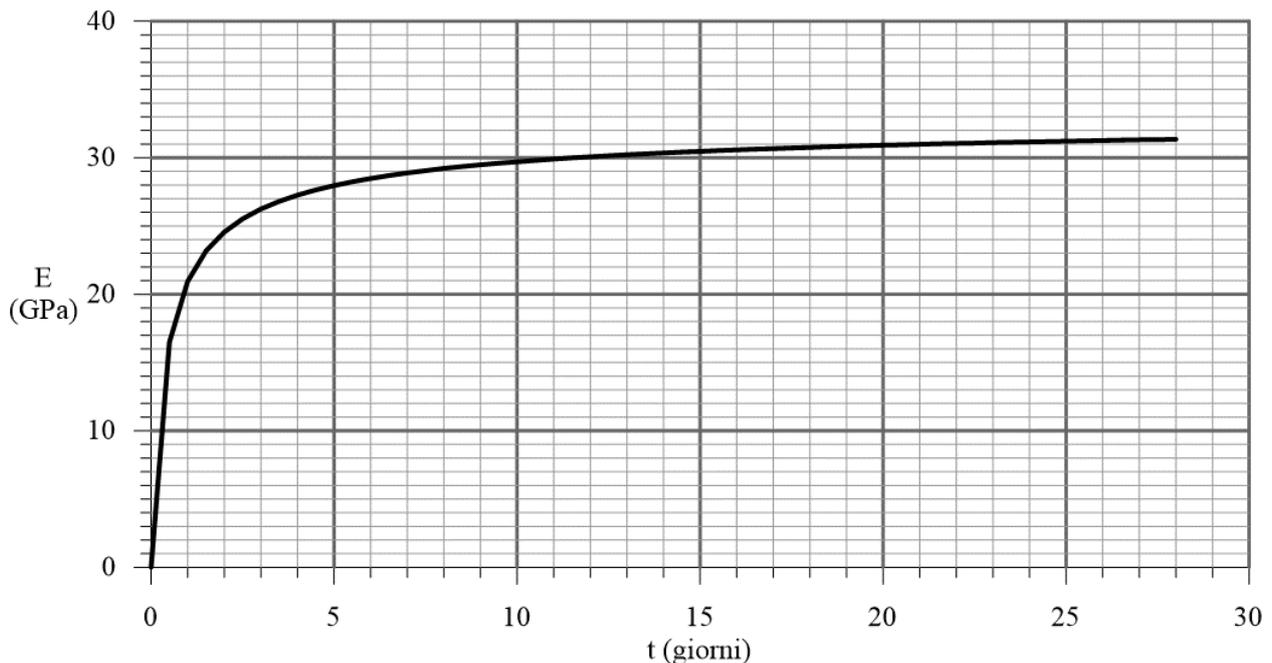


Figura 9-5 Evoluzione del modulo di Young dello spritz-beton nel tempo.

La sezione di scavo, riprodotta in maniera realistica, fa riferimento alla mezzeria del rivestimento definitivo, avendo modellato sia il rivestimento di prima fase sia quello definitivo attraverso degli elementi *plate*, privi di spessore (Figura 9-7). Per il rivestimento di prima fase, le caratteristiche degli elementi *plate* sono state valutate attraverso le seguenti equazioni tenendo opportunamente conto del numero di centine dove accoppiate:

$$(EA)_{eq} = E_{spritz} \left(s_{spritz} + \frac{E_{centine}}{E_{spritz}} \frac{A_{centine}}{d_{centine}} \right)$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 39 di 69

$$(EI)_{eq} = E_{spritz} \left(\frac{d_{spritz}^3}{12} + \frac{E_{centine}}{E_{spritz}} \frac{I_{centine}}{d_{centine}} \right)$$

Le caratteristiche meccaniche del rivestimento di prima sono state definite considerando la dipendenza del modulo di Young dal tempo di maturazione viste le distanze dal fronte di installazione del rivestimento definitivo significativamente ridotte alle altre sezioni tipo. La curva che esprime la correlazione E-tempo è mostrata in Figura 9-5. In particolare, è stato assunto E pari a 5 GPa per le fasi in cui è presente il solo rivestimento di prima fase e pari a 20 GPa per le fasi in cui è attivato il rivestimento definitivo per arco rovescio e murette.

I tassi di rilascio adottati per il pre-rivestimento sono stati valutati attraverso il metodo di Panet.

I valori del tasso di rilascio adottati per il rivestimento definitivo tengono conto della possibilità che tali elementi strutturali siano installati a distanze dal fronte tali ancora da risentire dell'effetto di rilascio dovuto allo scavo, altrimenti nullo alle massime distanze di installazione previste per le sezioni tipo.

Le verifiche strutturali sono presentate nel paragrafo 9.7.

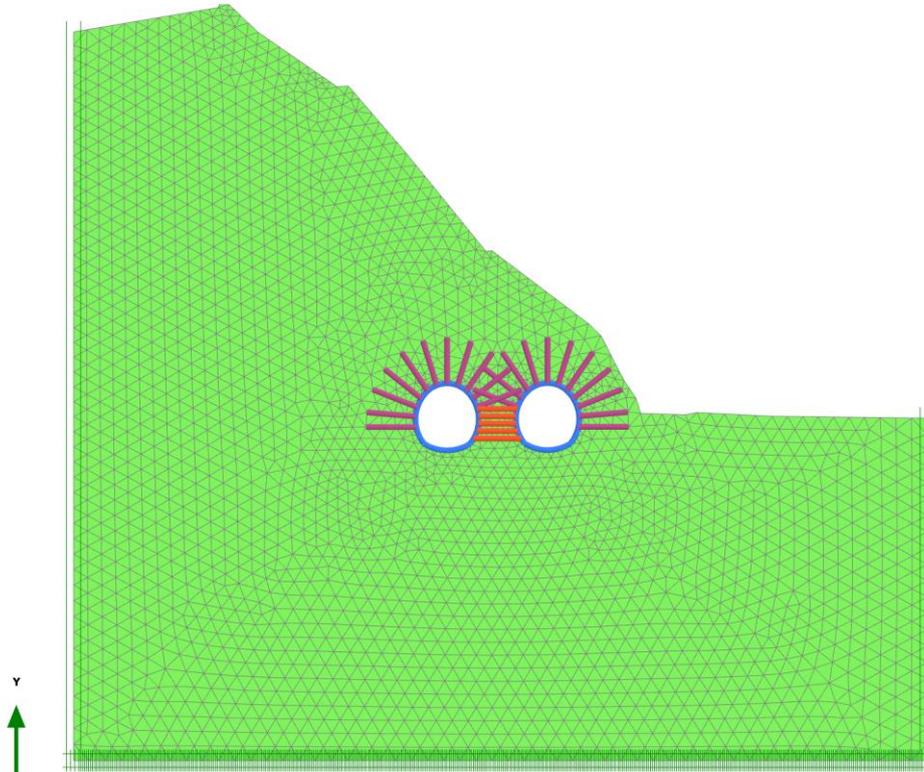


Figura 9-6 Esempio di modello numerico in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 40 di 69

In figura, D rappresenta il diametro equivalente dello scavo.

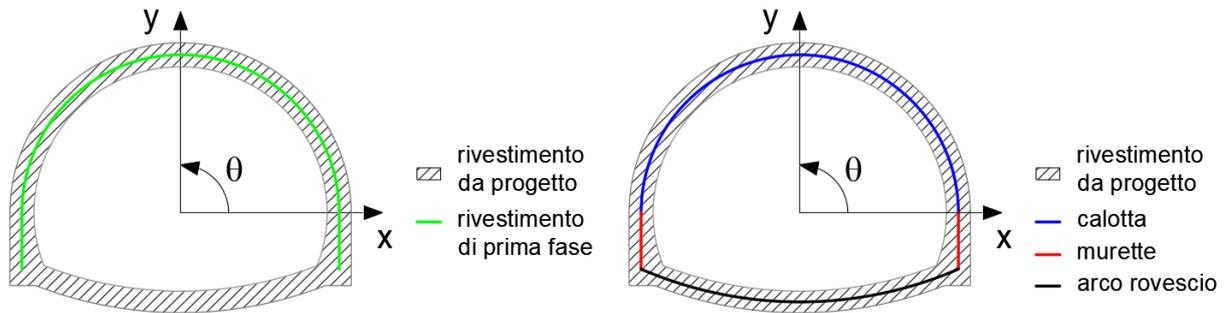


Figura 9-7 Geometria tipo del rivestimento di prima fase e definitivo e particolare del modello numerico relativo agli elementi strutturali.

9.3.5 Sezione As

9.3.5.1. Analisi all'equilibrio limite di Tamez

Per la definizione della sezione di analisi As si rimanda al §9.1.1

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo As eseguita con il metodo all'equilibrio limite di Tamez.

Sez di calcolo	Req (m)	H [m]	h_w [m]	σ_o [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{dp} [MPa]	φ'_{dp} [°]	E_d [MPa]
As	5.08	24	-	0.648	-	-	-	27	0.231	48.8	2300

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_o = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

In tabella si riportano quindi i parametri caratteristici equivalenti del terreno al fronte di scavo ed al di sopra della calotta, calcolati per omogeneizzazione sulla base della stratigrafia di calcolo e dell'effetto dei consolidamenti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 41 di 69

Parametri equivalenti al fronte			Parametri equivalenti sulla calotta		
$\gamma_{k,eq}$	$c'_{k,eq}$	$\varphi'_{k,eq}$	$\gamma_{k,eq}$	$c'_{k,eq}$	$\varphi'_{k,eq}$
[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]
27,00	289	55	27,00	289	55

Tabella 9-4 Parametri di resistenza al fronte ed al contorno.

Utilizzando il metodo all'equilibrio limite di Tamez (1984), si ottengono i valori del rapporto tra le azioni stabilizzanti e le azioni agenti al cavo ed al fronte (FSF e FS₃ rispettivamente) riportati nella seguente tabella. Si fa riferimento ad uno scavo di raggio 5,08 m e lunghezza del tratto non sostenuto a pari a 1 m. Con i consolidamenti previsti, la verifica pertanto risulta soddisfatta per la sezione cui in fase di diagnosi era associato un comportamento del nucleo-fronte instabile.

Sez. di calcolo	h ₁	FSF	FS ₃
	[m]	[-]	[-]
As	4,4	5,01	>>1

Tabella 9-5 Risultati dell'analisi di stabilità.

9.3.5.2. Interazione opera – terreno (Sezione 9-9)

Il valore del rilassamento deve essere tarato in modo tale da non generare eccessive convergenze e fenomeni di instabilità al piede delle centine, così da simulare la necessità dell'effetto di contenimento del getto corrispondente all'ipotesi di realizzazione a distanza ridotta dal fronte di scavo. Tale valore viene valutato in funzione della distanza dal fronte, secondo la formulazione di Panet & Guenot (1982).

In Figura 9-8 è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello.

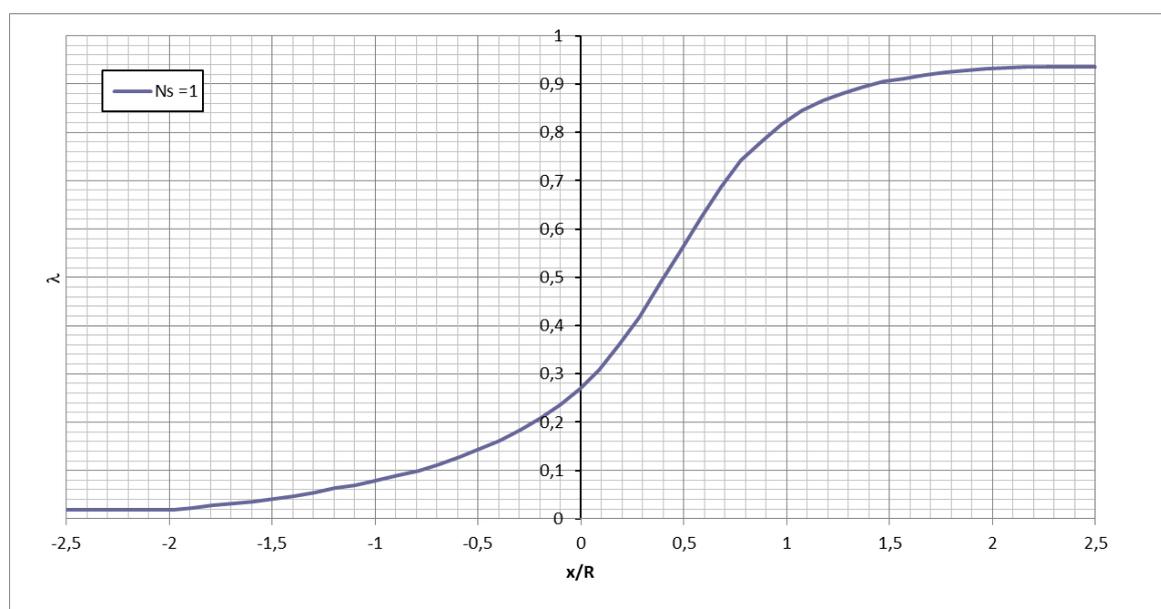


Figura 9-8 Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo As

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B 42 di 69

La tabella seguente riassume i tassi di rilascio ottenuti e adottati nelle analisi numeriche per la Sezione Tipologica in esame nelle varie fasi di analisi.

Fase (#)	Descrizione (-)	λ (-)
0	Initial	-
1	Scavo tunnel DX (x=0m)	0.27
2	Scavo tunnel DX (x=3m)	0.63
3	Rivestimento prima fase canna DX e attivazione chiodatura radiale (x=6m)	0.87
4	Scavo tunnel SX (x=0m)	0.27
5	Scavo tunnel SX (x=3m)	0.63
6	Rivestimento prima fase canna SX e attivazione chiodatura radiale (x=6m)	0.87
7	Attivazione barre di cucitura	1.00
8	Arco rovescio canna SX	1.00
9	Completamento rivestimento definitivo canna SX	1.00
10	Rivestimento definitivo canna DX	1.00
11	Lungo Termine	-

Tabella 9-6 Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la Sezione Tipo As

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 9-9.

La seguente tabella riassume le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

Sostegni								
Sezione tipo	Sfondo max [m]	Extrascavo [cm]	Spritz-beton	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
As	3.00	3.0	5+20 cm fibro	10/11 bulloni $\varnothing 24$ L = 6m p long 1.5m x p trasv 1.5m	5 bulloni $\varnothing 32$ L var 3.2-5.4 m p long 1.5m x p trasv 1.0m	5 cm SB fibro	2 IPN 160, p=1.5 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrap. Min. 10 m)

Tabella 9-7 Sostegni Sezione Tipo As

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 43 di 69

La seguente tabella riassume le caratteristiche del rivestimento definitivo considerato nella modellazione.

	Rivestimento definitivo				
Sezione tipo	Distanza vincolata arco rovescio	Distanza vincolata volta	Arco rovescio	Murette	Volta
As	no	no	60 cm, armato 60 kg/m ³	60 cm, armato 70 kg/m ³	60 cm, armato 70 kg/m ³

Tabella 9-8 Rivestimento definitivo Sezione Tipo As

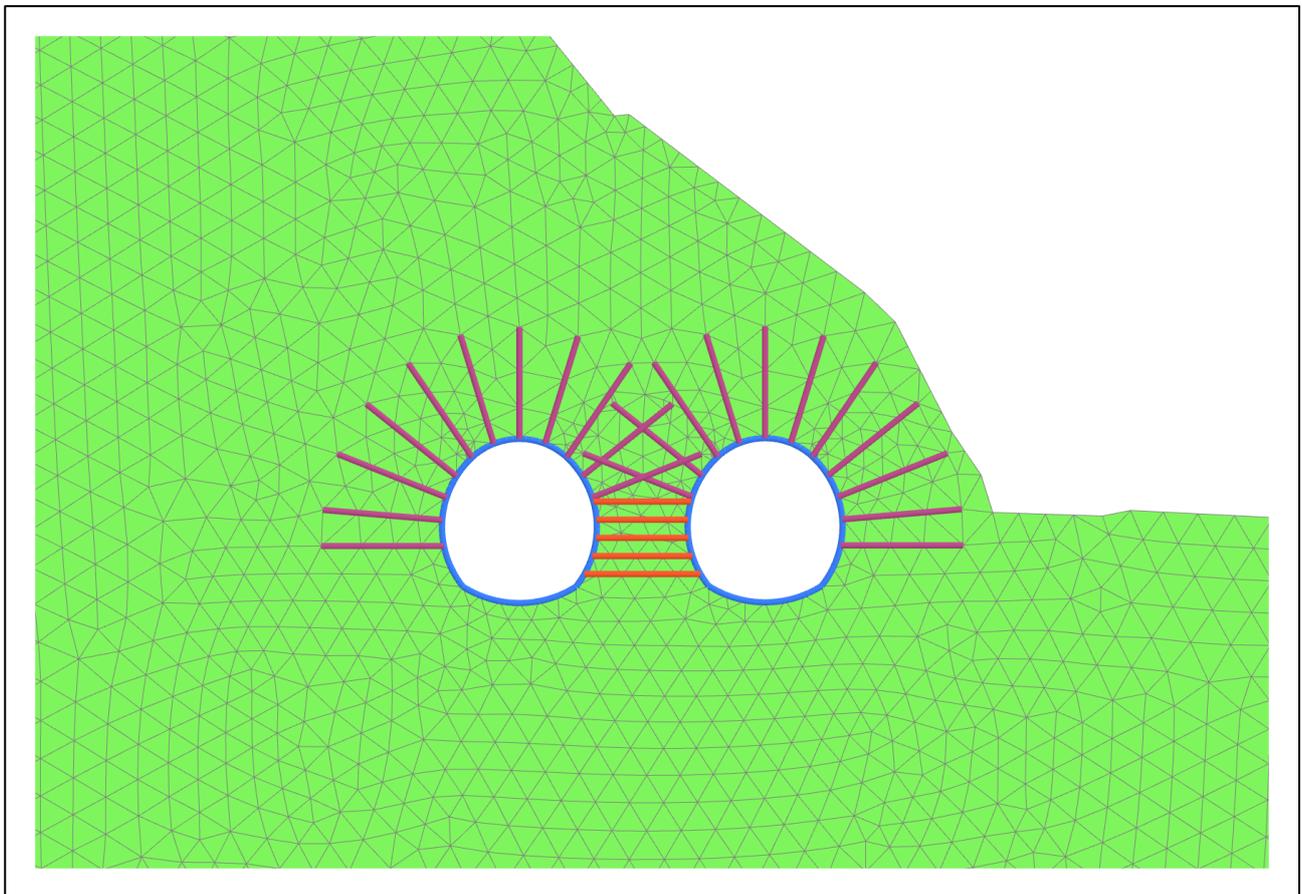


Figura 9-9 Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali

Le seguenti figure rappresentano i risultati ottenuti in termini di spostamento e sollecitazione negli elementi strutturali dai due modelli, M-C e J-R. Come si può osservare, i due modelli forniscono risultati molto simili. Per la verifica degli elementi strutturali, si sono considerate le sollecitazioni più gravose fra quelle ottenute dai due modelli.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 44 di 69

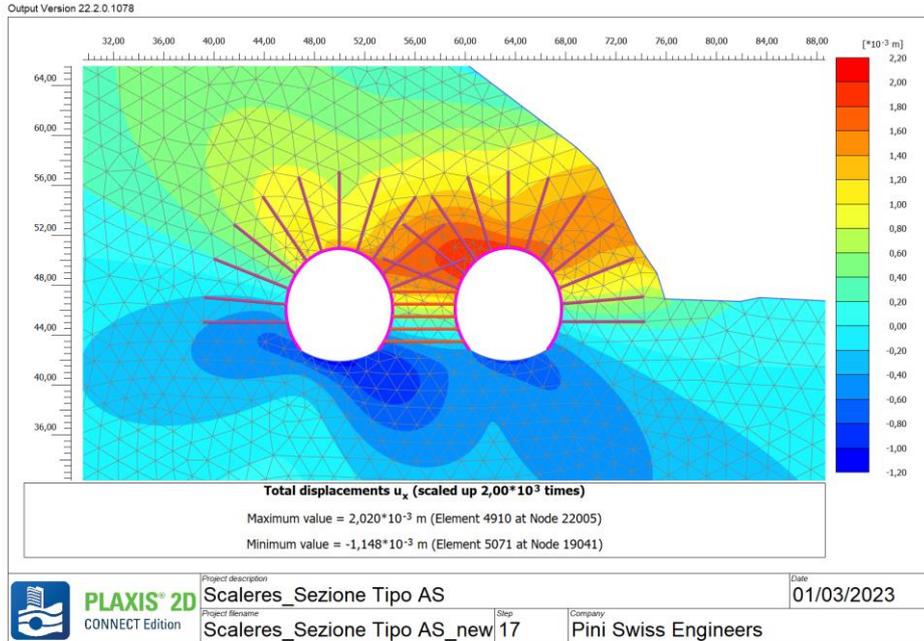


Figura 9-10 Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo As (M-C model)

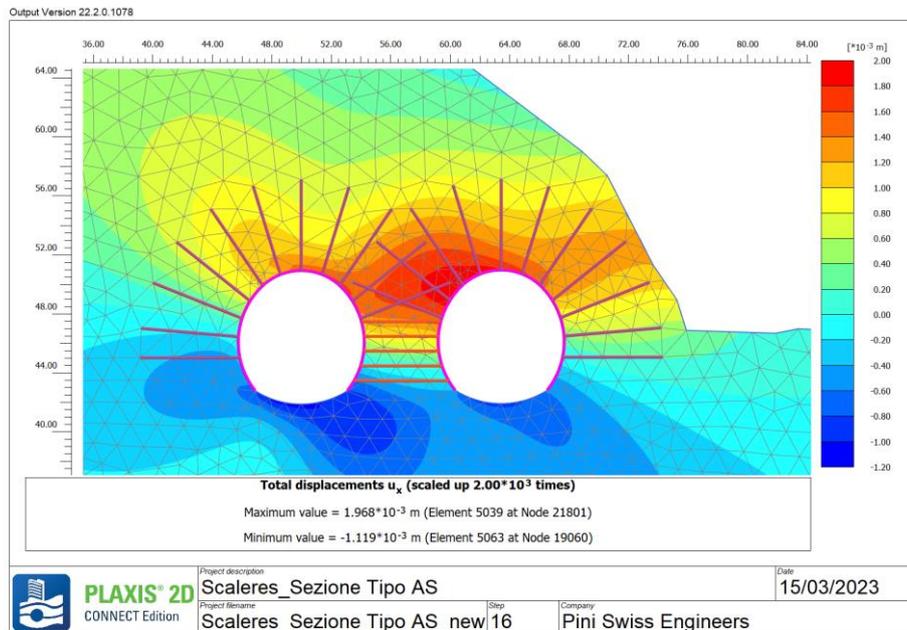


Figura 9-11 Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 45 di 69

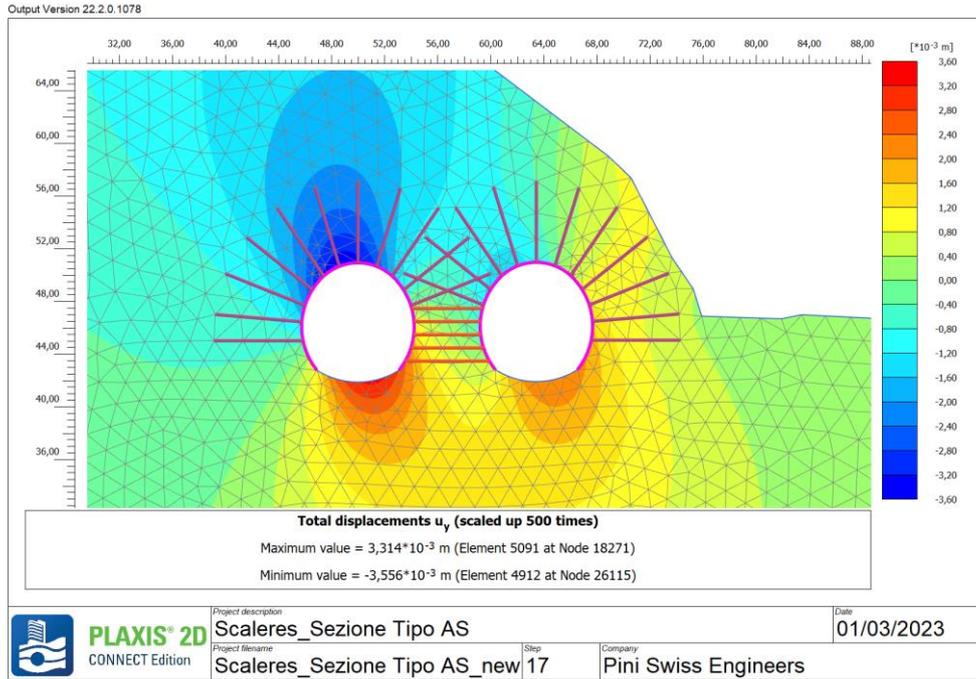


Figura 9-12 Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo As (M-C model)

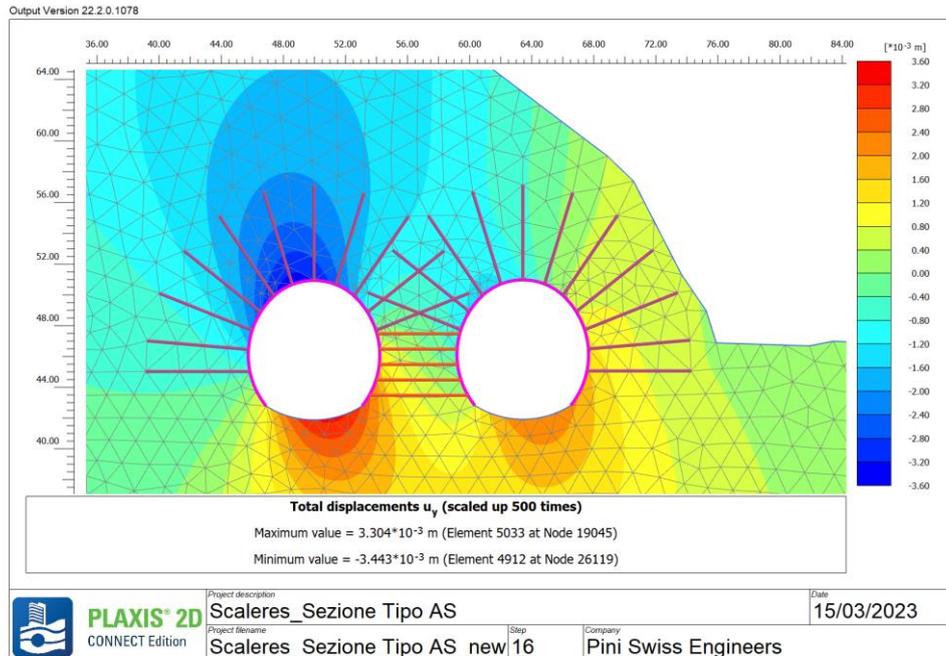


Figura 9-13 Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 46 di 69

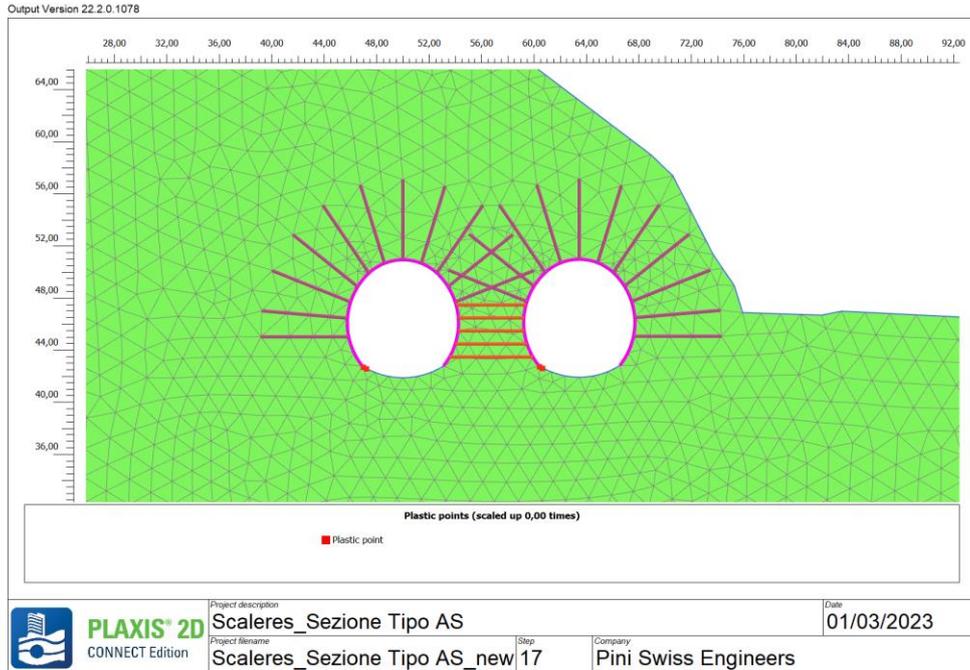


Figura 9-14 Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo As (M-C model)

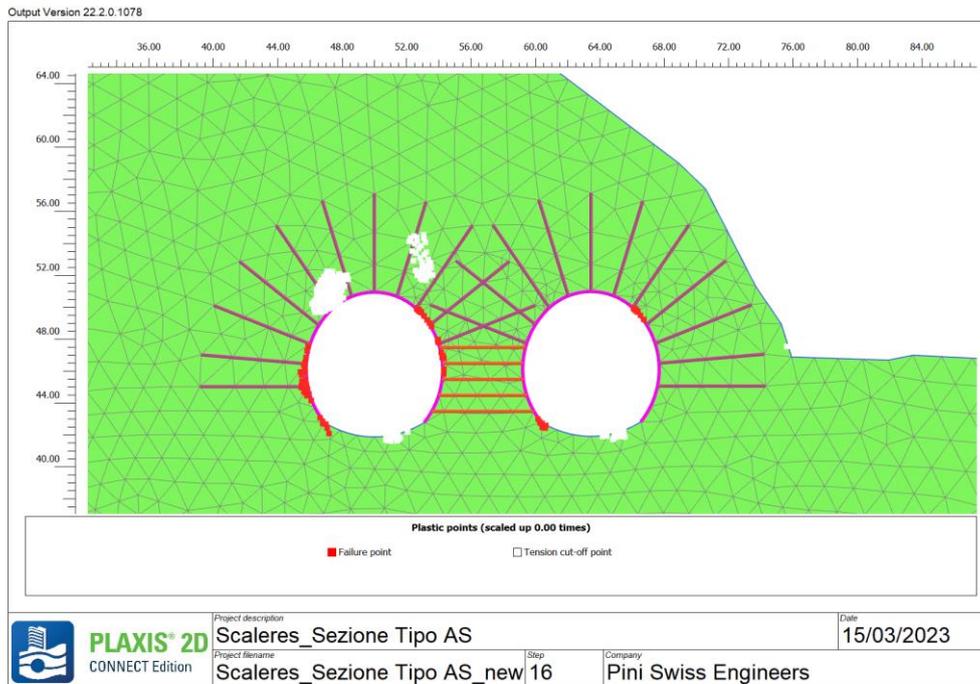


Figura 9-15 Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 47 di 69

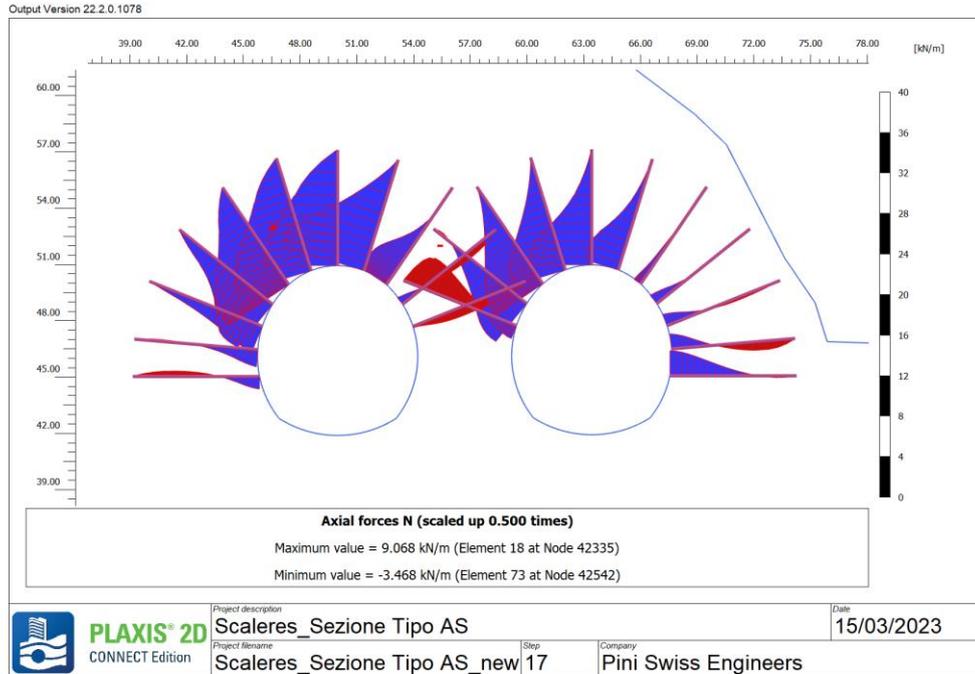


Figura 9-16 Sforzo normale agente nei bulloni radiali - Sezione Tipo As (M-C model)

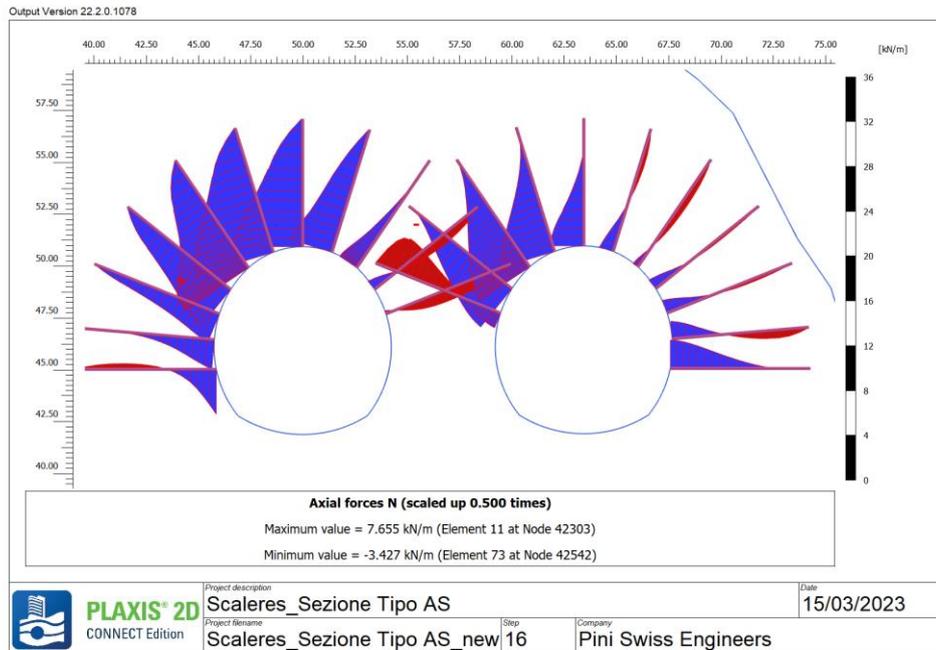


Figura 9-17 Sforzo normale agente nei bulloni radiali - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 48 di 69

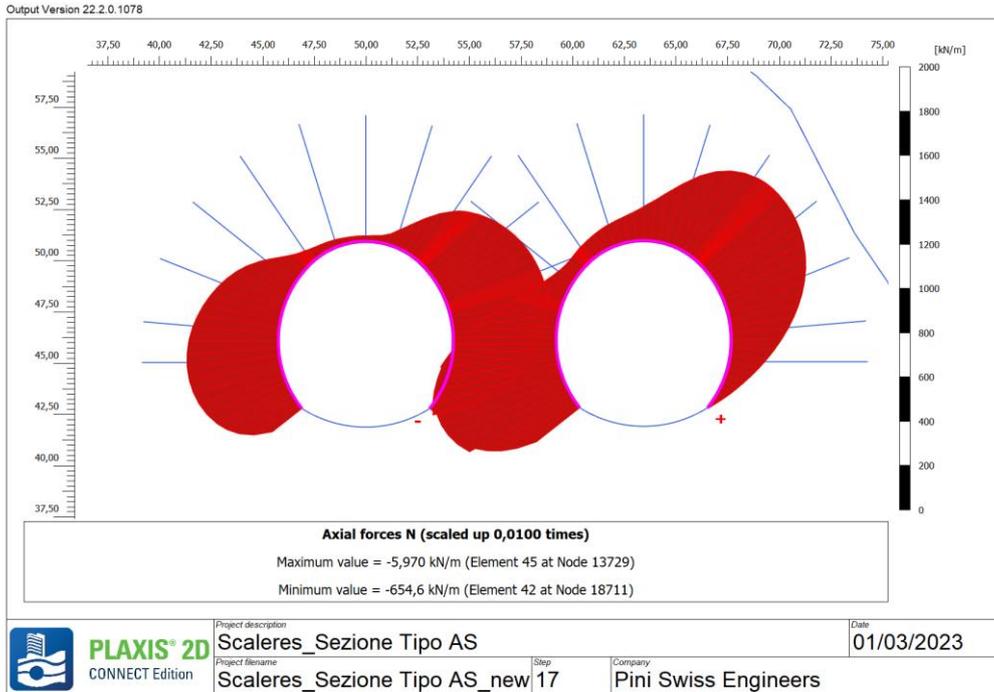


Figura 9-18 Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (M-C model)

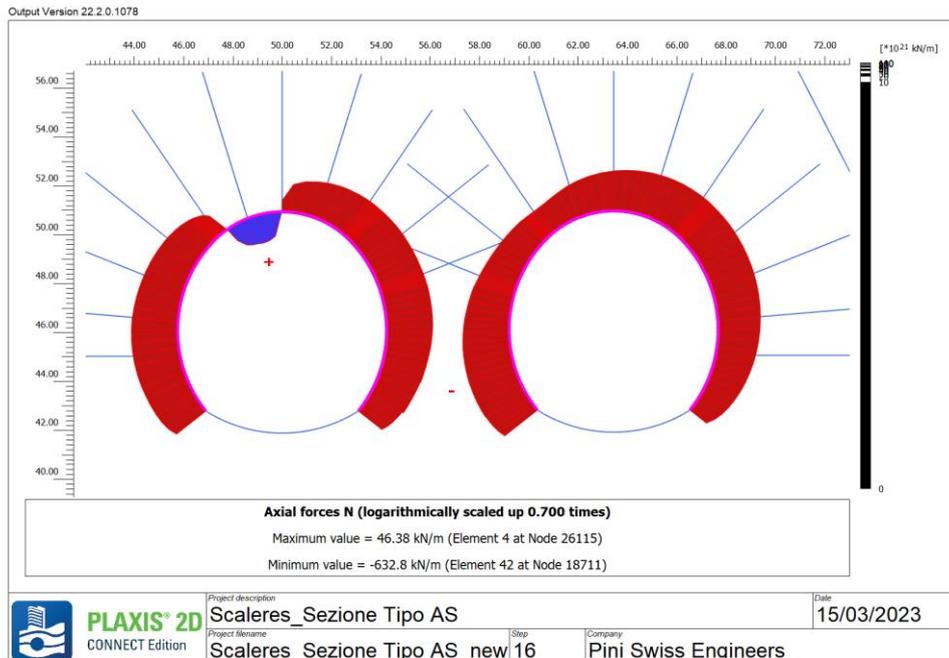


Figura 9-19 Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 49 di 69

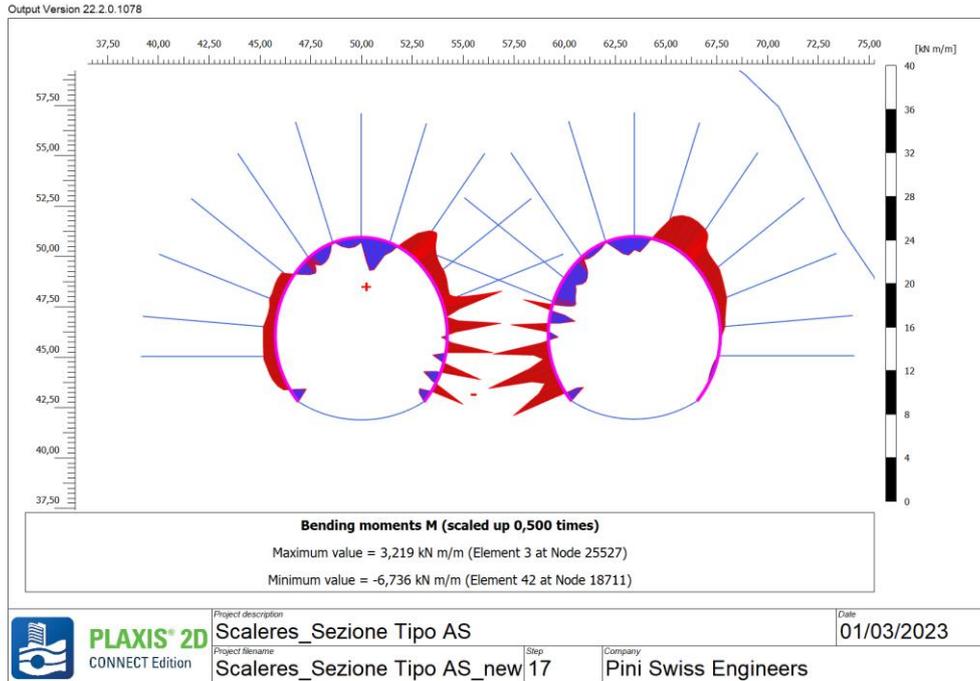


Figura 9-20 Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (M-C model)

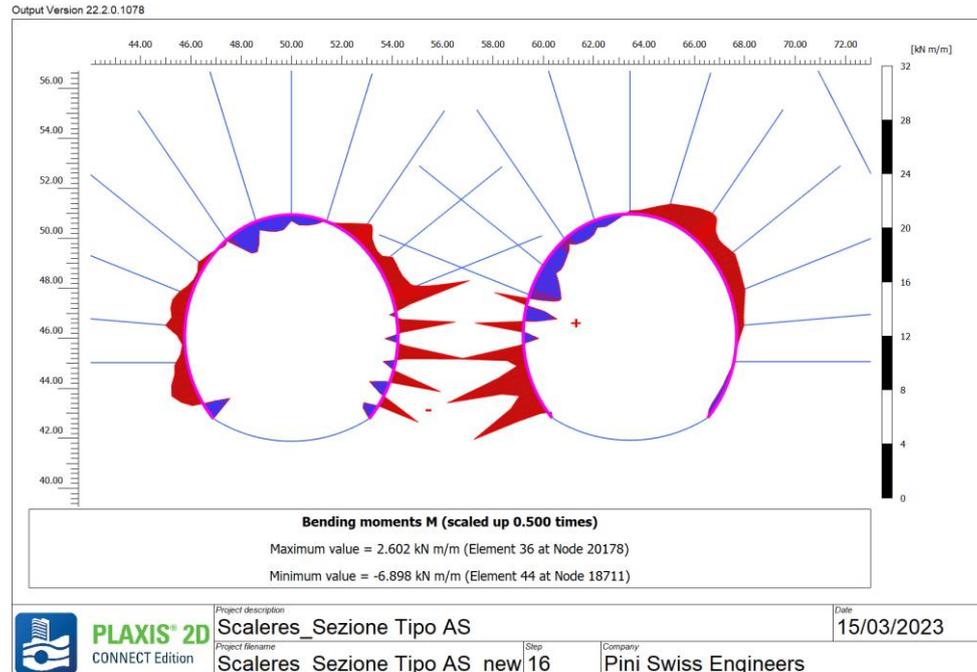


Figura 9-21 Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 50 di 69

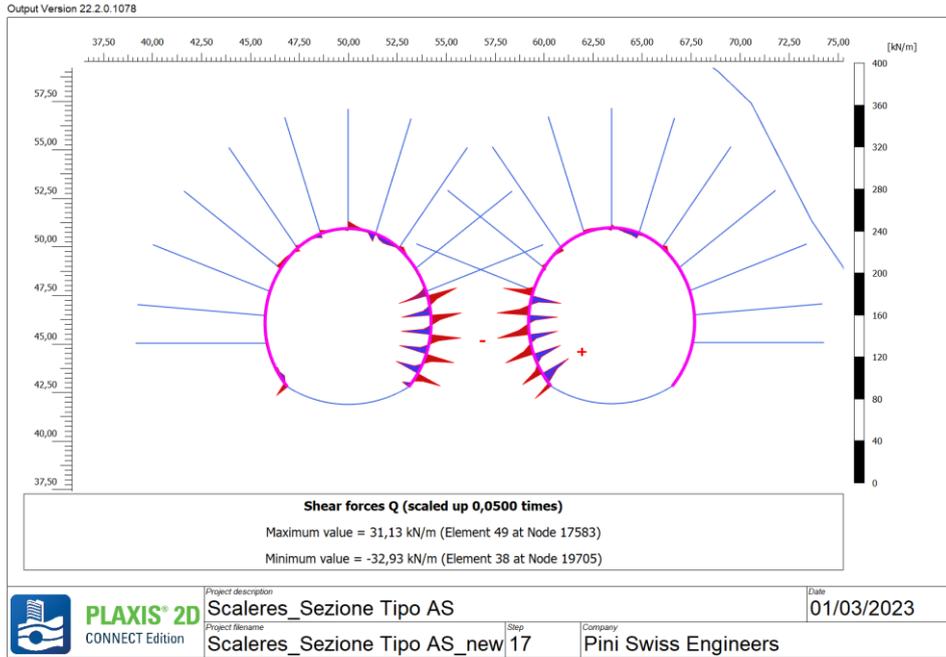


Figura 9-22 Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (M-C model)

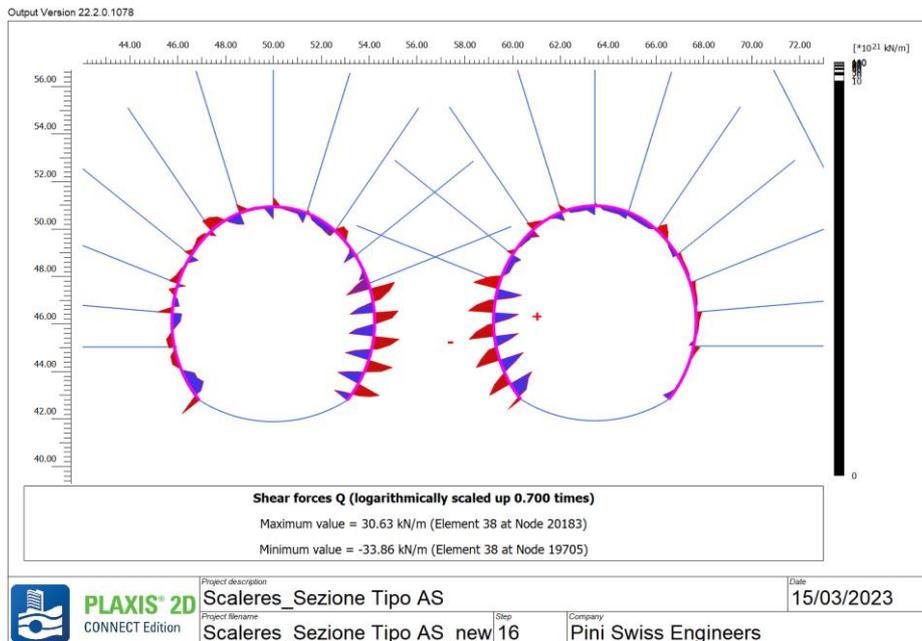


Figura 9-23 Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 51 di 69

Le seguenti figure rappresentano i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento definitivo.

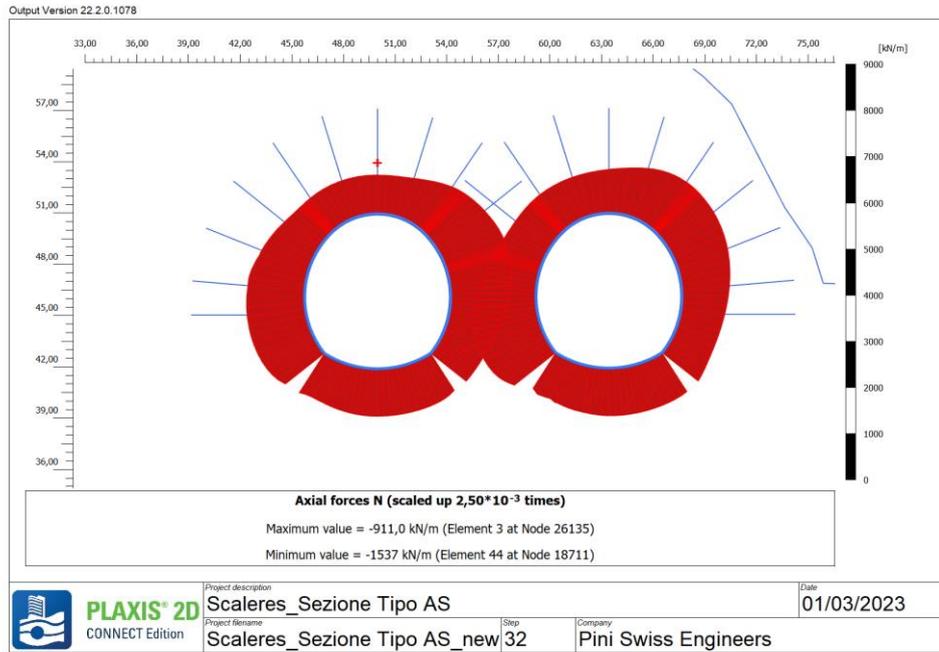


Figura 9-24 Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (M-C model)

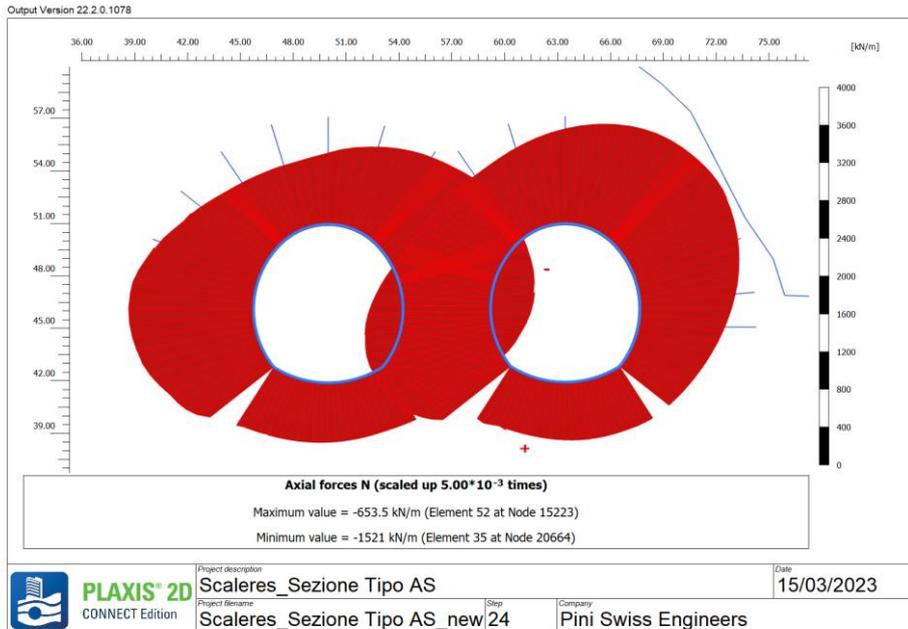


Figura 9-25 Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 52 di 69

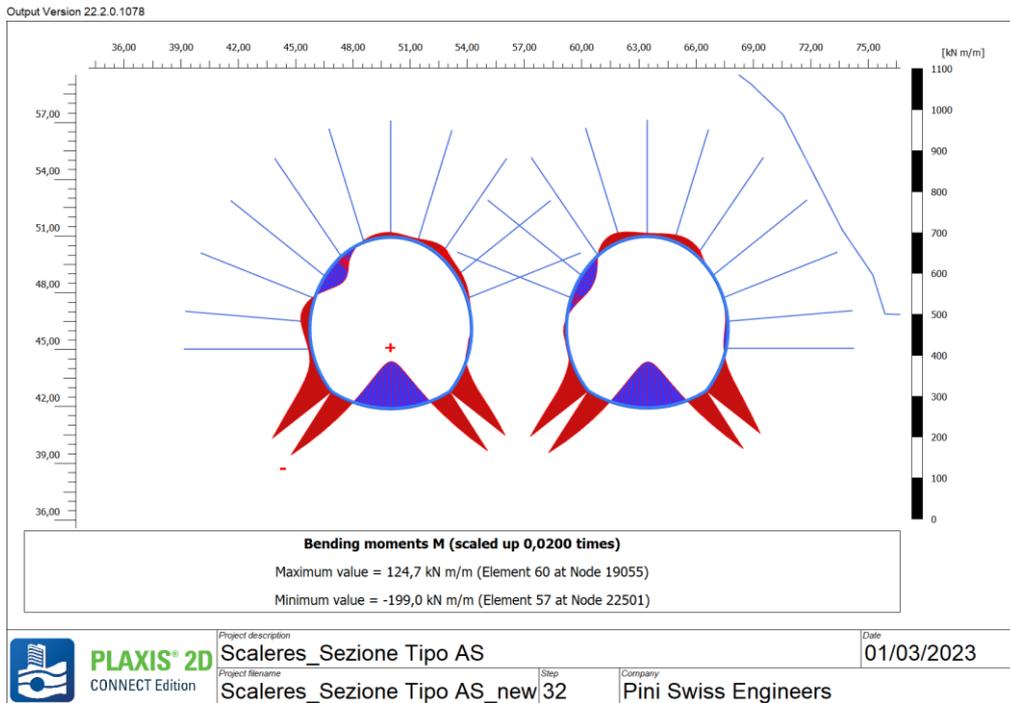


Figura 9-26 Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (M-C model)

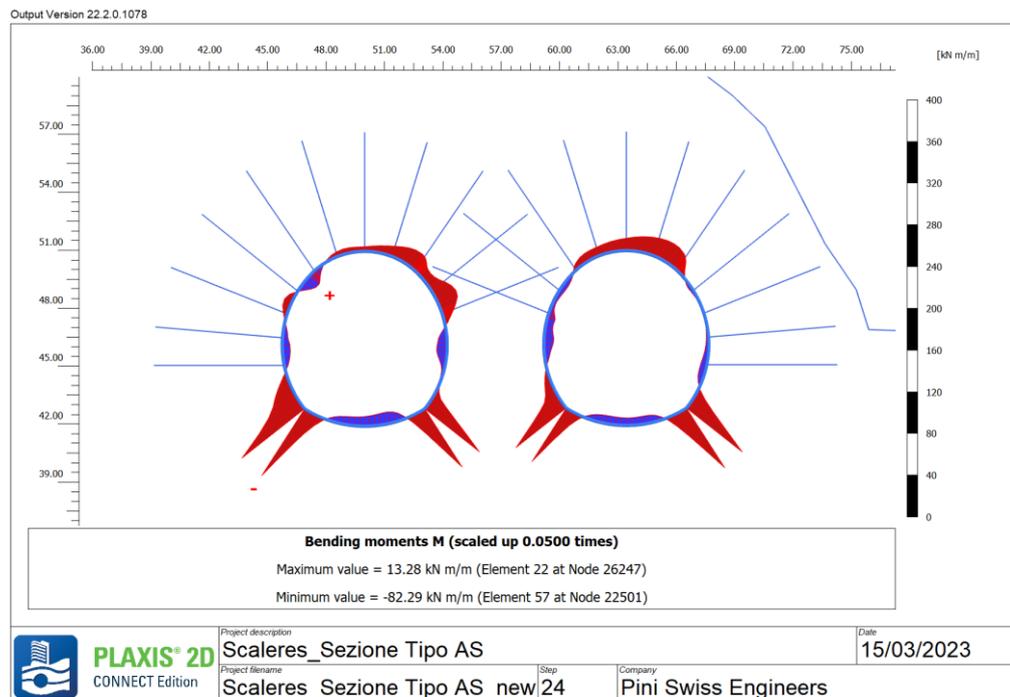


Figura 9-27 Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 53 di 69

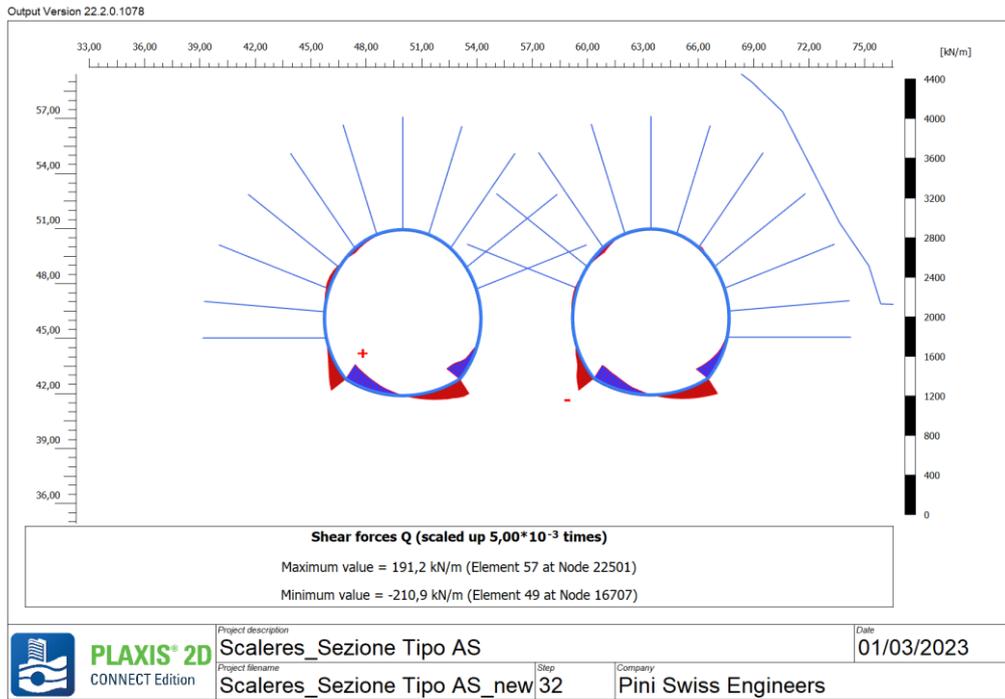


Figura 9-28 Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (M-C model)

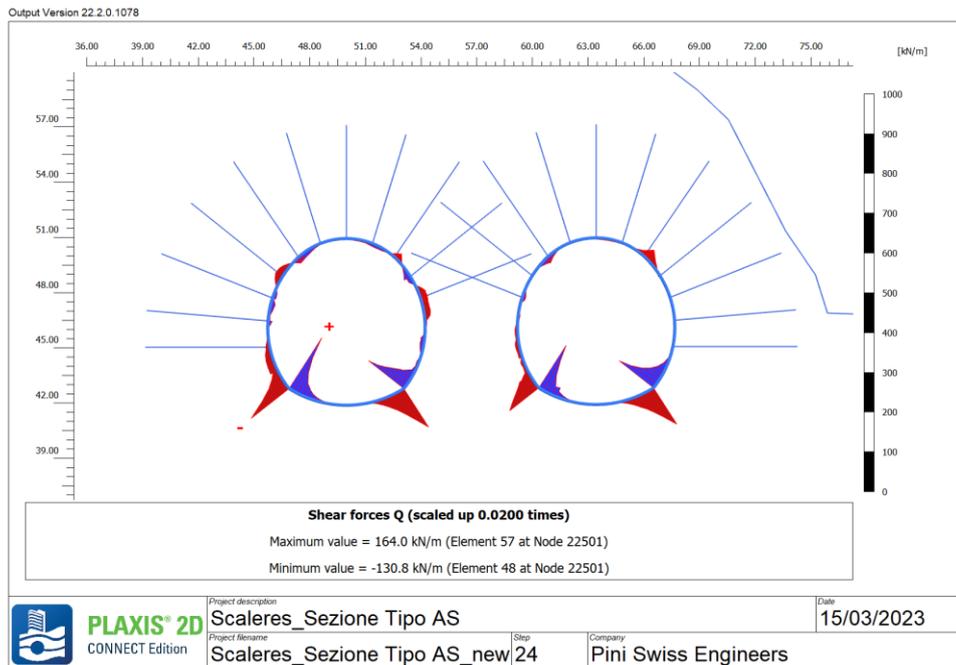


Figura 9-29 Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo As (J-R model)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 54 di 69

9.4 VERIFICHE DEGLI INTERVENTI RADIALI

9.4.1 Sezione As

La sintesi di tali verifiche per la Sezione Tipo As è riportata nella seguente tabella, nella quale si è considerato il massimo valore calcolato negli elementi pari a $9.1 \text{ kN/m} \times 1.5 \text{ m} = 13.6 \text{ kN}$.

Intervento radiale Sezione Tipo As			
combinazione A1+M1+R3			
sforzo assiale caratteristico	N_k	13,6	[kN]
coefficiente di sicurezza parziale	γ_F	1,3	[-]
sforzo assiale di calcolo	N_{Ed}	17,7	[kN]
Caratteristiche dei materiali			
malta			
Classe C20/25	R_{ck}	25	[kPa]
bulloni $\phi 24$			
diametro della barra	ϕ	24	[mm]
area della barra	A	452	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	450	[Mpa]
diametro della perforazione	D	60	[mm]
lunghezza tratto ancorato	L	6	[m]
tensione di aderenza malta/roccia	τ_{ad}	0,25	[Mpa]
coefficiente maggiorativo	α	1,1	[-]

Verifica a trazione

$$N_d \leq T_d = \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_s}$$

azione assiale di calcolo	N_d	17,7	[kN]
coefficiente di sicurezza acciaio	γ_s	1,15	[-]
azione assiale di snervamento	T_d	177	[kN]
verifica a trazione	ok		

Verifica a sfilamento

$$N_d \leq R_{ad} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ad} \cdot L}{\gamma_{Rat} \cdot \varepsilon_{a3}}$$

tipo elemento	temporaneo		
coefficiente parziale resistenze	γ_{Rat}	1,1	[-]
fattore di correlazione	ε_{a4}	1,55	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	182	[kN]
verifica a sfilamento	ok		

Tabella 9-9 Sintesi verifiche degli elementi radiali di sostegno Sezione Tipo As

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatari:	SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	55 di 69

9.5 VERIFICHE DEGLI INTERVENTI DI CUCITURA

9.5.1 Sezione As

La sintesi di tali verifiche per la Sezione Tipo As è riportata nella seguente tabella, nella quale si è considerato il massimo valore calcolato negli elementi pari a 100 kN.

Intervento radiale Sezione Tipo As			
combinazione A1+M1+R3			
sforzo assiale caratteristico	N _k	100	[kN]
coefficiente di sicurezza parziale	γ _F	1,3	[-]
sforzo assiale di calcolo	N _{Ed}	130	[kN]
Caratteristiche dei materiali			
malta			
Classe C20/25	R _{ck}	25	[kPa]
bulloni φ24			
diametro della barra	φ	32	[mm]
area della barra	A	804	[mm ²]
tensione di snervamento	f _{yk}	450	[Mpa]
diametro della perforazione	D	60	[mm]
lunghezza tratto ancorato	L	6	[m]
tensione di aderenza malta/roccia	τ _{ad}	0,25	[Mpa]
coefficiente maggiorativo	α	1,1	[-]

Verifica a trazione

$$N_d \leq T_d = \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_s}$$

azione assiale di calcolo	N _d	130	[kN]
coefficiente di sicurezza acciaio	γ _s	1,15	[-]
azione assiale di snervamento	T _d	315	[kN]
verifica a trazione	ok		

Verifica a sfilamento

$$N_d \leq R_{ad} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ad} \cdot L}{\gamma_{Rat} \cdot \epsilon_{a3}}$$

tipo elemento	temporaneo		
coefficiente parziale resistenze	γ _{Rat}	1,1	[-]
fattore di correlazione	ε _{a4}	1,55	[-]
resistenza di progetto	R _{ad}	182	[kN]
verifica a sfilamento	ok		

Tabella 9-10 Sintesi verifiche degli elementi di cucitura Sezione Tipo As

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	56 di 69

9.6 CRITERI ADOTTATI NELLE VERIFICHE STRUTTURALI

Per le verifiche strutturali sono stati considerati i rivestimenti di prima fase e quelli definitivi nelle seguenti condizioni:

- Rivestimento di prima fase (verifiche con combinazione allo SLU – le azioni permanenti sono moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari ad 1.3)
 - sollecitazioni al termine della installazione del rivestimento provvisorio;
 - sollecitazioni in calotta al termine del getto di murette e arco rovescio;
- Rivestimento definitivo (verifiche con combinazione allo SLU – le azioni sono moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari ad 1.3)
 - sollecitazioni al termine del getto del rivestimento definitivo in arco rovescio e murette
 - sollecitazioni al termine del getto del rivestimento definitivo anche in calotta
 - sollecitazioni al termine della attivazione del rivestimento definitivo nella galleria adiacente a quella oggetto di analisi;
- Rivestimento definitivo (verifiche con combinazione allo SLE – le azioni permanenti non sono amplificate)

Le verifiche sono state eseguite verificando il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

con R_d la resistenza di progetto ed E_d l'effetto dell'azione di calcolo.

9.6.1 Verifiche dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento provvisorio è stato verificato considerando le sollecitazioni di calcolo, opportunamente amplificate per il coefficiente parziale delle azioni pari ad 1.3 e ripartite tra *elemento centina* ed *elemento spritz beton*, ciascuno con le sue caratteristiche geometriche e di materiale.

Per le porzioni in spritz-beton si è fatto riferimento sia alle proprietà meccaniche del calcestruzzo a completa maturazione (28 giorni), sia considerando proprietà ridotte per maturazione di soli 2 giorni.

Pur trattandosi di un conglomerato fibrorinforzato, alla resistenza a trazione è stato assegnato un valore di calcolo pari a quello di un calcestruzzo comune non fibrorinforzato, di classe di resistenza uguale a quella del calcestruzzo proiettato.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra i due elementi resistenti (centine e spritz), in analogia con quanto descritto nel PD e riportato in Tabella 9-11 Tabella 9-11 Ripartizione sollecitazioni tra centine e spritz-beton.

, ovvero:

- lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidetzze assiali (EA) dei due sostegni;
- il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 57 di 69

Sollecitazioni	Centine	Spritz-beton
Sforzo Normale N_{tot}	$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot \frac{A_{cen}}{d}}{E_{eq} \cdot s_{eq}} \cdot N_{tot} \cdot d$	$N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$
Momento Flettente M_{tot}	$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$	—
Sforzo di taglio T_{tot}	$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$	—

Tabella 9-11 Ripartizione sollecitazioni tra centine e spritz-beton.

In ogni sezione di verifica sono state calcolati:

- Per lo *spritz* di calotta e murette il valore di sforzo normale agente di calcolo (N_{Ed}) e lo sforzo normale resistente (N_{Rd}) nelle due condizioni di maturazione;
- Per le centine il valore del taglio e del momento flettente agente di calcolo ed i corrispondenti valori di resistenza.

$$M_{c,Rd} = \frac{Wf_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

9.6.2 Verifiche dei rivestimenti definitivi

Le verifiche allo SLU del rivestimento definitivo sono state condotte, considerando elementi di *trave* di base pari ad 1 metro, nei confronti di sollecitazioni di:

- pressoflessione, assumendo valide le ipotesi di base del §4.1.2.1.2.1 delle NTC 2008, mediante la costruzione di domini di interazione N-M,
- taglio, considerando dapprima le sezioni non dotate di armatura a taglio e predisponendo, lì dove necessario, opportuna armatura trasversale costituita da spilli, successivamente sottoposta a verifica secondo un modello di funzionamento a traliccio. Per brevità non sono qui riportate le verifiche secondo il modello *a pettine* nelle porzioni dove queste abbiano dato esito negativo e si sia dunque evidenziata la necessità di inserire spilli.

Quando fosse necessario considerare anche azioni sismiche, i domini di resistenza N-M precedentemente costruiti sono stati adottati per verificare il soddisfacimento della condizione di verifica per entrambe le combinazioni sismiche considerate.

Le sezioni sono state sottoposte anche a verifica secondo gli stati limite di esercizio, considerando in particolare lo stato limite delle tensioni sia per il calcestruzzo sia per l'acciaio.

Le verifiche allo stato limite ultimo per tensioni normali sono state eseguite in forma grafica, assicurando che i punti caratteristici dello stato di sollecitazione in ciascuna delle ascisse polari comprese negli intervalli di interesse per le diverse porzioni delle sezioni tipo fossero contenuti nei domini di interazione N-M.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	58 di 69

Le verifiche a taglio dei rivestimenti definitivi sono state condotte dapprima considerando sezioni non armate a taglio (cfr. §4.1.2.1.3.1 delle NTC 2008) con la seguente formulazione:

$$V_{rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18k(\rho_1 100f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w d; (v_{\min} + 0.15\sigma_{cp})b_w d \right\}$$

Per il significato di tutti i termini si rimanda all'equazione 4.1.14 delle NTC 2008, mentre si fa presente che il valore del taglio resistente, intimamente legato allo stato di compressione agente sulla sezione di interesse, è stato valutato in ciascuna delle ascisse polari per cui sono stati estratti i valori delle sollecitazioni, ottenendo così involucri su tutti gli elementi considerati (calotta, murette, arco rovescio) e non condizioni puntuali in sezioni selezionate.

Si precisa che le condizioni di verifica, pur puntuali lungo tutte le ascisse, considerano in corrispondenza delle murette una altezza "media" che, verosimilmente, consente di assumere quanto ottenuto dalle verifiche un risultato cautelativo.

Le verifiche delle sezioni armate a taglio sono state condotte secondo le prescrizioni del paragrafo 4.1.2.1.3.2 delle NTC 2008, questa volta con riferimento al più alto dei valori di taglio agente V_{sd} .

I valori del taglio resistente *lato acciaio* e *lato calcestruzzo* sono stati calcolati in accordo con le formule riportate al paragrafo 4.1.2.1.3.2 delle NTC 2008 e che qui di seguito vengono brevemente richiamate. È stato fatto sempre riferimento a spilli con inclinazione α pari a 90° .

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

$$V_{Rcd} = 0.9db_w \alpha_c v f_{cd} \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{1 + \cot^2\theta} \sin\alpha$$

Per quanto concerne gli stati limite di esercizio, la verifica riguardante la tensione massima di compressione nel calcestruzzo è stata effettuata controllando che fosse soddisfatta la disuguaglianza:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.45f_{ck}$$

mentre per quanto riguarda l'acciaio, è stato verificato il rispetto della condizione:

$$\sigma_{s,max} \leq 0.8f_{yk}$$

Nel caso di verifiche allo stato limite di esercizio è stata adottata la combinazione quasi permanente che, dal punto di vista delle verifiche, rappresenta lo stato più gravoso. Vale la pena di osservare che, non essendo state considerate azioni variabili, le combinazioni di azioni allo SLE sono tutte equivalenti dal punto di vista delle azioni, in questo caso solo permanenti.

Per il calcolo delle tensioni agenti agli SLE si è fatto riferimento ad un calcolo "elastico" su una sezione ideale, adottando un coefficiente di omogeneizzazione n pari a 15. Nel dettaglio, la posizione dell'asse neutro è stata calcolata adottando la formula seguente:

$$x = \frac{n(A_s + A'_s)}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(A_s d + A'_s c)}{n(A_s + A'_s)}} \right]$$

dove d rappresenta l'altezza utile della sezione, b la sua base, c il copriferro.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 59 di 69

A partire dal valore di x è stato poi possibile calcolare il momento di inerzia della sezione omogeneizzata come segue:

$I = \frac{bx^3}{3} + nA'_s(x - c)^2 + nA_s(d - x)^2$ a partire da cui vengono poi calcolate le tensioni in corrispondenza delle fibre più sollecitate.

È inoltre necessario precisare che per i materiali e il copriferro di calcolo valgono le indicazioni fornite nel PD e nel documento ivi referenziato (Note generali, Rif. [5]). In particolare si è considerata a prescindere dalla porzione di sezione oggetto delle verifiche una classe di calcestruzzo C25/30, mentre il copriferro è stato assunto sempre pari a 5 cm.

Nelle verifiche che seguono si è deciso di adottare un diametro minimo dei ferri correnti pari a 14 mm, spilli e ferri di ripartizione pari a 12 mm. L'armatura corrente delle sezioni è sempre simmetrica e sono adottati sempre almeno 10 ferri per metro lineare di galleria, risultandone in una spaziatura massima pari a 10 cm. I ferri di ripartizione hanno sempre un interasse pari a 40 cm e, dunque, il passo di calcolo nelle verifiche a taglio adottato per l'armatura trasversale è di 400 mm, mentre il numero di "bracci" di calcolo considerati è determinato dal numero di ferri che costituiscono l'armatura corrente, per metro lineare.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 60 di 69

9.7 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.7.1 Sezione As

9.7.1.1. Verifica del rivestimento provvisorio

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla completa maturazione dello spritz-beton (fase 6). Sono state considerate le sollecitazioni di involuppo fra il modello M-C ed il modello J-R.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche a Stato Limite Ultimo (SLU).

9.7.1.2. Verifica a Stato Limite Ultimo dello spritz-beton e delle centine

La figura sottostante mostra che tutte le sollecitazioni risultano inferiori alle resistenze offerte dallo spritz-beton e dalle centine; pertanto, la verifica è soddisfatta in ogni punto del rivestimento provvisorio.

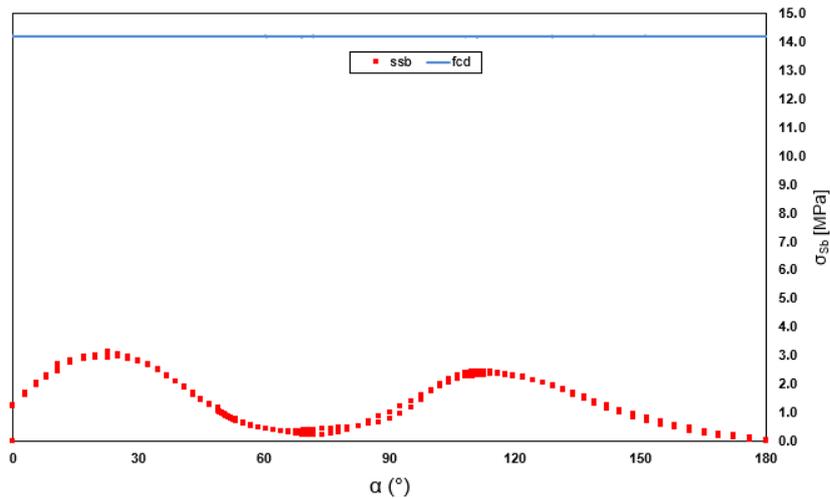


Figura 9-30 Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton – Sezione Tipo As (canna DX)

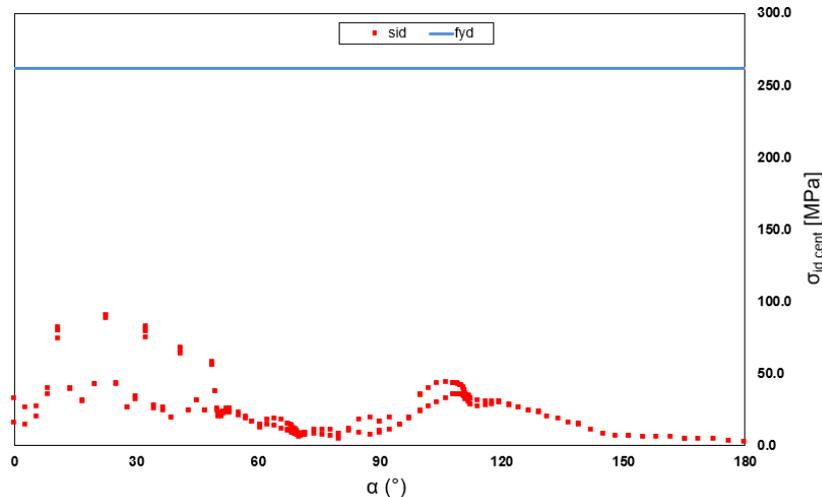


Figura 9-31 Verifica SLU centine metalliche – Sezione Tipo As (canna DX)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 61 di 69

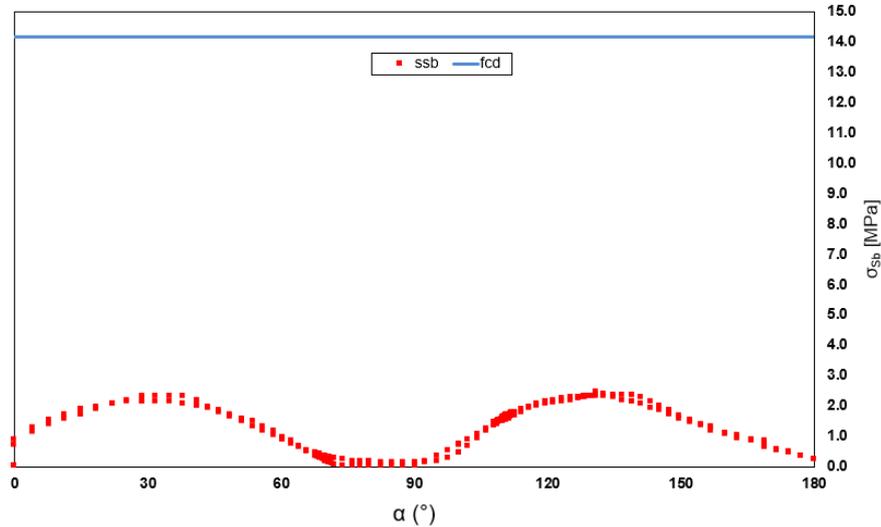


Figura 9-32 Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton – Sezione Tipo As (canna SX)

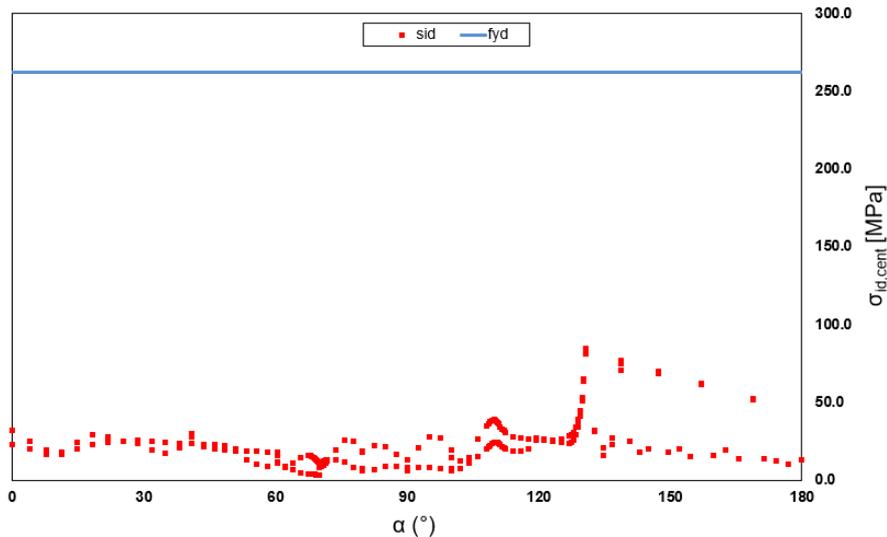


Figura 9-33 Verifica SLU centine metalliche – Sezione Tipo As (canna SX)

9.7.1.3. Verifica del rivestimento definitivo

Per i rivestimenti definitivi di questa Sezione si è considerato CLS classe C25/30. Per le verifiche del rivestimento definitivo, si sono considerate le sollecitazioni più gravose ottenute dai due modelli, M-C e J-R. Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS ed i ferri di armatura considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 62 di 69

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.6m	Ø14/10	Ø14/10	Ø12/40/40
Murette	25/30	0.6 m	Ø14/10	Ø14/10	Ø12/40/40
Arco rovescio	25/30	0.6 m	Ø14/10	Ø14/10	Ø12/40/40

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 11 (Lungo termine).

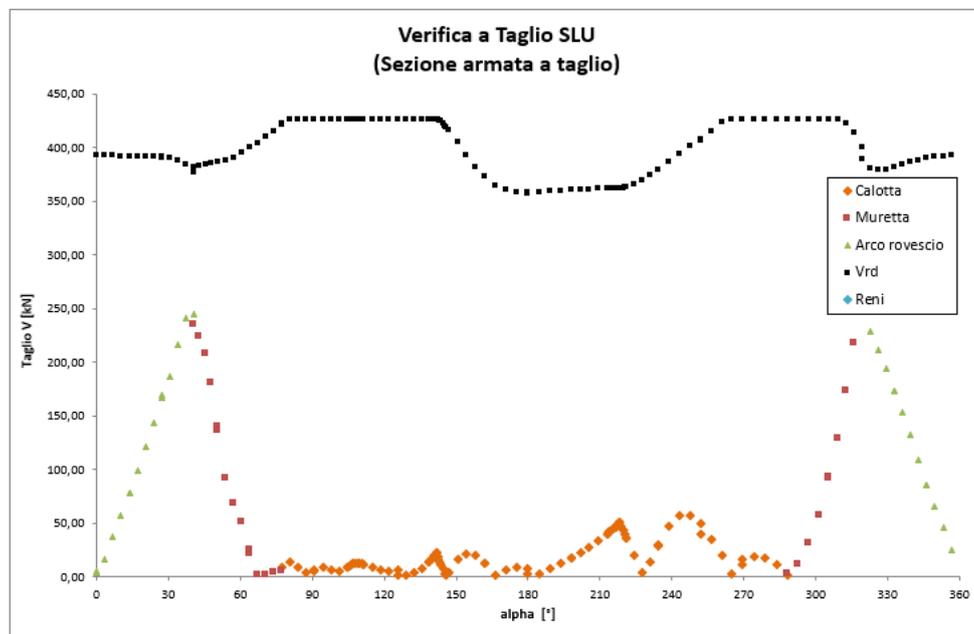
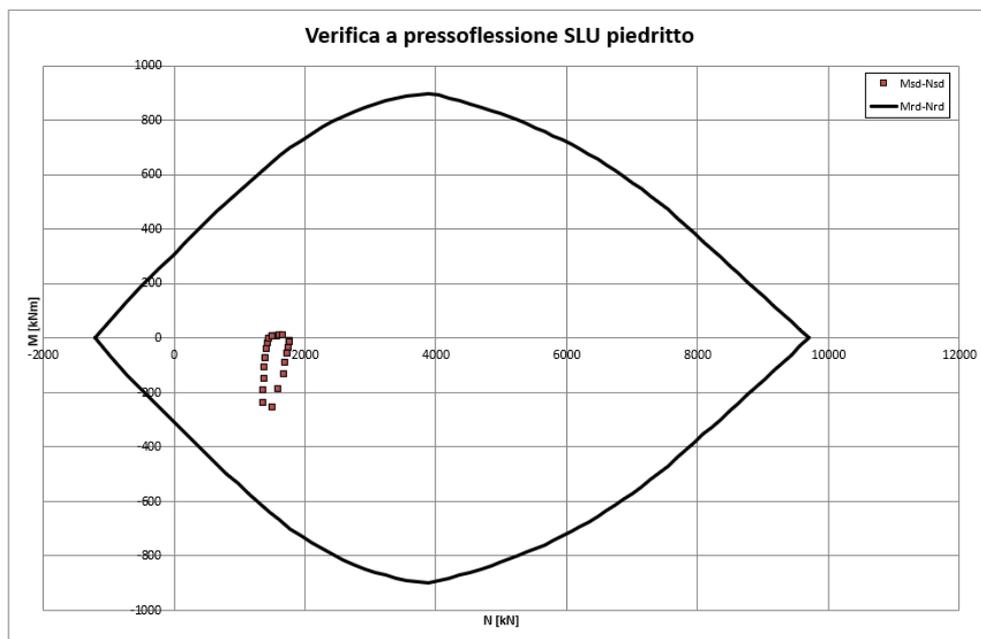
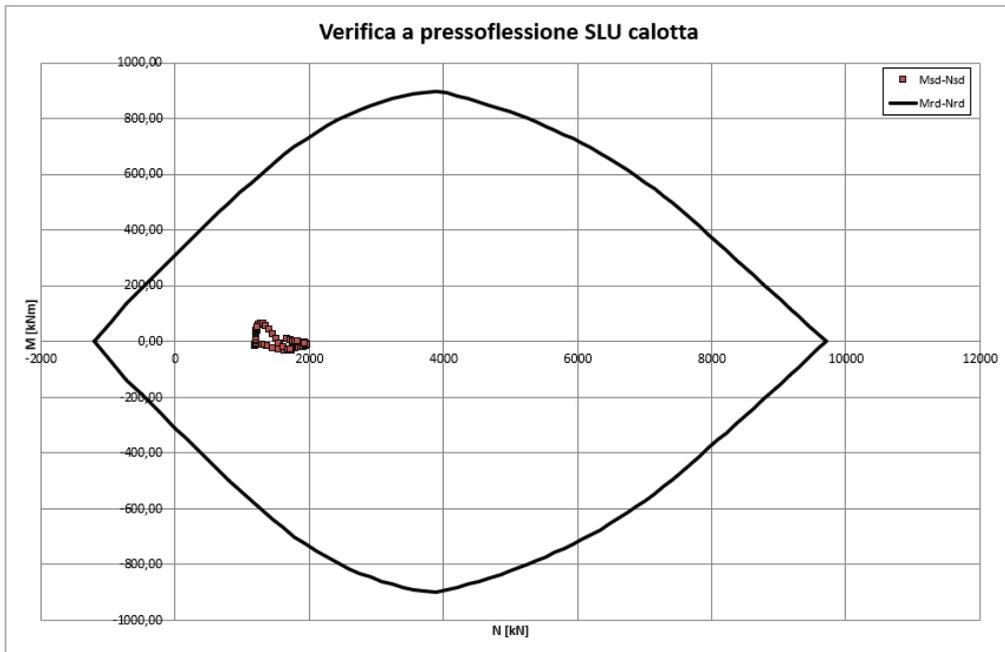


Figura 9-34 Verifica a taglio rivestimento definitivo

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1AEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000010</td> <td>B</td> <td>63 di 69</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	63 di 69
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	63 di 69								



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 64 di 69

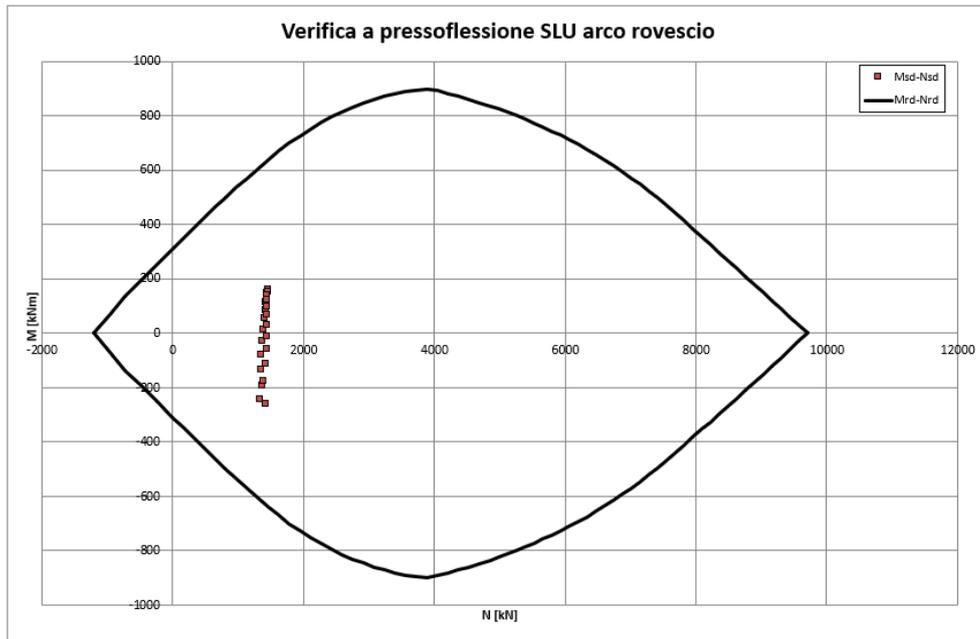


Figura 9-35 Verifica a pressoflessione Rivestimento Definitivo

le verifiche agli SLE eseguite sul rivestimento definitivo, sia tensionali che a fessurazione, in forma cartesiana al variare dell'angolo α .

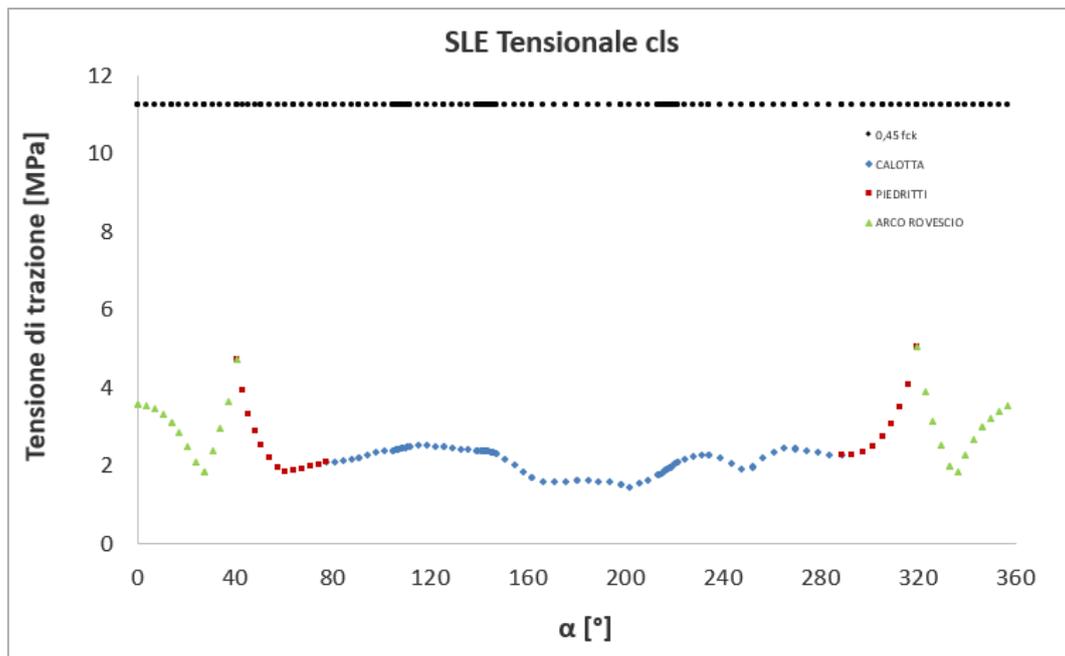


Figura 9-36 Verifica tensioni calcestruzzo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 65 di 69

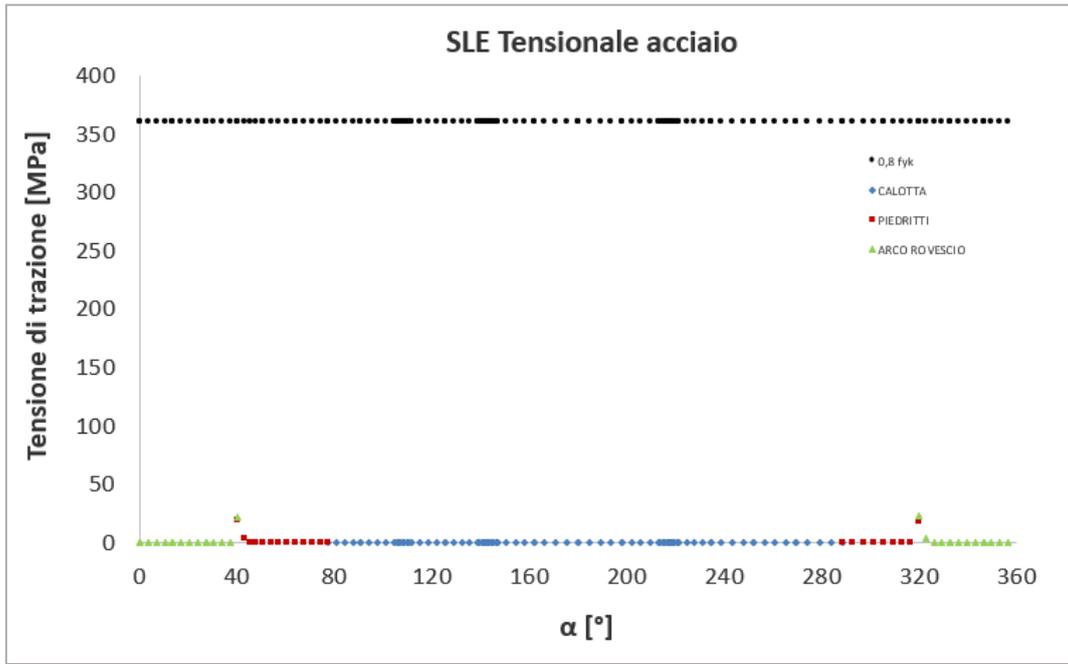


Figura 9-37 Verifica tensioni acciaio

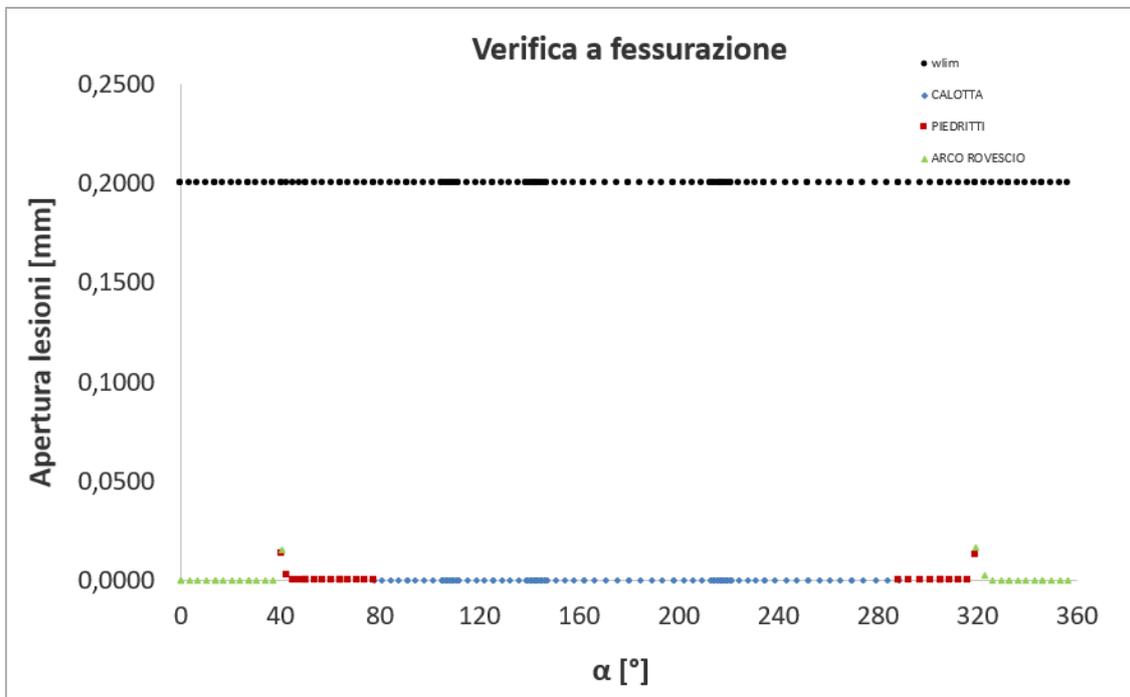


Figura 9-38 Verifica a fessurazione

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1AEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000010</td> <td>B</td> <td>66 di 69</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000010	B	66 di 69													
GALLERIE Galleria Scalers - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto																		

10. VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO

Per la verifica in condizioni incendio si rimanda alle verifiche effettuate nella relazione geotecnica e di calcolo della Galleria Scalers [8], data la presenza di condizioni di carico più critiche, spessori dei rivestimenti definitivi maggiori e assenza di armatura in alcune sezioni (vedi sezione A0bis e AOL) analizzate nella galleria di linea.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IB0U</td> <td style="text-align: center;">1AEZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">GN0000010</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">67 di 69</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1AEZZ	RH	GN0000010	B	67 di 69
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1AEZZ	RH	GN0000010	B	67 di 69													
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto																		

11. FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio che consenta di:

- confermare le sezioni tipo previste per le tratte omogenee, come da profilo geotecnico, secondo i criteri di applicazione definiti in progetto;
- definire le variazioni degli interventi da effettuarsi nell'ambito delle variabilità previste in progetto sulla base di quanto riscontrato in fase di scavo;

I dati di monitoraggio dovranno essere inseriti in una piattaforma Web-GIS, in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette.

Gli strumenti di misura utilizzati dovranno permettere di garantire la precisione e l'affidabilità delle letture in modo da non essere influenzati in modo significativo da cambiamenti di temperatura, umidità, corrente elettrica e vibrazioni indotte.

Si rimanda al rapporto [28] per maggiori dettagli inerenti il sistema di monitoraggio.

Per quanto riguarda i criteri generali di applicazione delle sezioni tipo si rimanda al rapporto [27].

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
GALLERIE Galleria Scaleres - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 68 di 69

12. CONCLUSIONI

Nella presente relazione si sono affrontate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere in sotterraneo della galleria Scaleres, facente parte della linea ferroviaria del Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena "Asse ferroviario Monaco - Verona" "Accesso Sud alla galleria di base del Brennero quadruplicamento della linea Fortezza - Verona", nel tratto che, a partire dall'imbocco Nord, lato Fortezza, si estende a Sud per una lunghezza approssimativamente pari a 60 m.

In questo tratto le canne di binario pari e dispari della Galleria Scaleres si trovano in condizioni parietali rispetto al versante e sono poste a distanza molto ravvicinata.

Sotto queste particolari condizioni, l'indagine sulla stabilità degli scavi in sotterraneo ha richiesto la definizione di un modello geotecnico-geomeccanico che tenesse in considerazione anche le caratteristiche meccaniche dei giunti e della resistenza disponibile lungo questi ultimi.

Servendosi dei risultati di due rilievi geostrutturali eseguiti nell'areale di interesse e con il ritorno di esperienza derivante da altri progetti analoghi, in particolare BBT Sottoattraversamento Isarco e Mules 2-3 per i quali l'Appaltatore può vantare in modo completo a livello di progetto ed esecuzione, si sono ricavati i valori di resistenza disponibile lungo i giunti delle famiglie di discontinuità prevalenti che caratterizzano l'assetto geostrutturale della parte affiorante dell'ammasso all'imbocco Nord di galleria Scaleres. Sulla base della caratterizzazione geotecnica-geomeccanica si sono allora eseguite analisi all'equilibrio limite di stabilità dei cunei/blocchi rocciosi che l'orientazione delle discontinuità portava a formarsi lungo il profilo di scavo della galleria; di questi cunei/blocchi rocciosi sono stati individuati i coefficienti di sicurezza rispetto ai cinematismi di distacco e scivolamento.

Successivamente, attraverso un modello numerico alle differenze finite, è stato possibile dimensionare i rivestimenti di prima fase e definitivi delle gallerie, adottando un modello costitutivo per l'ammasso roccioso rappresentativo anche delle caratteristiche delle famiglie di discontinuità.

La verifica dei rivestimenti di prima fase e definitivi è stata implementata anche attraverso un modello numerico agli elementi finiti, adottando un modello di continuo equivalente costitutivo per l'ammasso roccioso, considerando parametri equivalenti dell'ammasso roccioso cautelativi e non considerando gli interventi di rinforzo del pilastro mediante VTR.

Le valutazioni condotte hanno confermato la validità delle soluzioni progettuali proposte, sia per quanto riguarda i pre-rivestimenti che i rivestimenti definitivi rispettando la Normativa di riferimento [1]-[2].

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE Galleria Scalera - Relazione geotecnica e di calcolo - Tratto con setto ridotto	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000010	REV. B	FOGLIO. 69 di 69

13. ALLEGATI

Al fine di limitare la dimensione del file, gli allegati di seguito elencati non sono stati assemblati nel presente pdf, ma sono disponibili nello zip consegnato su PDM.

13.1 ALLEGATO 1 – ANALISI A BLOCCHI

13.2 ALLEGATO 2 – TABELLE RIEPILOGATIVE VERIFICHE SLU RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE E DEFINITIVO – SEZIONE 9-9