

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie
prestazioni specialistiche
Dot. Paolo P. POLI
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 Gardena - Relazione geotecnica e di calcolo

APPALTATORE	COMMITTENTE	SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 	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 0 9	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	S. Spinello	26/01/2022	A. Valente	27/01/2022	D. Buttafoco	28/01/2022	 IL PROGETTISTA A. Poli 09/03/23
B	Emissione per indicazioni committenza	M. Falanesca /C. Bertello	18/07/2022	A. Valente	19/07/2022	D. Buttafoco	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di istruttoria e interlocuzioni	L. Di Vittorio	25/02/2023	P. Fontana	26/02/2023	D. Buttafoco	27/02/2023	

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	2 di 224

SOMMARIO

1. PREMESSA	5
2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	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 TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	9
7. FASE CONOSCITIVA	11
7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
7.2 INDAGINI GEOTECNICHE	11
7.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	14
7.3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni	14
7.3.2 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi	14
7.3.3 Caratterizzazione geomeccanica delle faglie.....	18
7.3.4 Regime idraulico	19
7.3.5 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	23
8.2.1 Determinazione delle categorie di comportamento	23
8.2.2 Analisi del rischio di "squeezing"	31
9. FASE DI TERAPIA	34
9.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	34
9.1.1 Sezione A0bis.....	35
9.1.2 Sezione A1L	36
9.1.3 Sezione A1	37
9.1.4 Sezione B1L.....	38

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 3 di 224

9.1.5	Sezione B1	39
9.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	41
9.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO	44
9.3.1	Criteri di verifica	45
9.3.2	Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi.....	48
9.3.3	Modelli numerici per analisi tensio-deformative agli elementi finiti	48
9.3.4	Ipotesi di calcolo	50
9.3.5	Sezione A0bis.....	52
9.3.6	Sezione A1	60
9.3.7	Sezione A1L	70
9.3.8	Sezione B1	79
9.3.9	Sezione B1L.....	90
9.4	VERIFICHE INTERVENTI RADIALI	99
9.5	VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE	100
9.6	VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI	101
9.7	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	103
9.7.1	Sezione A0bis.....	103
9.7.2	Sezione A1	109
9.7.3	Sezione A1L.....	125
9.7.4	Sezione B1	137
9.7.5	Sezione B1L.....	152
10.	VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO SEZIONE TIPO	163
10.1	SEZIONE A0BIS	178
10.2	SEZIONE B1	200
10.3	SINTESI DELLE VERIFICHE INCENDIO	221
11.	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	222
12.	CONCLUSIONI	223
13.	ALLEGATI	224
13.1	ALLEGATO 1 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE A0BIS.....	224
13.2	ALLEGATO 2 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE A1L.....	224
13.3	ALLEGATO 3 – REPORT PLAXIS DELLE SEZIONI DI CALCOLO	224

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 4 di 224

13.4 ALLEGATO 4 – VERIFICHE RIVESTIMENTO PROVVISORIO E DEFINITIVO224



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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	5 di 224

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari alla realizzazione della galleria di linea Gardena (GN02), nell'ambito del progetto della tratta ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 della linea Fortezza – Verona, accesso sud alla galleria di Base del Brennero.

Le opere in oggetto ricadono nella provincia di Bolzano. La galleria in esame ha una lunghezza complessiva di circa 6 km, con configurazione a doppia canna ad interasse di 40 m.

2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

La progettazione della Galleria Gardena, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [15]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. **Fase conoscitiva:** è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; la sintesi dello studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel §7.
2. **Fase di diagnosi:** si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento (§8);
3. **Fase di terapia:** sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza (§9). Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel §9, sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio;
4. **Fase di verifica e messa a punto:** il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto. Nel documento [40] sono, inoltre, descritti i criteri generali per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità in funzione dei risultati del monitoraggio in corso d'opera.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 6 di 224

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 IBOU1BEZZRGGN0000001B "Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo";
- [4] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0200001 "Profilo geotecnico - tav. 1";
- [5] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0200002 "Profilo geotecnico - tav. 2";
- [6] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0200003 "Profilo geotecnico - tav. 3";
- [7] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0700001 "Profilo geotecnico - tav. 1";
- [8] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0700002 "Profilo geotecnico - tav. 2";
- [9] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0700003 "Profilo geotecnico - tav. 1";
- [10] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZF6GN0700004 "Profilo geotecnico - tav. 2";
- [11] U.O. Gallerie, documento IBOU1AEZZSPGN000000 "Caratteristiche dei materiali - Note generali - Opere parte A";
- [12] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZSPGN0000001 "Caratteristiche dei materiali - Note generali - Opere parte B";
- [13] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;
- [14] RFIDTCSISPIFS001D "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili parte I".

4.2 DOCUMENTI CORRELATI

- [15] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [16] 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;
- [17] Hoek E., Brown E.T. (1988). The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, 31-38;
- [18] 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;
- [19] Hoek E., Diederichs M. S. (2006). Empirical Estimation of rock mass modulus. Int. J. Rock Mech. & Mining Sciences, 43, 203-215;

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	7 di 224

- [20] Hoek E., Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;
- [21] 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.
- [22] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993.
- [23] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990.
- [24] Hoek E., Marinos P. - Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rocks. Tunnels and Tunneling International, 2000.

5. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

- [25] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000089 Sezione tipo A0 – Scavo e consolidamenti;
- [26] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000090 Sezione tipo A0 – Carpenteria e particolari costruttivi;
- [27] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000099 Sezione tipo A1L – Scavo e consolidamenti;
- [28] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000100 Sezione tipo A1L – Carpenteria e particolari costruttivi;
- [29] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000091 Sezione tipo A1 – Scavo e consolidamenti;
- [30] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000092 Sezione tipo A1 – Carpenteria e particolari costruttivi;
- [31] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000093 Sezione tipo B1 – Scavo e consolidamenti;
- [32] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000094 Sezione tipo B1 – Carpenteria e particolari costruttivi
- [33] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000101 Sezione tipo B1L – Scavo e consolidamenti;
- [34] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZWBGN0000102 Sezione tipo B1L – Carpenteria e particolari costruttivi
- [35] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZBGN0600038 Sezione tipo A – Scavi e consolidamenti
- [36] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZBGN0600039 Sezione tipo A – Carpenteria Galleria di Sfollamento
- [37] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZBGN0600056 Sezione tipo B – Scavi e consolidamenti
- [38] U.O. Gallerie, documento IB0U1BEZZBGN0600057 Sezione tipo B – Carpenteria Galleria di Sfollamento
- [39] U.O. Geologia, documento IB0U1BEZZGEGN0000002 Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni;

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						
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 8 di 224

- [40] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZRHGN0200001 Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo in scavo tradizionale;
- [41] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZRHGN0200003 Relazione monitoraggio – scavo tradizionale;
- [42] U.O. Gallerie, documento IBOU1BEZZRHGN0000011 Galleria Scaleres e Gardena – Proposta di ottimizzazione delle sezioni tipo Galleria di linea.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	9 di 224

6. DESCRIZIONE DELL'OPERA

6.1 TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Galleria Gardena 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 e in parte con metodo di scavo meccanizzato, ha una lunghezza complessiva di circa 5783.00 m (BD), di cui 5770.50 m in naturale e 12.5 m in artificiale all'imbocco Nord in corrispondenza del ponte sull'Isarco, ed è provvista di cunicoli trasversali di collegamento tra le due canne, con passo non superiore a 500 m.

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

- Da pk 15+969,34 a pk 15+981,83 L=12.5 m galleria artificiale;
- Da pk 15+981,83 a pk 16+424,52 L=442,97 m galleria naturale realizzata con scavo tradizionale (nell'intervallo di pk indicate è compreso il tratto di "finestra di Funes");
- Da pk 16+424,52 a pk 21+752.0 L=5327,87 m galleria naturale realizzata con scavo meccanizzato.

Negli intervalli sopra riportati sono presenti sezioni tipo "correnti" e sezioni tipo "cameroni" (che vengono trattati in specifico elaborato di calcolo).

La progressiva km 21+752.0 (BD) segna la fine del lotto costruttivo; da tale progressiva il collegamento in sotterraneo con l'esistente galleria Sciliar sarà oggetto di un futuro lotto.

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 600 m circa intorno ai km 18+800 e 20+600.

In prossimità dell'imbocco Nord, è prevista la realizzazione di un'area di sicurezza, tramite una galleria centrale di lunghezza pari a circa 130 m (galleria di sfollamento) collegata alle due canne tramite tre by-pass. La galleria centrale è collegata all'esterno tramite la galleria di Funes.

Dal tracciato della galleria Gardena si diramano, tramite due cameroni, i due binari di interconnessione di Ponte Gardena.

Nella galleria Gardena è prevista una doppia comunicazione (posto di Comunicazione), ciascuna composta da una galleria a singolo binario e da due cameroni di connessione. I cameroni del PC Sud presentano dimensioni geometriche adeguate a consentire il montaggio e la traslazione della TBM per lo scavo delle gallerie di interconnessione.

Il sistema galleria Gardena è completato da due finestre costruttive: la galleria Funes e la galleria Chiusa, che si innestano rispettivamente al km 16+166.51 e al km 20+848,35 del binario dispari.

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

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

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 10 di 224

<i>Galleria di linea Gardena</i>	Galleria con configurazione a doppia canna, singolo binario, lunghezza di 6.2 km circa per il B.P. e di circa 5.8 km circa per il B.D.
<i>Finestra di Funes</i>	Galleria costruttiva del binario pari della Galleria Gardena. In esercizio, utilizzata come uscita di emergenza.
<i>Finestra di Chiusa</i>	Galleria costruttiva per l'attacco intermedio dello scavo della Galleria Gardena, lunghezza 1.8 km circa.
<i>Posto di comunicazione doppia</i>	Doppio sistema di comunicazione, ciascun composto da una galleria a singolo binario e da due cameroni di connessione. I cameroni del PC Sud presentano dimensioni geometriche adeguate a consentire il montaggio e la traslazione della TBM scudata per lo scavo delle gallerie di interconnessione.
<i>Gallerie di interconnessioni</i>	Due gallerie a singolo binario, lunghezza 2.6 km circa per il ramo pari e 3.2 km circa per il ramo dispari, che sovrappassa la linea. Le interconnessioni si innestano nelle canne di linea tramite la realizzazione di due cameroni di diramazione.
<i>Cunicoli trasversali di collegamento</i>	Queste opere sono previste sia per le gallerie di linea che per le gallerie di interconnessione e collocate ad intervalli di 500 m al massimo.
<i>Altre opere funzionali al sistema</i>	Cameroni trasversali alle finestre per locali tecnici, cameroni di manovra al termine delle finestre, by-pass tecnici, nicchioni tecnici.
<i>Altre opere funzionali alla galleria</i>	Camere di sfiocco, per il montaggio della struttura di spinta e di partenza della TBM.

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

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	11 di 224

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.

7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Galleria Gardena nella tratta in esame. Per un quadro esauriente e dettagliato dell'intera galleria si rimanda agli elaborati specialistici di U.O. Geologia del presente progetto ([13] e [39]).

Procedendo da Nord verso Sud, la galleria Gardena incontra i **Depositi di versante (d)** che comprendono depositi eterogenei ed eterometrici, a dimensioni variabili dai blocchi ai limi argillosi, per poi passare al complesso dei **Porfiroidi (p)**, roccia resistente e ricca in quarzo, costituita da metavulcaniti e mata vulcanoclastiti acide, che presentano una struttura massiccia o leggermente foliata. Il corpo principale di porfiroidi interessato dal tracciato è presente in sinistra Isarco all'altezza degli imbocchi Nord della Galleria Gardena e della Finestra di Funes. Qui la roccia presenta un aspetto prevalentemente massiccio – gneissico e subordinatamente scistoso ed il colore è caratterizzato da toni grigio-verdastri con patina di alterazione rossastra. Dal punto di vista tettonico i **Porfiroidi** sono attraversati da una faglia a basso angolo intercettata tra la pk 16+550 e la pk 16+850 circa.

Per ulteriori dettagli sul modello geologico, comprese le tratte non in esame, si rimanda agli elaborati di progetto specialistici (Rif. [13] e [39]).

7.2 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere considerate in questa Relazione, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagine geognostiche, sia pregresse (PD CdS 2013-2017), sia per il PE (2021-2022), ubicati nelle aree di interesse. Per maggiori dettagli si rimanda al documento [39]. Sono stati inoltre considerati i quattro sondaggi eseguiti durante la campagna RFI del 2006.

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

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.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	12 di 224

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 geostrukturali 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 dilatometriche;
- n° 73 prove di permeabilità tipo Leugeon;
- n° 76 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2017, Italferr S.p.A.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche del 2017 sono stati eseguiti n° 52 rilievi geostrukturali 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:

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 13 di 224

- 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.

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:

- S21/1
- S21/2
- S21/5
- S21/6
- S21/6b
- S21/7
- S21/9
- S21/11
- S21/12

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici di U.O. Geologia ([13]) e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sul profilo geotecnico di progetto ([4]-[10]).

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	14 di 224

7.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

I risultati delle indagini geotecniche, delle prove in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato.

La suddivisione delle unità geomeccaniche nella tratta scavata in tradizionale in roccia per le gallerie di linea è così ripartita:

- Porfiroidi (100%)

Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione è illustrato nelle tavole dei profili geotecnici (Rif. [4]-[10]).

7.3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dei *Detriti di versante (d)*, che la galleria Gardena incontra in prossimità dell'imbocco Nord, si rimanda al documento [39].

7.3.2 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi

La Galleria Gardena per la tratta in esame, come già indicato al §7.1, attraversa la formazione dei porfiroidi (*p*) appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico; tale formazione è stata intercettata dal sondaggio C9 e dai sondaggi EO30 ed EO41.

Per quest'Unità Geologica 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 in funzione della profondità e dello stato di fratturazione nella tratta di interesse.

7.3.2.1. Caratterizzazione della matrice litoide

Per l'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 σ_{ci} e il modulo elastico E_i .

Per la definizione del modulo elastico della matrice litoide, oltre ai dati provenienti direttamente dalle prove di laboratorio, è stata utilizzata la correlazione di Lembo Fazio e Ribacchi (1984) (Rif. [16]) che lega il modulo elastico E_i alla velocità delle onde P (v_p). Per maggiori dettagli si rimanda al documento [39]. Nel seguito si riportano le informazioni di sintesi per le tratte in esame.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	15 di 224

Basamento Metamorfico Ercinico

Per la caratterizzazione dei porfiroidi appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico sono state esaminate tutte le prove di laboratorio eseguite in corrispondenza delle seguenti unità:

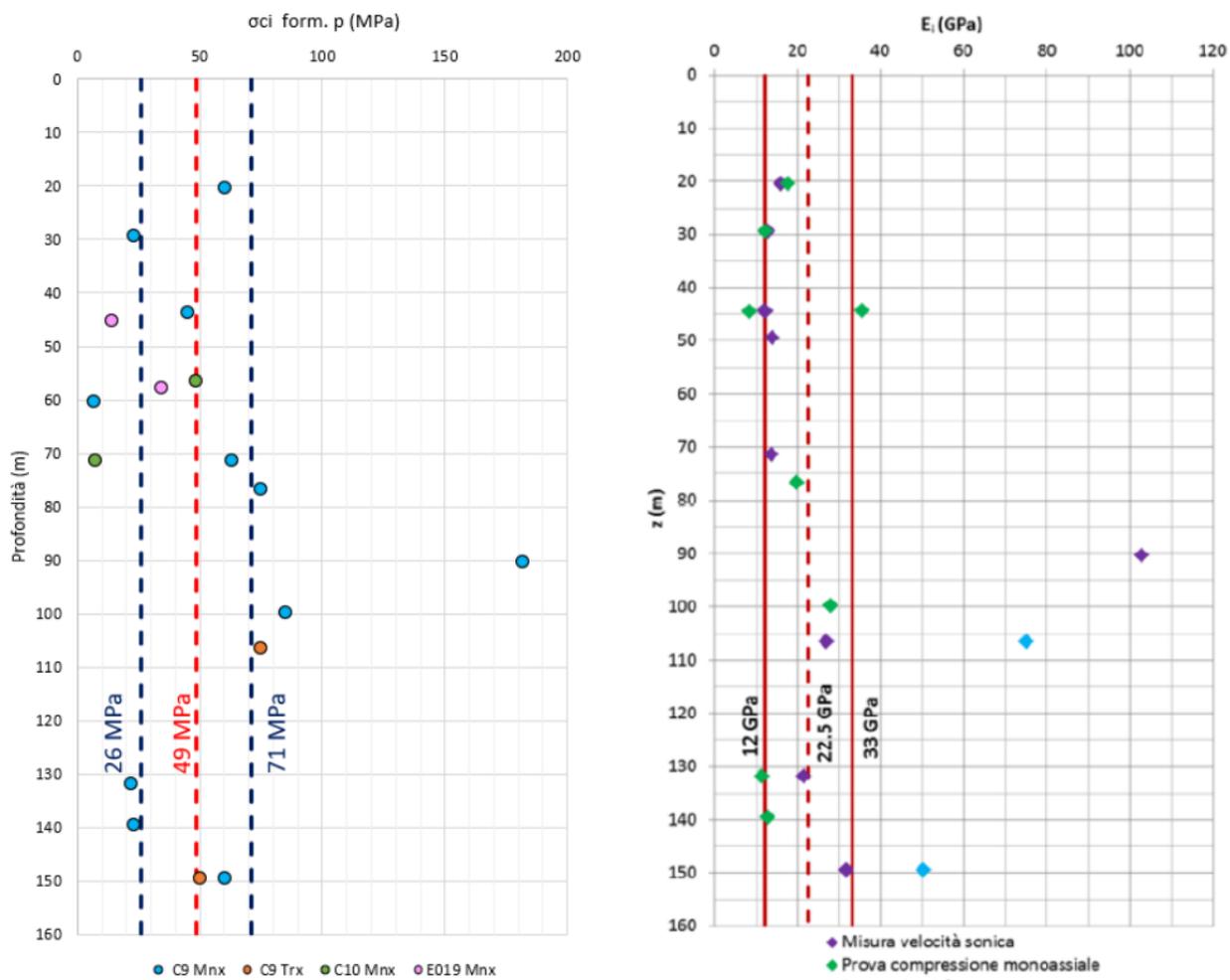


Figura 7-1 – Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide e modulo elastico Porfiroidi.

Dai risultati delle prove di laboratorio si osservano valori di resistenza alla compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} compresi tra 6 MPa e 181 MPa. Data la dispersione dei risultati, per la definizione dell'intervallo rappresentativo sono stati esclusi i valori minimi e massimo, per cui si definisce rappresentativo il seguente intervallo:

$$26 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 71 \text{ MPa}$$

Per il modulo di Young della roccia intatta E_i i valori sono compresi tra 8 GPa e 103 GPa, per cui si ritiene rappresentativo il seguente intervallo:

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	16 di 224

$$12 \text{ GPa} \leq E_i \leq 33 \text{ GPa}$$

Al fine di tener conto dei range di variabilità sopra riportati, sono stati definiti i seguenti valori caratteristici della matrice litoide da utilizzare nelle analisi:

$$\sigma_{ci} = 50 \text{ MPa}$$

$$E_i = 22.5 \text{ GPa}$$

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 (1997) (Rif. [17]) e alla definizione dell'indice GSI (Geological Strength Index method, 1994) come riportato in Figura 7-2 (Rif. [18]).

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS			
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70		
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60		
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		50		
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces		40		
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		30		
		20		
		10		
	N/A	N/A		

Figura 7-2 – Stima dell'indice GSI sulla base della descrizione geologica dell'ammasso (Hoek e Marinos, 2000).

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	17 di 224

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

$$GSI = RMR - 5$$

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

- resistenza a compressione monoassiale della roccia R1;
- 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 (1997) (Rif.[17]) assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie 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 Diederichs (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 e del 2017 (§7.2) (Rif. [13]). Considerando che il GSI , determinato

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 18 di 224

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 variazione del Geological Strength Index (GSI) in funzione della profondità e dello stato di fratturazione. 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]-[9]).

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, sono stati individuati i parametri caratteristici appropriati per le verifiche delle opere in sotterraneo.

Unità	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E (GPa)	m_i (-)
p	27	50	22.5	7

Tabella 7-1 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici della matrice litoide usati nelle analisi.

Di seguito si riportano per ogni i valori di angolo di attrito, coesione e modulo dell'ammasso roccioso ottenuti mediante la linearizzazione del criterio di Hoek&Brown.

Formazione	copertura (m)	GSI (-)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (GPa)
p	<30	30-40	195-293	48-51	1.8-3.6
	30-50	40-45	407-483	45-47	3.6-5
	50-100	45-50			
	100-150	45-50	680-787	41-42	5-6.9
	>150	50-55	821-961	42-43	6.9-9.2

Tabella 7-2 – Parametri ammasso roccioso per la tratta scavata in tradizionale Gardena.

7.3.3 Caratterizzazione geomeccanica delle faglie

In questo capitolo viene riportata l'estratto dell'analisi critica delle faglie individuate lungo la Galleria Gardena all'interno dei porfiroidi. Nelle tabelle seguenti sono riassunte le principali informazioni desunte dallo studio geologico del PE che ha approfondito le informazioni esistenti partendo da quanto ricavabile dallo studio del PD. La faglia 1 prevista nella tratta in esame è incerta ed è stata caratterizzata con un GSI=20.

n° faglia da profilo geotecnico	copertura (m)	Terreno attraversato	Affidabilità dell'esistenza della faglia	Intersezione della zona di faglia nei sondaggi	Affioramenti della zona di faglia in superficie da Progetto Definitivo	Affioramenti della zona di faglia in superficie da Progetto Esecutivo	GSI (-)
2	150-300	porfiroidi	certa	EO31	-	-	20
3	100-150	porfiroidi	fotointerpretata	-	Stop 1118-1119 - rilevata zona di faglia subverticale con Direzione N330, spessore 30-40 cm - damage zone 1 m.	Stop 126: misurato piani di faglia con giacitura 320/86 e 280/61	20

Tabella 7-3 – Parametri di faglia per la tratta delle gallerie di linea scavate in tradizionale Gardena.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	19 di 224

7.3.4 Regime idraulico

Lo studio idrogeologico ha consentito di definire le principali caratteristiche dell'area e lo schema di deflusso idrico sotterraneo relativo all'opera in oggetto. Il modello idrogeologico così sviluppato è stato quindi integrato con ulteriori dati provenienti dal monitoraggio piezometrico delle strumentazioni appositamente installate nei fori di sondaggio e dalle numerose prove di permeabilità condotte in fase di perforazione.

I depositi quaternari costituiti da alluvioni antiche e recenti, depositi glaciali e fluvioglaciali, depositi detritici gravitativi e depositi colluviali hanno un grado di permeabilità elevato e la permeabilità è di tipo primario, cioè per porosità. Diversamente dai depositi quaternari, gli ammassi rocciosi del substrato presentano una scarsa se non nulla permeabilità di tipo primario, per cui il deflusso idrico sotterraneo è determinato da permeabilità di tipo secondario, la cui entità è strettamente dipendente dal grado di fratturazione e dall'interconnessione dei sistemi di fratture che generano le direttrici principali di flusso.

In Tabella 7-4 sono riportate le cinque classi di permeabilità definite per il presente progetto e i rispettivi range di variabilità della permeabilità (Rif. [13]), mentre nella Tabella 7-5 sono state associate le classi di permeabilità alle diverse unità indagate.

CLASSI DI PERMEABILITA'		RANGE DI PERMEABILITA' (m/s)	
K5	ALTA	$K > 10^{-4}$	Permeabilità primaria (per porosità)
K4	MEDIO ALTA	$10^{-5} < K \leq 10^{-4}$	
K3	MEDIA	$10^{-6} < K \leq 10^{-5}$	Permeabilità secondaria (per fratturazione)
K2	BASSA	$10^{-8} < K \leq 10^{-6}$	
K1	MOLTO BASSA	$K \leq 10^{-8}$	

Tabella 7-4 – Classi di permeabilità.

CLASSI DI PERMEABILITA'		RANGE DI PERMEABILITA' (m/s)	
Bassa	K2	Porfiroidi	<i>p</i>
Alta	K5	Detrito di versante	<i>d</i>

Tabella 7-5 – Attribuzione delle unità geologiche alle classi di permeabilità.

Per le zone di faglia e le fasce tettonizzate la permeabilità è maggiore rispetto a quella prevista per l'ammasso roccioso in Tabella 7-5. Nella tratta di scavo in tradizionale interessata dalla seguente relazione è valutato alto il rischio di venute d'acqua unicamente in presenza della faglia, mentre risulta nullo nel le altre tratte.

Sul profilo geotecnico è riportata l'attribuzione degli intervalli di permeabilità sopra definiti (Rif. [4]-[9]).

La stima delle possibili interferenze dell'opera in progetto sulle risorse idriche è stata effettuata utilizzando l'indice DHI Drawdon Hazard Index (Rif. [13]). L'indice DHI prevede la modellazione dell'ammasso roccioso

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	20 di 224

come mezzo poroso equivalente; inoltre, l'effetto della galleria è simulato senza considerare eventuali interventi di mitigazione delle venute d'acqua in galleria (es. impermeabilizzazione al contorno del cavo). Tali ipotesi definiscono uno scenario conservativo rispetto alla previsione della possibile interferenza con le sorgenti e con i pozzi. La definizione delle classi di rischio è riportata in Tabella 7-6.

Range DHI	Classe di Rischio
< 0.1	Nulla
0.1 ÷ 0.2	Basso
0.2 ÷ 0.3	Medio
> 0.3	Alto

Tabella 7-6 – Classi di rischio DHI.

I risultati della valutazione dell'impatto sulle sorgenti/pozzi dimostra che il 90% dei punti ricade entro le classi di rischio basso e nullo, mentre il 10% ricade nelle classi di rischio medio e alto (7% e 3% rispettivamente). Si rimanda agli elaborati specialistici per l'identificazione e l'ubicazione delle sorgenti a rischio (Rif.[13]).

È stata inoltre condotta una stima qualitativa dell'impatto da parte dello scavo sull'idrografia superficiale, prendendo in considerazione i possibili scambi tra i corsi d'acqua e i sistemi di flusso sotterranei, attraverso i principali sistemi di fratturazione presenti nell'area. I risultati di tale studio dimostrano che per tutti i torrenti il rischio stimato è medio alto. Si rimanda agli elaborati specialistici per l'identificazione e l'ubicazione dei corsi d'acqua a rischio (Rif. [13]).

Lo studio idrogeologico ha condotto, inoltre, alla stima degli afflussi d'acqua attesi in galleria in fase di scavo (regime transitorio). Le stime sono state condotte nell'ipotesi che il contorno dello scavo sia perfettamente drenante, quindi senza tener conto di interventi di consolidamento o dei sistemi di impermeabilizzazione. L'ammasso roccioso è stato modellato come mezzo poroso equivalente. La portata in galleria è definita con riferimento ad una tratta di 10 m di lunghezza, assumendo che le caratteristiche idrogeologiche siano omogenee e che lo scavo avvenga istantaneamente, senza produrre perturbazioni al regime idraulico nelle tratte adiacenti. Con tali ipotesi conservative, si massimizzano le portate d'acqua stimate, definite portate massime transitorie (Rif. [13]). Sono state quindi definite sei classi di portata massima transitoria riferite ad una tratta di 10 m di lunghezza:

- 1. $q = 0 \div 0.2$ l/s/10m
- 2. $q = 0.2 \div 0.4$ l/s/10m
- 3. $q = 0.4 \div 2$ l/s/10m
- 4. $q = 2 \div 10$ l/s/10m
- 5. $q = 10 \div 20$ l/s/10m
- 6. $q > 20$ l/s/10m

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>GN0000009</td> <td>C</td> <td>21 di 224</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	21 di 224													

7.3.5 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 Gardena mostrano che il coefficiente K_0 assume valori generalmente compresi tra 0.6 e 1.5.

Sulla base di quanto indicato nella relazione [39], il valore di K_0 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"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	22 di 224

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. [10]), 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. [10]) 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 di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	23 di 224

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 comportamento 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.

8.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle curve caratteristiche.

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

8.2.1 Determinazione delle categorie di comportamento

8.2.1.1. Metodo di analisi

Il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento) è un metodo di calcolo che consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso vengono studiati separatamente: la curva caratteristica del cavo (o curva di convergenza) rappresenta l'evoluzione della convergenza radiale del cavo al diminuire della tensione radiale agente sul contorno del profilo di scavo, espressa in funzione del tasso di deconfinamento λ con cui viene simulato l'effetto dello scavo in avanzamento; la curva caratteristica dei sostegni (o curva di confinamento) rappresenta l'evoluzione della loro convergenza radiale al crescere della pressione radiale agente sugli stessi. L'intersezione tra la curva di convergenza e la curva di confinamento individua il punto di equilibrio rappresentativo dello stato finale della galleria rivestita.

Le ipotesi alla base del metodo sono le seguenti:

- simmetria cilindrica e stato piano di deformazione;
- ammasso omogeneo ed isotropo;

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	24 di 224

- stato tensionale iniziale isotropo.

L'ideale campo di applicazione è pertanto costituito da gallerie profonde a sezione circolare.

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte mediante implementazione delle soluzioni analitiche disponibili in Excel. Nello specifico, per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico perfetto, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb. Per il calcolo della curva caratteristica del fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche.

Per le analisi di seguito riportate, relative alla fase di diagnosi, e finalizzate quindi alla sola valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso per la determinazione della categoria di comportamento, non viene presa in considerazione l'interazione con i sostegni, per cui la soluzione del problema è ridotta alla valutazione della sola curva caratteristica del cavo e della curva caratteristica del fronte in assenza di interventi.

8.2.1.2. Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state definite delle tratte omogenee, come sintetizzato nel Profilo Geotecnico (Rif. [4] - [7]). Per ognuna di esse è stata considerata una sezione di analisi, così come sintetizzato in Tabella 8-1, corrispondente alla progressiva di maggiore copertura all'interno della tratta omogenea. Nel dettaglio:

- Per la sezione 1 parametri minimi dei range con $GSI=30$, $\sigma_{ci} = 40$, $E_i=12$ GPa;
- Per la sezione 2: parametri minimi del range e massima copertura;
- Per la sezione 3: parametri di faglia 1 e massima copertura;
- Per la sezione 4: parametri minimi dei range e massima copertura;
- Per la sezione 5: parametri massimi dei range e massima copertura;
- Per la sezione 6: parametri minimi dei range con $\sigma_{ci} = 40$ MPa ed $E_i = 18$ GPa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 25 di 224

Sezione di calcolo	Unità	pk [km]	H [m]	A _{scavo} [m ²]	R _{eq} [m]	S _m [MPa]	γ [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [kPa]	E _k [MPa]
1	p	16+010	30	85.9	5.23	0.81	27	170	46	980
2	p	16+090	80	80.4	5.06	2.16	27	407	45.0	3600
3	p (1)	16+115	95	89.79	5.35	2.57	27	232	36.0	1000
4	p	16+145	115	78.1	4.98	3.11	27	600	43	5000
5	p	16+325	150	78.1	4.98	4.05	27	680	41.0	5000
6	p	16+325	150	78.1	4.98	4.05	27	620	39.0	4000

H: profondità dell'asse della galleria

S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria

A_{scavo}: area di scavo

R_{eq}: raggio di scavo equivalente

γ: peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_k: valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

φ'_k: valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_k: valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 8-1– Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 26 di 224

8.2.1.3. Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce di due aspetti:

- Confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso σ_c e la pressione critica al fronte p_c che individua il passaggio da comportamento elastico a quello plastico;
- Sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento i seguenti due criteri:

σ_c/p_c	Classe di comportamento
≥ 1.2	A
< 1.2 e ≥ 0.8	A / B
< 0.8 e ≥ 0.2	B / C
< 0.2	C

Tabella 8-2 – Criterio 1.

u_F/R_{eq}	R_{pF}/R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0.2 \%$	≤ 1.1	A
$> 0.2 \%$ e $\leq 0.5 \%$	> 1.1 e ≤ 1.5	B
$> 0.5 \%$	> 1.5	C
u_F : convergenza radiale al fronte R_{pF} : raggio plastico al fronte R_{eq} : raggio di scavo equivalente della galleria		

Tabella 8-3 – Criterio 2.

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e in condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo da cui deriva l'individuazione degli eventuali necessari interventi di precontenimento e contenimento.

I risultati delle analisi sono rappresentati nelle figure seguenti e sono riassunti nella tabella seguente. Per maggior completezza la tabella riporta anche la convergenza radiale (u_∞) finale in assenza di sostegno.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 27 di 224

Sezione di Calcolo	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	u_∞ [cm]	Criterio		
									1	2.1	2.2
1	0,86	0,05	16,58	0,30	0,06	5,37	1,03	0,60	A	A	A
2	1,97	0,20	9,76	0,22	0,04	5,27	1,04	0,44	A	A	A
3	0,91	0,67	1,35	1,59	0,30	6,52	1,22	3,34	A	B	B
4	2,75	0,33	8,38	0,23	0,05	5,23	1,05	0,45	A	A	A
5	2,99	0,58	5,15	0,32	0,06	5,44	1,08	0,65	A	A	A
6	2,58	0,70	3,66	0,43	0,09	5,49	1,10	0,86	A	A	B

$\sigma_c = (2c \cos\varphi)/(1 - \sin\varphi)$: resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso
 $p_c = (3\sigma_0 - 2\sigma_c)/(1 + 2 K_p)$: pressione critica al fronte (con K_p coefficiente di spinta passiva)
 u_F : convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)
 R_{pF} : raggio plastico al fronte (soluzione cavità sferica)
 u_∞ : convergenza finale del cavo
 R_{eq} : raggio di scavo equivalente della galleria

Tabella 8-4 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi.

L'osservazione dei risultati riassunti nella Tabella 8-4 permette di trarre le seguenti conclusioni:

- le zone omogenee relative alle sezioni di calcolo 1, 2, 4, 5 e 6 presentano una condizione di stabilità a lungo termine del nucleo-fronte, che giustifica l'utilizzo di una sezione di scavo di tipo A;
- la zona omogenea relativa alla sezione di calcolo 3 presenta un comportamento di stabilità a breve termine del nucleo-fronte che giustifica l'utilizzo di una sezione di avanzamento di tipo B.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 28 di 224

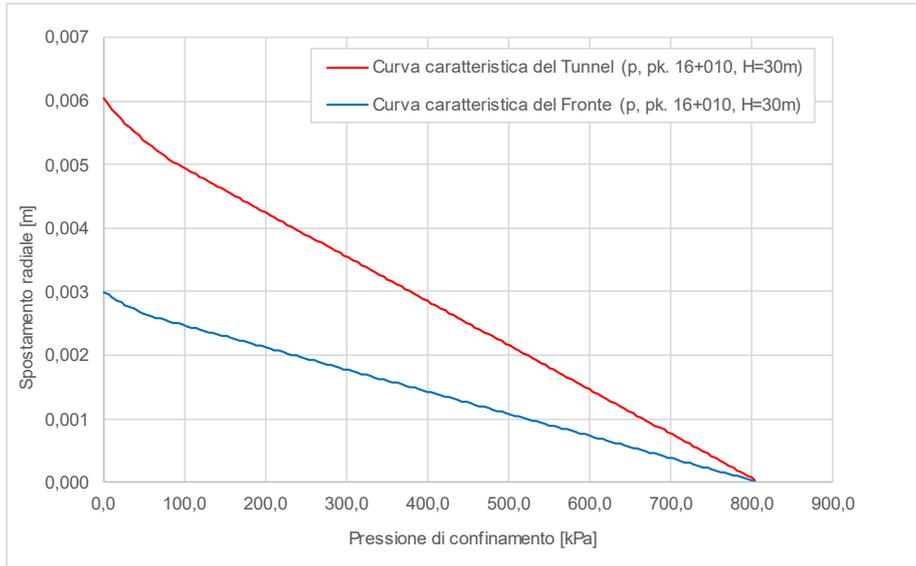


Figura 8-1 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 1.

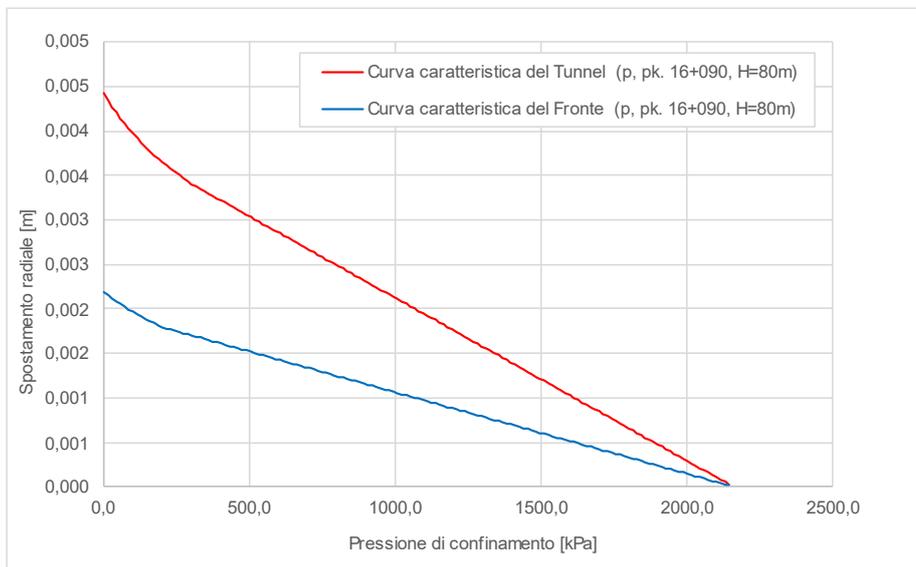


Figura 8-2 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 2.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 29 di 224

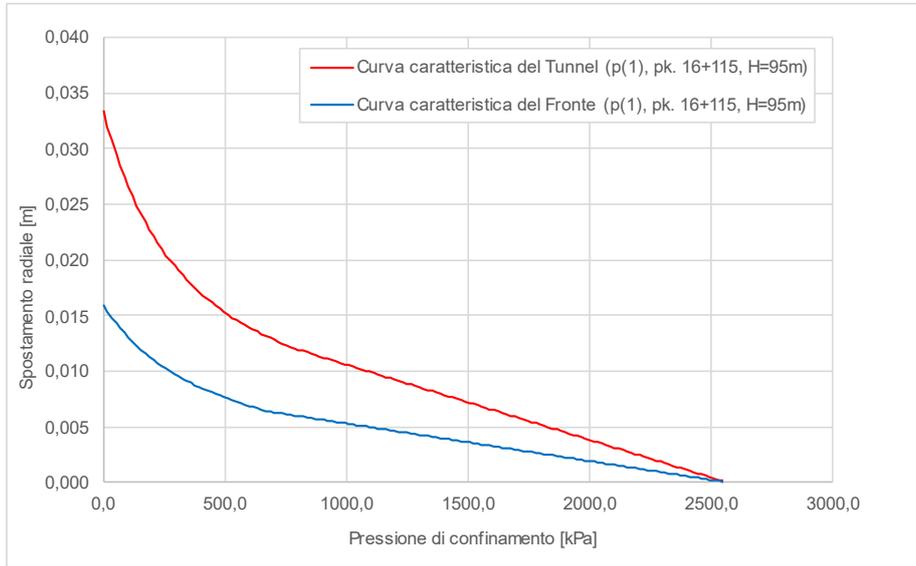


Figura 8-3 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 3.

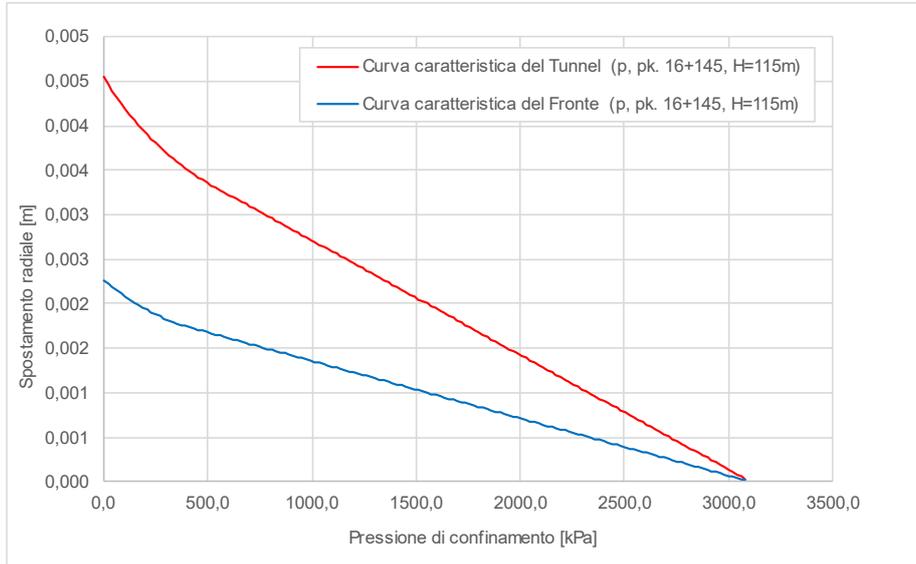


Figura 8-4 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 4.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 30 di 224

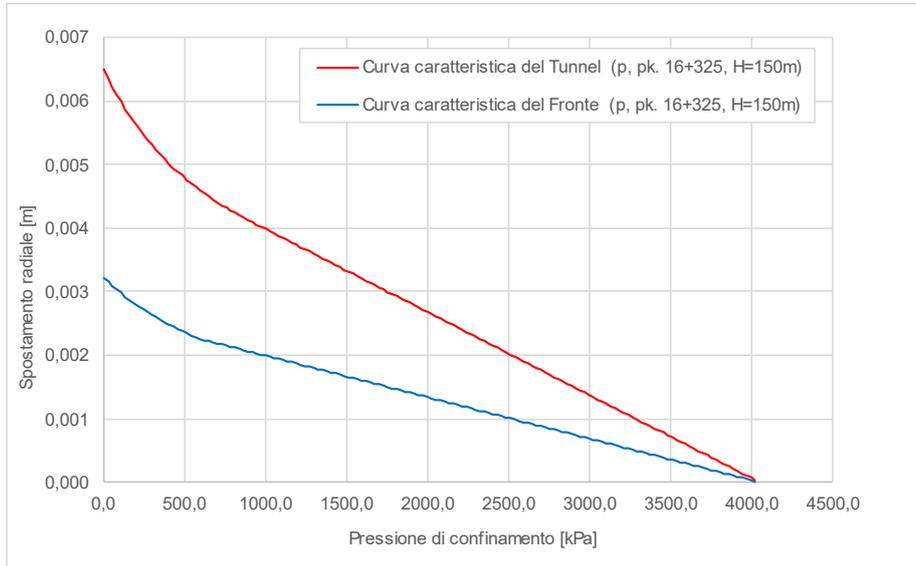


Figura 8-5 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 5.

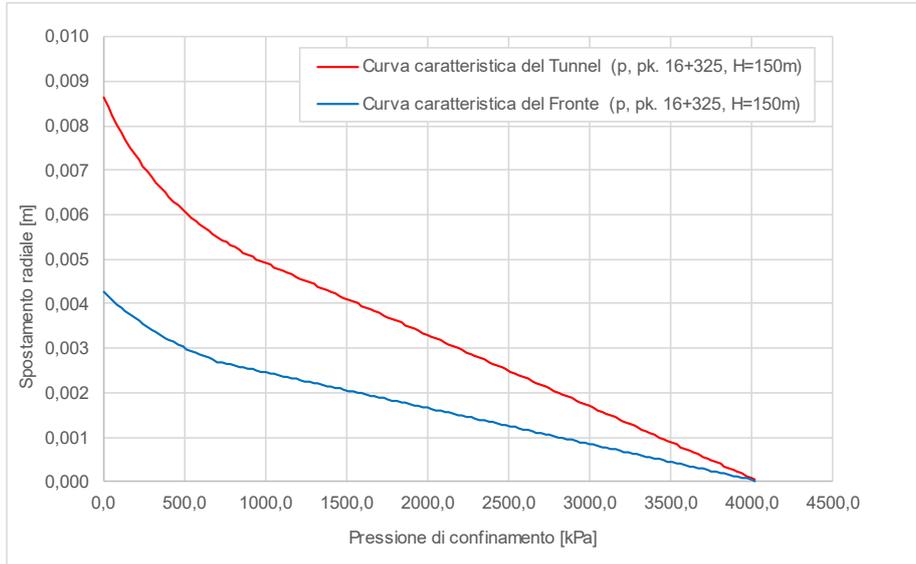


Figura 8-6 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 6.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 31 di 224

8.2.2 Analisi del rischio di "squeezing"

Il termine *squeezing* identifica grandi deformazioni che si sviluppano nel tempo attorno al cavo per il raggiungimento della soglia di *creep* dell'ammasso. Entità e velocità delle deformazioni sono funzione delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso, dello stato tensionale, delle caratteristiche strutturali (scistosità, piani di stratificazione), delle condizioni idrauliche.

In questa fase della progettazione, il potenziale rischio di fenomeni di *squeezing* è stato analizzato facendo ricorso a metodi semi-empirici di comprovata validità (Jethwa et al. 1984 (Rif.[21]), Hoek e Marinos 2000 (Rif. [18])), che forniscono indicatori di occorrenza del fenomeno e una stima delle deformazioni attese.

Il metodo di Jethwa et al. (1984) (Rif.[21]) si basa sul confronto tra la resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso e lo stato tensionale originario.

$$N_C = \frac{\sigma_{cm}}{p_0} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot H}$$

Dove:

σ_{cm} : resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

p_0 : tensione litostatica

γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso roccioso

H: profondità della galleria

Fornendo la seguente classificazione:

$\frac{\sigma_{cm}}{p_0}$	comportamento
< 0.4	Highly Squeezing
0.4 ÷ 0.8	Moderately Squeezing
0.8 ÷ 2	Midly Squeezing
> 2	Non Squeezing

L'approccio di Hoek e Marinos (2000) (Rif. [18]) si basa sulla relazione tra il rapporto σ_{cm}/p_0 e la deformazione del cavo ε_t :

$$\varepsilon_t(\%) = 0.15 \left(1 - \frac{p_i}{p_0} \right) \cdot \frac{\sigma_{cm}}{p_0} - \left(\frac{3 \frac{p_i}{p_0} + 1}{3.8 \frac{p_i}{p_0} + 0.54} \right)$$

dove:

σ_{cm} : resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

p_0 : tensione litostatica

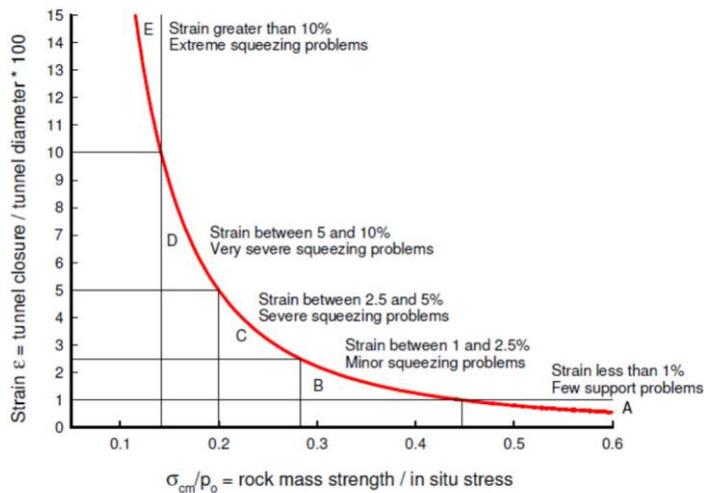
p_i : tensione esercitata da un supporto interno

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 32 di 224

La resistenza a compressione dell'ammasso roccioso è definita in funzione dell'indice GSI e dei parametri σ_{ci} e m_i della roccia intatta:

$$\sigma_{cm} = (0.0034 m_i^{0.8}) \cdot \sigma_{ci} \cdot [1.029 + 0.025 e^{-0.1 m_i}]^{GSI}$$

Sulla base di numerosi casi reali, la correlazione tra la deformazione ϵ_t e il rapporto σ_{cm}/p_0 è associata a classi di comportamento e alla seguente classificazione in termini di *squeezing*.



ϵ_t (%)	Livello di Squeezing
< 1	Few support problem
1 ÷ 2.5	Minor squeezing
2.5 ÷ 5	Severe Squeezing
5 ÷ 10	Very Severe Squeezing
> 10	Extreme Squeezing

In genere il metodo di Jethwa fornisce risultati più conservativi.

Nel caso della galleria naturale Gardena del Lotto 1, per le progressive in cui è previsto lo scavo in tradizionale, sono stati utilizzati entrambi i metodi allo scopo di identificare la possibilità di *squeezing* nell'attraversamento della formazione dei *Porfiroidi*: le analisi sono state condotte per le diverse coperture previste e per diversi valori dell'indice GSI e dei parametri di resistenza, rappresentativi delle diverse condizioni geotecniche che possono presentarsi nello scavo della galleria (in presenza o meno di zone tettonizzate). Di seguito sono illustrati i risultati.

I metodi semi-empirici di Jethwa et al. (1984) (Rif.[21]) e di Hoek e Marinos (2000) (Rif. [18]) sono strettamente legati alle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso; pertanto, l'attendibilità della previsione è legata all'affidabilità della previsione delle caratteristiche dell'ammasso attraversato: la conseguente valutazione del potenziale di *squeezing* deriva quindi dal mutuo incrocio dei risultati dei due metodi, debitamente ponderati.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel Profilo Geotecnico (Rif. [4] - [7]).

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	33 di 224

Porfiroidi

Litotipo	pk	H	γ	p_0	m_i	σ_{ci}	GSI	σ_{cm}	N_c	Metodo di Jehtwa	ϵ_t	Metodo di Hoek-Marinos
(-)	(Km)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(-)	(MPa)	(-)	(MPa)	(-)	(-)	(%)	(-)
ρ	15+985	19.32	27	0.522	7	40	30	2.179	4.179	Non Squeezing	0.011	Few Support Problem
ρ	16+035	49.03	27	1.324	7	40	40	3.270	2.470	Non Squeezing	0.028	Few Support Problem
ZD 1	16+085	79.71	27	2.152	7	50	20	1.816	0.844	Midly Squeezing	0.206	Few Support Problem
ρ	16+135	109.77	27	2.964	7	40	45	4.006	1.352	Midly Squeezing	0.086	Few Support Problem
ρ	16+185	134.66	27	3.636	7	40	45	4.006	1.102	Midly Squeezing	0.125	Few Support Problem
ρ	16+235	138.20	27	3.731	7	40	45	4.006	1.074	Midly Squeezing	0.132	Few Support Problem
ρ	16+285	151.18	27	4.082	7	40	45	4.006	0.981	Midly Squeezing	0.155	Few Support Problem
ρ	16+305	155.31	27	4.193	7	40	45	4.006	0.955	Midly Squeezing	0.163	Few Support Problem

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					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	34 di 224

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

La galleria Gardena è realizzata con metodo di scavo in tradizionale sino alla pk 16+375 km (B.D.). Per la scelta del metodo di scavo si rimanda alla Relazione tecnica (Rif. [3]).

In merito alle modalità di avanzamento si prevede l'adozione dello scavo a piena sezione, ad eccezione delle sezioni di grandi dimensioni (Cameroni). Nell'attraversamento di zone fratturate sono previsti interventi di precontenimento del fronte ed interventi radiali di sostegno. Il rivestimento di prima fase è nella generalità dei casi composto da spritz-beton e centine metalliche. I rivestimenti definitivi sono previsti in calcestruzzo non armato e armato, in funzione del contesto geotecnico attraversato e dalle condizioni di carico. 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. Nell'attraversamento di zone molto fratturate e nelle quali il regime idraulico sotterraneo potrebbe essere connesso con sorgenti o corsi d'acqua si prevedono interventi e soluzioni particolari, al fine di mitigare l'eventuale interferenza della galleria con le risorse idriche superficiali.

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 tipo sono descritti ed argomentati all'interno delle linee guida [40], cui si rimanda per ulteriori dettagli.

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.

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	35 di 224

9.1.1 Sezione A0bis

La sezione A0bis è prevista all'interno dei Porfiroidi (unità p) struttura massiva, con buone proprietà geomeccaniche ed un GSI variabile tra 45 e 50. Indicativamente il rapporto tra la resistenza a compressione dell'ammasso e la tensione in sito è pari a $\sigma_{cmk} / \sigma_{0max} > 0.4$. Fronte e cavo stabile in assenza di sostegni, classe A secondo la classificazione ADECO-RS. Scenario di pericolo prevalente: caduta blocchi. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [40].

Interventi di prima fase:

- rivestimento di prima fase composto da uno strato di 5+15 cm di spritz-beton fibrorinforzato. Intervento di sostegno al contorno composto da 9+10 bulloni radiali di tipo Swellex, di lunghezza pari a 4.0 m, passo longitudinale di 2.0 m e trasversale di 1.5 m.
- applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 5 cm su ogni sfondo;
- eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 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 non armato con spessore 0.60 m;
- calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.50 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1: eventuale esecuzione dei drenaggi in avanzamento.
- Fase 2: scavo a piena sezione mediante esplosivo con sfondi di profondità massima 3.0 m con sagomatura del fronte a forma concava ed esecuzione betoncino proiettato fibrorinforzato sul fronte e sul contorno (5cm).
- Fase 3: realizzazione chiodature radiali.
- Fase 4: realizzazione strato di betoncino proiettato fibrorinforzato (15 cm)
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione e del sistema di drenaggio;
- Fase 6: esecuzione del rivestimento definitivo in funzione del comportamento deformativo del cavo, come da linee guida.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	36 di 224

9.1.2 Sezione A1L

La sezione A1L è prevista all'interno dei porfiroidi (unità p) maggiormente fratturati GSI 40 – 45. Fronte e cavo stabile / stabile in assenza di sostegni, classe A secondo la classificazione ADECO-RS. Indicativamente il rapporto tra la resistenza a compressione dell'ammasso e la tensione in sito è pari a $\sigma_{cmk} / \sigma_{0max} = 0.35 - 0.4$. Scenario di pericolo prevalente: caduta blocchi. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [40].

Interventi di prima fase:

- rivestimento di prima fase composto da uno strato di 5+15 cm di spritz-beton fibrorinforzato. Intervento di sostegno al contorno composto da 14+15 bulloni radiali $\phi 24$ mm, di lunghezza pari a 5.0 m, passo longitudinale di 1.4 m e trasversale di 1.2 m.
- applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 5 cm su ogni sfondo;
- eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 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 spessore di 0.60 m;
- calotta in calcestruzzo non armato, con spessore di 0.50 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1: eventuale esecuzione dei drenaggi in avanzamento.
- Fase 2: scavo a piena sezione mediante esplosivo con sfondi di profondità massima 2.8 m con sagomatura del fronte a forma concava ed esecuzione betoncino proiettato fibrorinforzato sul fronte e sul contorno (5cm).
- Fase 3: realizzazione chiodature radiali.
- Fase 4: realizzazione strato di betoncino proiettato fibrorinforzato (15 cm)
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione e del sistema di drenaggio;
- Fase 6: esecuzione del rivestimento definitivo in funzione del comportamento deformativo del cavo, come da linee guida.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	37 di 224

9.1.3 Sezione A1

La sezione tipo A1 è prevista all'interno dei Porfiroidi (unità p) maggiormente fratturati GSI 35 – 40. Fronte e cavo stabile / stabile a breve termine in assenza di sostegni, classe A/B secondo la classificazione ADECO-RS. Indicativamente il rapporto tra la resistenza a compressione dell'ammasso e la tensione in sito è pari a $\sigma_{cmk} / \sigma_{0max} = 0.25 - 0.35$. Scenario di pericolo prevalente: caduta blocchi, squeezing basso. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [40].

Interventi di prima fase:

- priverivestimento composto da uno strato di 5+20 cm di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 180 con passo 1.4 m.
- applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 5 cm su ogni sfondo;
- Eventuale intervento di sostegno al contorno composto da 14+15 bulloni radiali $\phi 24$ mm, di lunghezza pari a 5.0 m, passo longitudinale di 1.4 m e trasversale di 1.2 m.
- eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 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 spessore di 0.60 m;
- calotta in calcestruzzo non armato, con spessore di 0.60 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1: eventuale esecuzione dei drenaggi in avanzamento.
- Fase 2: scavo a piena sezione mediante esplosivo con sfondi di profondità massima 2.8 m con sagomatura del fronte a forma concava ed esecuzione betoncino proiettato fibrorinforzato sul fronte e sul contorno (5cm).
- Fase 3: eventuale realizzazione chiodature radiali.
- Fase 4: posa centine.
- Fase 5: realizzazione strato di betoncino proiettato fibrorinforzato (20 cm).
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione e del sistema di drenaggio.
- Fase 7: esecuzione del rivestimento definitivo come da linee guida.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	38 di 224

9.1.4 Sezione B1L

La sezione tipo B1L è prevista all'interno dei Porfiroidi (unità p) maggiormente fratturati GSI 30-35 e/o porfiroidi fratturati con coperture <90m. Fronte e cavo stabile a breve termine in assenza di sostegni, classe B secondo la classificazione ADECO-RS. Indicativamente il rapporto tra la resistenza a compressione dell'ammasso e la tensione in sito è pari a $\sigma_{cmk} / \sigma_{0max} = 0.20 - 0.25$. Rischi potenziali prevalenti: deformazioni, squeezing medio, spinte dissimetriche, venute d'acqua rischio medio. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [40].

Interventi di prima fase:

- applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 5 cm sui singoli sfondi e con spessore pari a 10 cm per ogni fine campo;
- rivestimento di prima fase composto da uno strato di 5+25 cm di spritz-beton fibrorinforzato e centine accoppiate IPN 180 con passo 1.2 m.
- preconsolidamento al fronte realizzato mediante 24 barre autoperforanti di tipo DYWI R51N di lunghezza pari 15.0 m, sovrapposizione minima pari a 5.4 m, cementati in foro con miscele cementizie;
- preconsolidamento al contorno mediante 18 barre autoperforanti di tipo DYWI R51N di lunghezza pari a 12 m, cementati in foro con miscele cementizie, con passo di installazioni pari a 4.8 m;
- eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 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 di spessore 0.80 m;
- calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.70 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1: esecuzione degli interventi in avanzamento sul fronte (ogni 4 sfondi per gli ancoraggi) e sul contorno (ogni 2 sfondi prima della messa in opera delle centine del campo precedente);
- Fase 2: eventuale esecuzione dei drenaggi in avanzamento;
- Fase 3: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 2.4 m, a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava. Applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno di 5cm al contorno ed al fronte con spessore pari a 5 cm sul 50 % dei singoli sfondi e con spessore pari a 10 cm per ogni fine campo;
- Fase 4: posa centine;
- Fase 5: realizzazione strato di betoncino proiettato fibrorinforzato di 25 cm;

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	39 di 224

- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione e del sistema di drenaggio a tergo delle murette;
- Fase 7: getto di murette e arco rovescio a distanza dal fronte di scavo come definito in tabella delle distanze;
- Fase 8: posa in opera dell'impermeabilizzazione di calotta;
- Fase 9: getto della calotta a distanza dal fronte di scavo come definito in tabella delle distanze.

9.1.5 Sezione B1

La sezione tipo B1 è prevista all'interno dei Porfiroidi (unità p) maggiormente fratturati GSI 20-30 e/o porfiroidi fratturati con coperture <90m Fronte e cavo stabile a breve termine in assenza di sostegni, classe B secondo la classificazione ADECO-RS. Indicativamente il rapporto tra la resistenza a compressione dell'ammasso e la tensione in sito è pari a $\sigma_{cmk} / \sigma_{0max} = 0.15 - 0.20$. Rischi potenziali prevalenti: deformazioni, squeezing medio, spinte dissimetriche, venute d'acqua rischio medio. La variabilità dei sostegni è riportata all'interno delle linee guida [40].

Interventi di prima fase:

- Sostegno al fronte con 20 elementi strutturali in VTR di lunghezza L=13,5 m, cementati in foro con miscele cementizie; 10 cm di SB fibrorinforzato sui singoli sfondi e 15 cm a fine campo.
- Sostegno al contorno mediante 25 tubi in acciaio $\varnothing 127$ mm, sp.= 10 mm, L=12 m, valvolati (1 valvola/m), p=0,4 m, compresi entro un angolo di 120°.
- Drenaggi in avanzamento n° 4(2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 13 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.
- Spritz-beton fibrorinforzato 5+25 cm con centine metalliche 2 IPN 180, $i = 1.0$ m.

Rivestimento definitivo:

- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore 0.80 m;
- calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.50 – 1.15 m.

Macrofasi costruttive:

- Fase 1: esecuzione sul fronte di avanzamento di uno strato di spritz fibro rinforzato ed esecuzione del precontenimento al fronte secondo la geometria di progetto;
- Fase 2: esecuzione del precontenimento e del presostegno del contorno secondo la geometria di progetto;
- Fase 3: eventuale esecuzione dei drenaggi in avanzamento;

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>GN0000009</td> <td>C</td> <td>40 di 224</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	40 di 224													
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo																		

- Fase 4: esecuzione dello scavo a piena sezione per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1m, sagomando il fronte a forma concava e per una lunghezza massima del campo di scavo pari a 8.5m; applicazione di uno strato di betoncino proiettato fibrorinforzato di 5cm al contorno, di 10cm sul fronte del 50% dei singoli sfondi e di 15cm sul fronte di scavo per ogni fine campo;
- posa in opera delle centine metalliche e del secondo strato di betoncino proiettato fibrorinforzato di 25 cm, le centine dovranno essere collegate tra loro attraverso le apposite catene;
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione e del sistema di drenaggio a tergo delle murette;
- Fase 7: getto di murette e arco rovescio a distanza dal fronte di scavo come definito in tabella delle distanze;
- Fase 8: posa in opera dell'impermeabilizzazione di calotta;
- Fase 9: getto della calotta a distanza dal fronte di scavo come definito in tabella delle distanze.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	41 di 224

9.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

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. [11]e [12]) e al "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili " (Rif.[14]).

Rivestimento provvisorio

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					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	42 di 224

Bulloni Swellex Pm16	
Tipo	Pm16
Tensione caratteristica di rottura ($f_{tk} \cdot A_s$)	$F_{tk} \geq 160$ kN
Tensione caratteristica di snervamento ($f_{yk} \cdot A_s$)	$F_{yk} \geq 140$ kN
Diametro	36 mm
Spessore	2 mm
Diametro di perforazione	43-52 mm
Allungamento massimo	20%

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

Bulloni autopерforanti in acciaio R51N	
Tipo	R51N
Carico caratteristico di rottura ($f_{tk} \cdot A_s$)	$F_{tk} \geq 800$ kN
Carico caratteristico di snervamento ($f_{yk} \cdot A_s$)	$F_{yk} \geq 630$ kN
Diametro esterno	51 mm
Diametro interno	33 mm
Diametro di perforazione	>100 mm

Rivestimento definitivo

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} = 14.1$ MPa
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447$ 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

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				
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 43 di 224	

Calcestruzzo non armato	
Classe di resistenza	C25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_c = 6.25 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$

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	$\sigma_{lim} = 0.75 f_{yk} = 337 \text{ MPa}$

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	44 di 224

9.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO

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]).

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

- verifiche degli scavi e consolidamenti per tutte le sezioni tipo mediante modelli FEM con impiego del software Plaxis.
- per le sezioni con chiodature ed assenza di centine con comportamento dell'ammasso A/B secondo la classificazione ADECO-RS, vengono eseguiti oltre i modelli con il software agli elementi finiti Plaxis, 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 è risultato il principale scenario di rischio per coperture inferiori agli 800 m circa (Rif. [42]). Negli allegati 1-2 sono riportate le verifiche per le sezioni tipo A0bis e A1L con le ipotesi di calcolo e procedura di verifica adottata. Nell'allegato 4 viene riportata la verifica del rivestimento definitivo secondo un approccio analogo a quanto considerato per la Galleria di base del Brennero considerando lo scenario di carico dei blocchi. Di seguito gli estratti delle ipotesi considerate per la galleria di base del Brennero con a destra il modello di calcolo 2D a barre-molle del rivestimento definitivo.

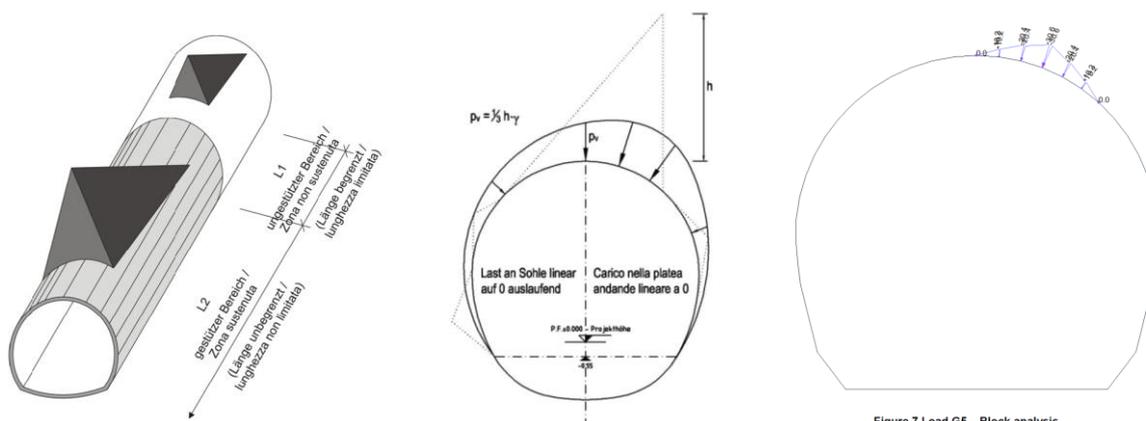


Fig. 1 – Carico da blocchi (Galleria di base del Brennero).

- i rivestimenti definitivi vengono verificati mediante il software Plaxis considerando 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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	45 di 224

9.3.1 Criteri di verifica

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

Le sezioni di analisi sono state scelte in corrispondenza delle massime coperture per ciascuna sezione tipo prevista e nella condizione geotecnica più critica interessata dall'opera, secondo i calcoli effettuati mediante le curve caratteristiche del fronte e della galleria, in modo da ottenere le massime sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali. Pertanto, si ritiene che le condizioni di calcolo analizzate siano rappresentative e valide per ogni condizione di applicazione delle sezioni tipo.

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]
5	A0bis	p	16+325	150
6	A1L	p	16+325	150
2	A1	p	16+090	80
1	B1L	p	16+010	30
3	B1	$p (1)$	16+115	95

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 dalle curve caratteristiche in presenza di sostegni riportate brevemente nel seguito.

Stabilità del fronte e del cavo

Le analisi di stabilità del fronte e del cavo sono mirate alla valutazione dello sviluppo di possibili meccanismi di collasso, con o senza propagazione verso la superficie, o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 pari ad 1.

La verifica della stabilità del fronte è condotta applicando i coefficienti parziali sui parametri di resistenza dell'ammasso e valutando il risultato della verifica in funzione della formulazione del particolare metodo di calcolo adottato (si può fare riferimento, ad esempio, al fattore di stabilità, o alla pressione di equilibrio al fronte, o al coefficiente di sicurezza globale o a sviluppo di elevate deformazioni/plasticizzazioni al fronte).

Gli interventi di consolidamento del fronte, realizzati mediante barre autoproforanti di tipo R51N o VTR a seconda delle sezioni tipo, sono simulati mediante un incremento di coesione equivalente del fronte ($\Delta c'$)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 46 di 224

valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte (σ'_3) determinata sulla base del valore più basso tra resistenza a trazione e resistenza a sfilamento dei singoli elementi, secondo le seguenti relazioni:

$$\Delta c' = \frac{1}{2} \sqrt{K_p} \sigma_3'^{DYWI}$$

con:

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

$$\sigma_3'^{DYWI} = \min(\sigma_{3,A}'^{DYWI}, \sigma_{3,B}'^{DYWI}) = \min\left(\frac{\tau_{bk} \cdot L_A \cdot p_A}{A_i}, \frac{f_{tk} \cdot A_T}{A_i}\right)$$

dove:

- τ_{bk} tensione di aderenza all'interfaccia con il terreno
- L_A lunghezza utile dell'elemento
- p_A perimetro dell'interfaccia con il terreno
- f_{tk} resistenza a trazione dell'elemento DYWI
- A_T sezione resistente a trazione dell'elemento DYWI
- A_i area di influenza del singolo elemento di consolidamento

In particolare, si assumono le seguenti proprietà per gli autoporforanti R51N:

- $\tau_{bk} = 250$ kPa, $A_t = 940$ mm² e $f_{tk} = 850$ MPa

Per i VTR si ha invece:

- $\tau_{bk} = 250$ kPa, $A_t = 1571$ mm² e $f_{tk} = 800$ MPa

Le valutazioni relative all'effetto dei consolidamenti sono condotte a partire dai parametri geotecnici caratteristici e adottando coefficienti parziali unitari sulle resistenze dei materiali; agli incrementi di coesione equivalente calcolati come sopra descritto può quindi essere applicato lo stesso coefficiente parziale previsto per la coesione dell'ammasso.

Per evidenziare l'effetto dei consolidamenti ai fini della stabilità del fronte, i risultati delle verifiche sono presentati per confronto con i corrispondenti risultati delle analisi svolte in fase di diagnosi (con valori caratteristici delle azioni e delle resistenze ed in assenza di interventi di consolidamento).

Interazione opera – terreno

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche agli elementi finiti (FEM: *finite element method*), utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D (Versione 2022) (Plane strain and Axial symmetry) 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.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	47 di 224

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 per le zone di terreno naturale.

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, pertanto, 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;
- 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 $R1 = 1$. Pertanto, 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 (N, M, T);
- Verifiche SLU rivestimento di prima fase: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni (N, M, T);
- Verifiche SLU rivestimento di definitivo: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni (N, M, T);

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]).

Gli interventi di contenimento radiale con bulloni di tipo Swellex sono implementati direttamente nei modelli numerici attraverso elementi *embedded beam raw* la cui geometria (diametro e spessore del bullone cavo, lunghezza, interasse longitudinale e trasversale) è congruente con quanto previsto in progetto.

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	48 di 224

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.

La seguente tabella riassume i parametri geotecnici adottati per i calcoli di dimensionamento, 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
A0bis	150	45	0.9	27	680	41	5000	20	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento mediante analisi a blocchi con software UnWedge Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
A1L	150	45	0.9	27	620	39	4000	20	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento mediante analisi a blocchi con software UnWedge Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
A1	80	40	0.9	27	407	45	3600	20	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
B1L	30	30	0.9	27	170	46	980	20	<ul style="list-style-type: none"> Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
B1	95	20	0.9	27	232	36	1000	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.

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 sono state eseguite con il codice agli elementi finiti PLAXIS 2D (versione 2022) 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 9-1.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 49 di 224

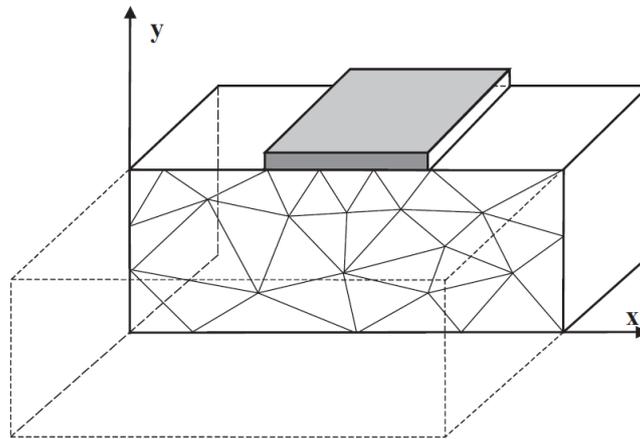


Figura 9-1 – Esempio di modello in condizione di deformazione piana.

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:

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

Questa equazione mette in relazione le derivate spaziali delle sei componenti di sforzo, assemblate nel vettore $\underline{\sigma}$, alle tre componenti delle forze di volume, assemblate nel vettore \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:

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

Questa equazione esprime le sei componenti di deformazione, assemblate nel vettore $\underline{\varepsilon}$, quali derivate spaziali delle tre componenti di spostamento, assemblate nel vettore \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:	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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IB0U	1AEZZ	RH	GN0000009	C	50 di 224

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

9.3.4 Ipotesi di calcolo

Per ogni sezione tipo analizzata sono state eseguite in sequenza la determinazione della curva caratteristica secondo quanto descritto al §8.2.1.1 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 dove presente. Il tasso di rilascio corrispondente alla convergenza valutata tramite la così detta curva caratteristica della galleria 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 nella figura seguente, dove si evincono le condizioni al contorno introdotte in termini di carrelli ai bordi laterali e di cerniere al bordo inferiore. La profondità della galleria imposta nel modello numerico pari a 5 volte il diametro equivalente dello scavo, D , e la larghezza dello stesso modello numerico, L , sono stati selezionati in maniera tale da minimizzare gli effetti di bordo. Nel caso di copertura rispetto all'asse dei centri, H , maggiore di 5 volte il diametro equivalente dello scavo, la profondità della galleria è posta pari a $H_{\text{numerico}} \geq 5 D$ al fine di limitare le dimensioni del modello numerico. Il peso dell'ammasso non considerato nel modello ($H - H_{\text{numerico}}$) è assegnato integralmente allo strato di spessore 1 m indicato in Figura 9-2.

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 9-3).

Per quanto attiene le sezioni con profilo di scavo rettilineo e verticale in corrispondenza del piedritto (A0bis, A1L, A1) la validazione delle ipotesi adottate in fase di modellazione sopra descritte è avvenuta anche attraverso un'analisi comparativa effettuata implementando un modello di confronto tale da riproporre una più fedele geometrizzazione del profilo di scavo.

La comparazione è stata condotta, in via cautelativa, per la sezione A1 che presenta spessori del rivestimento definito maggiori e quindi una deviazione teorica più accentuata tra profilo di scavo e asse di mezzeria del rivestimento definitivo. L'analisi ha mostrato come le verifiche condotte in PE risultino di fatto a favore di sicurezza per il rivestimento definitivo mentre il modello di confronto fornisce valori allineati alla modellazione già proposta garantendo comunque il rispetto dei limiti di normativa anche per i rivestimenti di prima fase. La comparazione illustrata consente pertanto di confermare le ipotesi di modellazione già adottate per le altre sezioni.

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.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 51 di 224

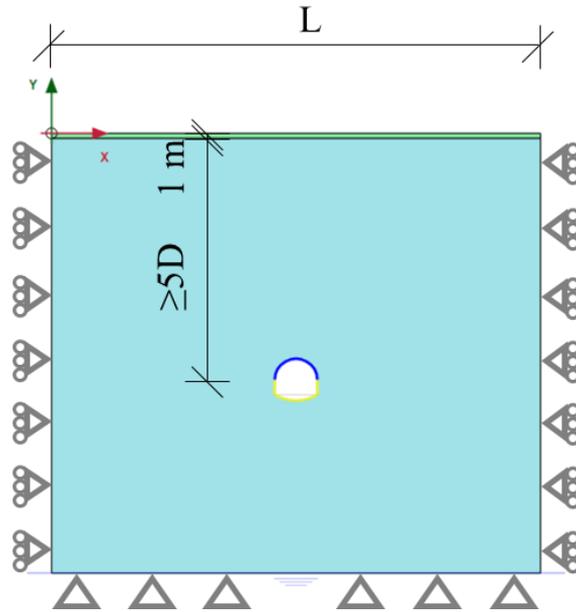


Figura 9-2 – Esempio di modello numerico in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

In figura, D rappresenta il diametro equivalente dello scavo e lo strato superficiale di spessore pari a 1 m è stato implementato nel caso di coperture rispetto all'asse della galleria maggiore di $5 \cdot D$.

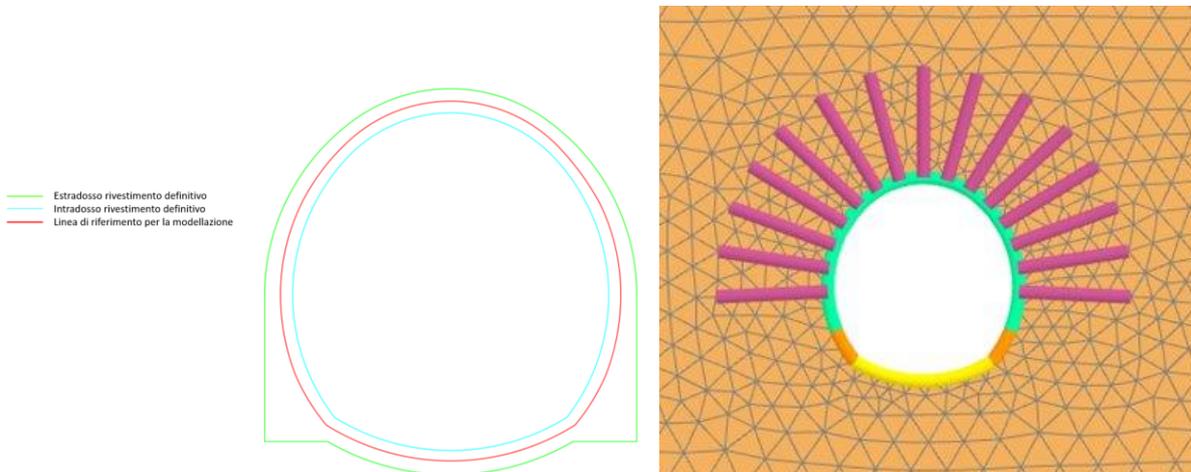


Figura 9-3 – Geometria tipo del rivestimento di prima fase e definitivo e particolare del modello numerico relativo agli elementi strutturali.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 52 di 224

9.3.5 Sezione A0bis

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

9.3.5.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A0bis	4.98	150	4.05	27	544	34.8	5000

H: copertura rispetto all'asse della galleria
 S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria
 γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Sezione di analisi	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
A0bis	2,08	0,95	2,18	0,41	0,08	5,88	1,16	A	A	B

Tabella 9-3 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A0bis.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono tali da poter ritenere la verifica di stabilità soddisfatta.

9.3.5.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della Sezione Tipo in oggetto.

Nella seguente figura è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 53 di 224

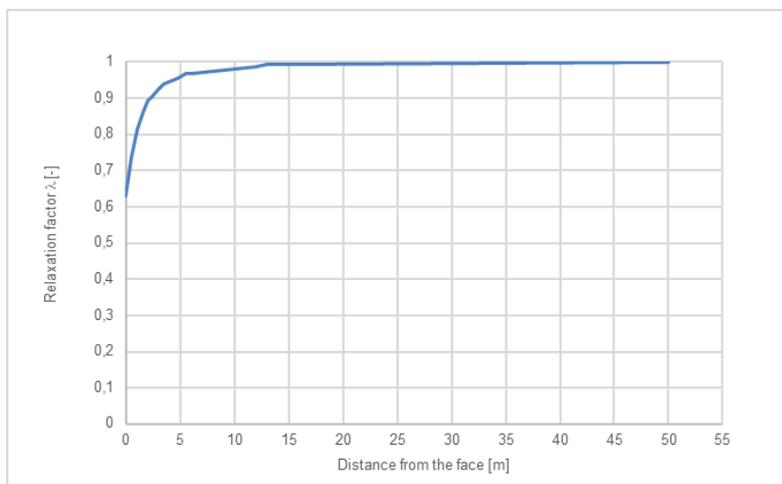


Figura 9-4 – Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo A0bis

La tabella seguente (Tabella 9-4) riassume le fasi di analisi numeriche per la sezione tipologica in esame e i relativi tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche:

Fase (#)	Descrizione (-)	λ (-)
0	Initial	-
1	Nil	-
2	Avanzamento in corrispondenza del fronte SX (x=0m)	0.631
3	Avanzamento tunnel SX (x=3m)	0.926
4	Attivazione bulloni radiali e provvisorio maturazione intermedia SX (x=6m)	0.966
5	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel SX (x=15m)	0.99
6	Avanzamento in corrispondenza del fronte DX (x=0m)	0.631
7	Avanzamento tunnel DX (x=3m)	0.926
8	Attivazione provvisorio maturazione intermedia DX (x=6m)	0.966
9	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (x=15m)	0.99
10	Attivazione Rivestimenti Definitivi	1.00
11	Lungo Termine	1.00

Tabella 9-4 – Fasi di calcolo riferite alla simulazione numerica 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:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 54 di 224

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato nella figura sottostante, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 1917 kN/m³ al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (150m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 80 m.

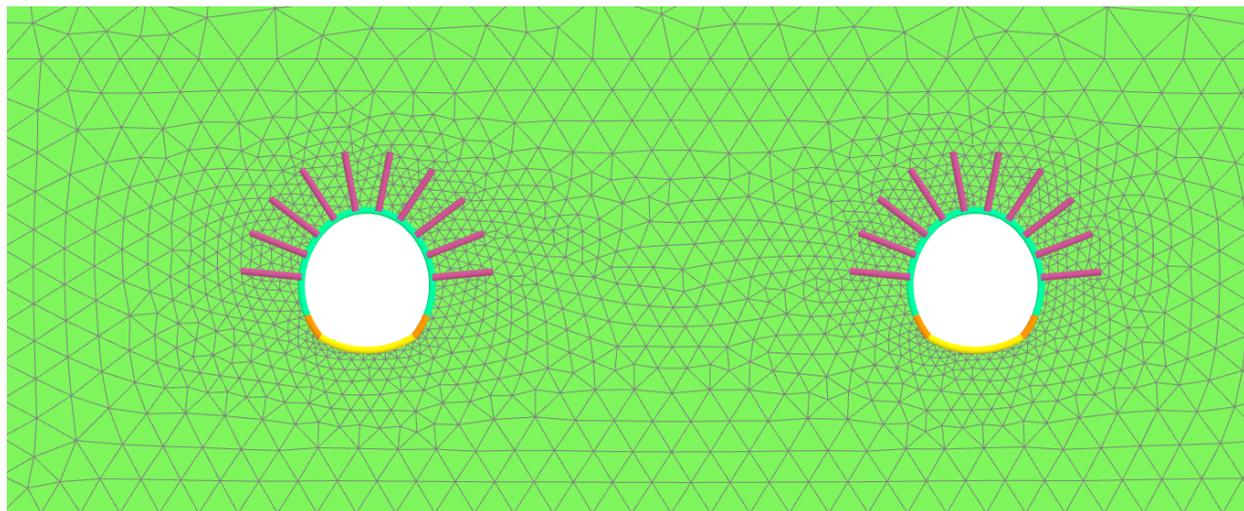


Figura 9-5 – Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali

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.

Sezione tipo	Sostegni						
	Sfondo max [m]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
A0bis	3,00	5+15	9/10 bulloni Swellex Pm16 ±20%, L = 4m p. long 2.0m x p. trasv 1.5m	-	spritz 5 cm su ogni sfondo	-	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 10 m)

Tabella 9-5 – Sostegni Sezione Tipo A0bis

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

Sezione tipo	Rivestimento definitivo				
	Distanza vincolata arco rovescio	Distanza vincolata volta	Arco rovescio	Murette	Volta
A0bis	-	-	60 cm non armato	60 cm non armato	50 cm non armato

Tabella 9-6 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo A0bis

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 55 di 224

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nei dintorni del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento di prima fase.

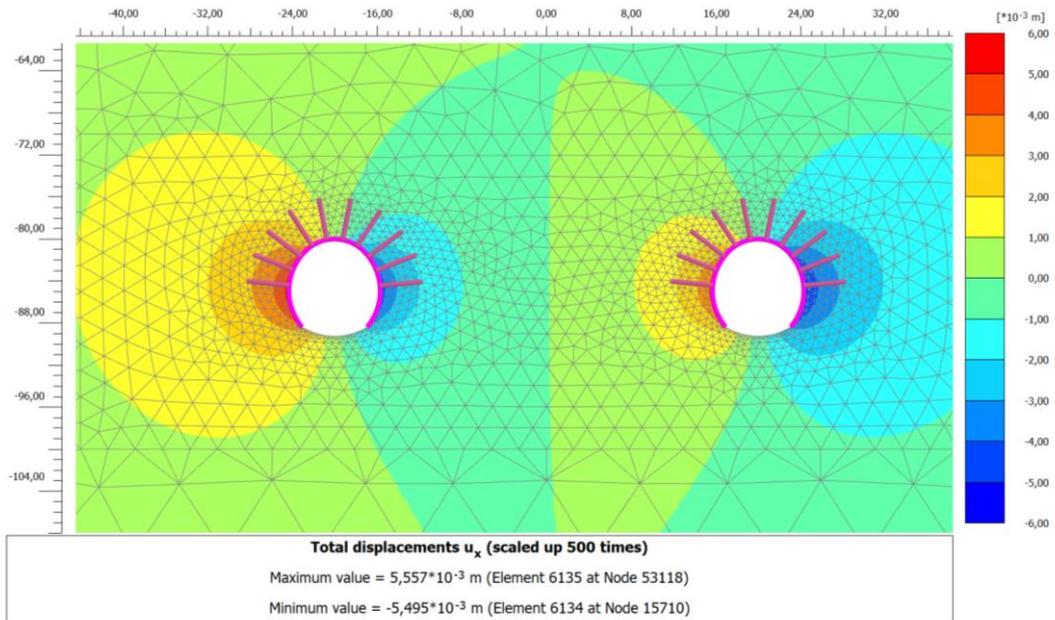


Figura 9-6 – Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo A0bis

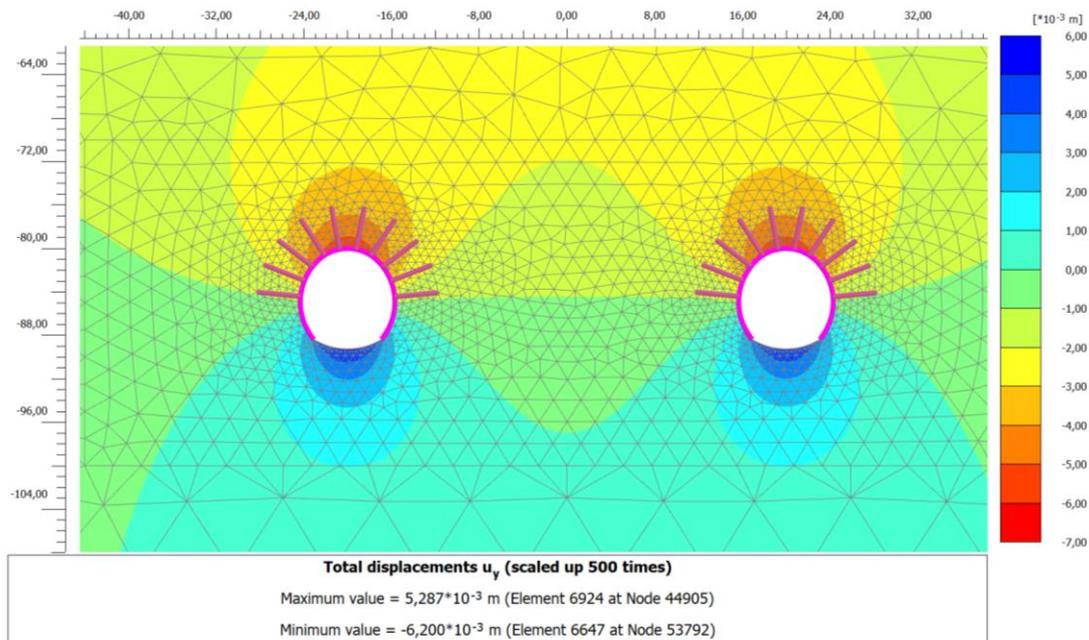


Figura 9-7 – Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo A0bis

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 56 di 224

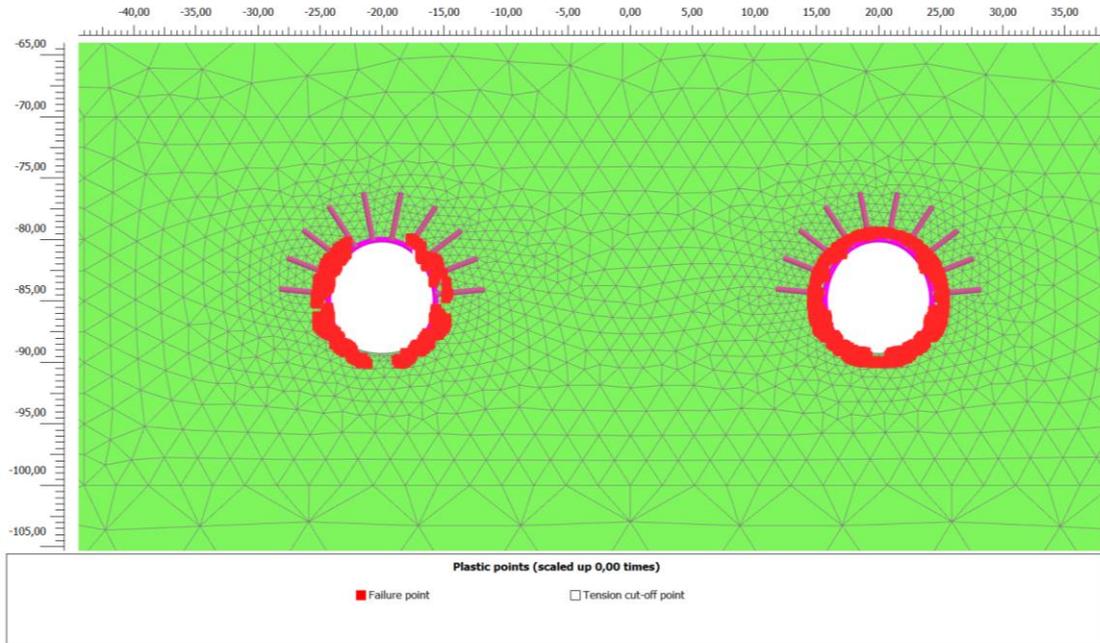


Figura 9-8 – Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo A0bis

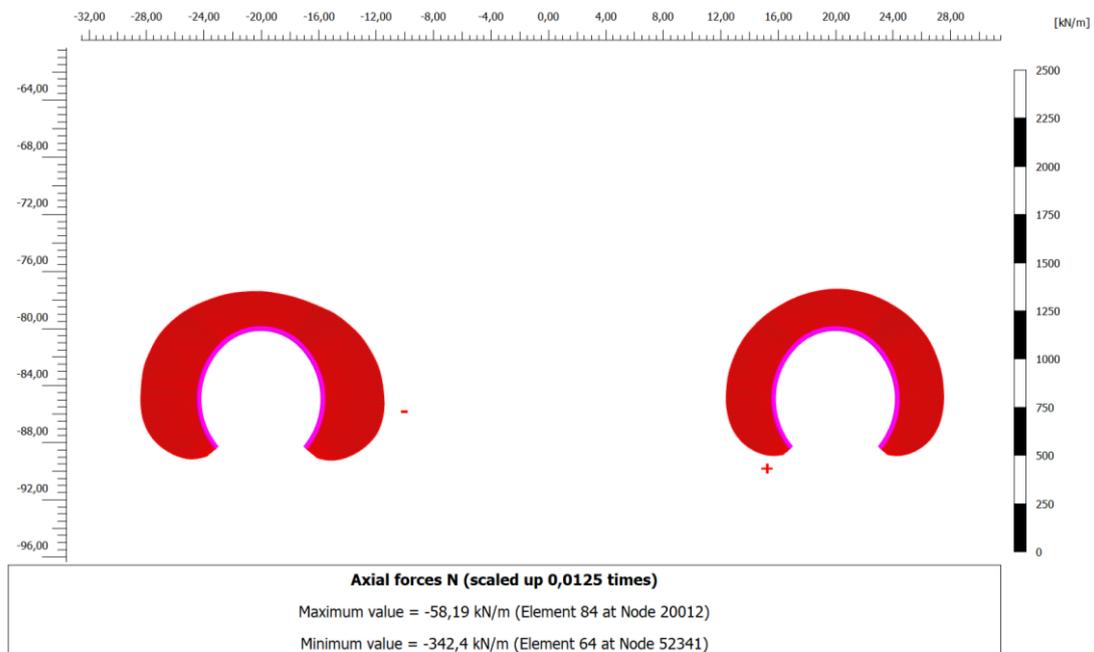


Figura 9-9 – Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A0bis

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 57 di 224

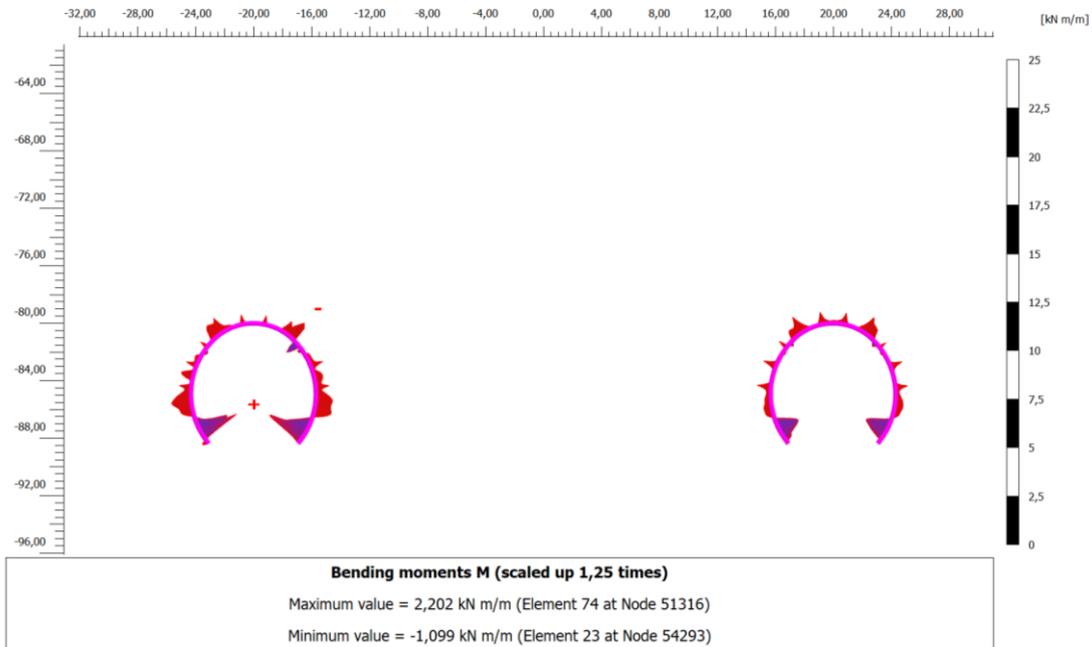


Figura 9-10 – Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A0bis

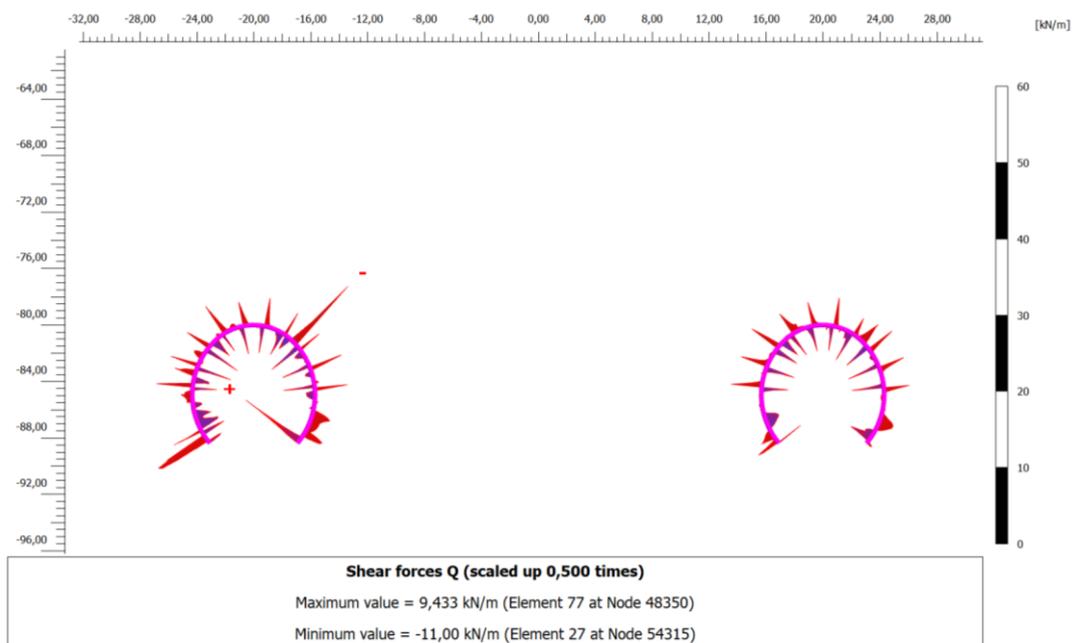


Figura 9-11 – Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A0bis

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 58 di 224

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

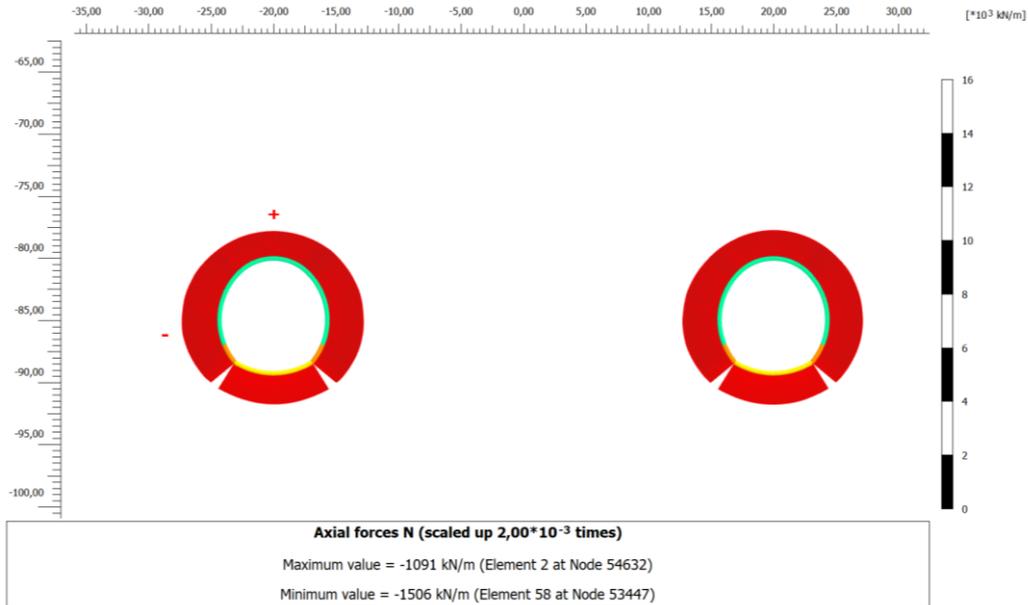


Figura 9-12 – Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A0bis

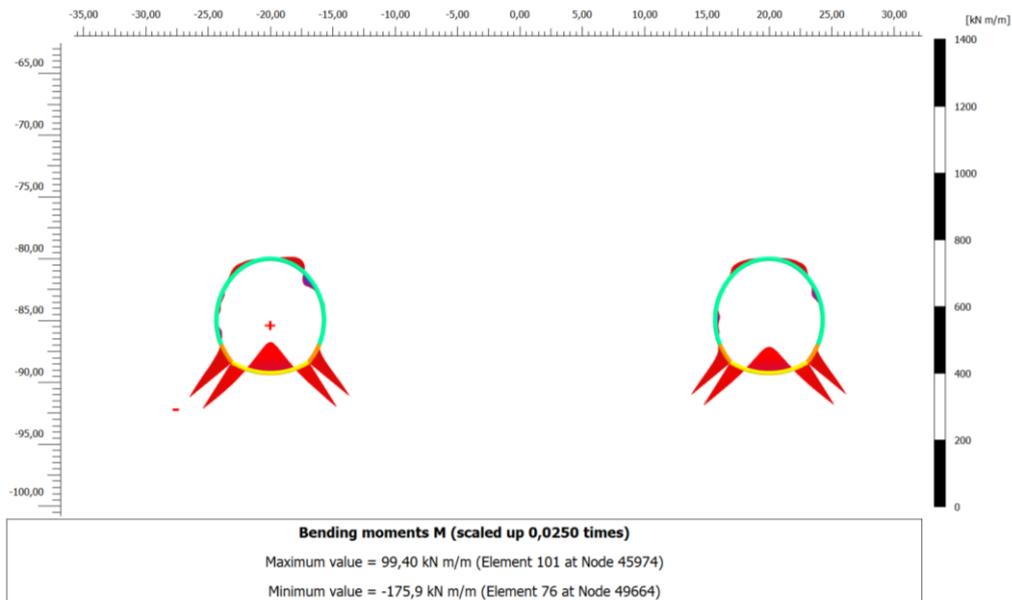


Figura 9-13 – Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A0bis

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 59 di 224

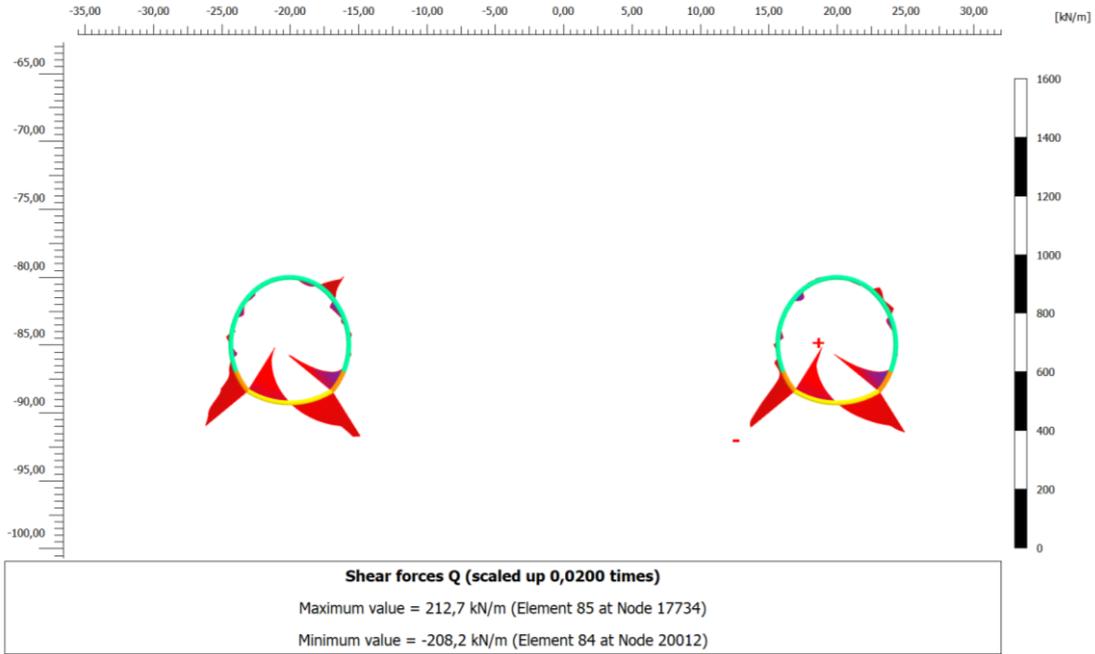


Figura 9-14 – Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A0bis

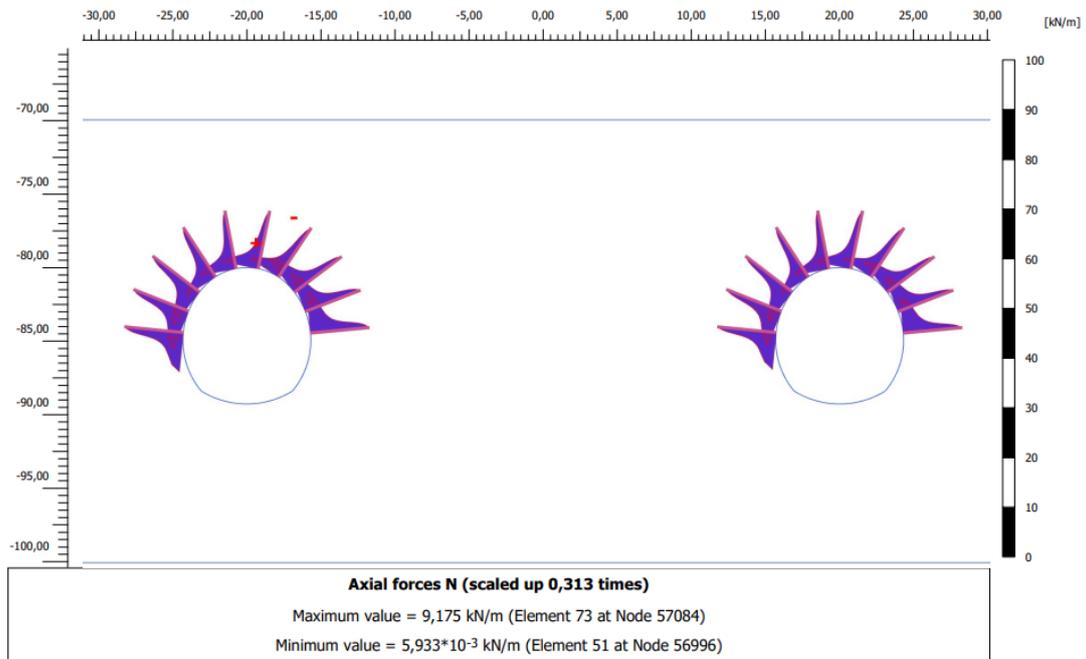


Figura 9-15-Massimo sforzo normale agente sugli ancoraggi radiali - Sezione Tipo A0bis

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 60 di 224		

9.3.6 Sezione A1

9.3.6.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A1	5.06	80	2.16	27	326	39	3600

H: copertura rispetto all'asse della galleria
 S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria
 γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con $R2 = 1$.

Sezione di analisi	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
A1	1,35	0,39	3,47	0,26	0,05	5,60	1,11	A	A	B

Tabella 9-7 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A1.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono tali da poter ritenere la verifica di stabilità soddisfatta.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 61 di 224

9.3.6.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della Sezione Tipo in oggetto.

Nella seguente figura è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello per le gallerie di linea e per il tunnel di sfollamento centrale.

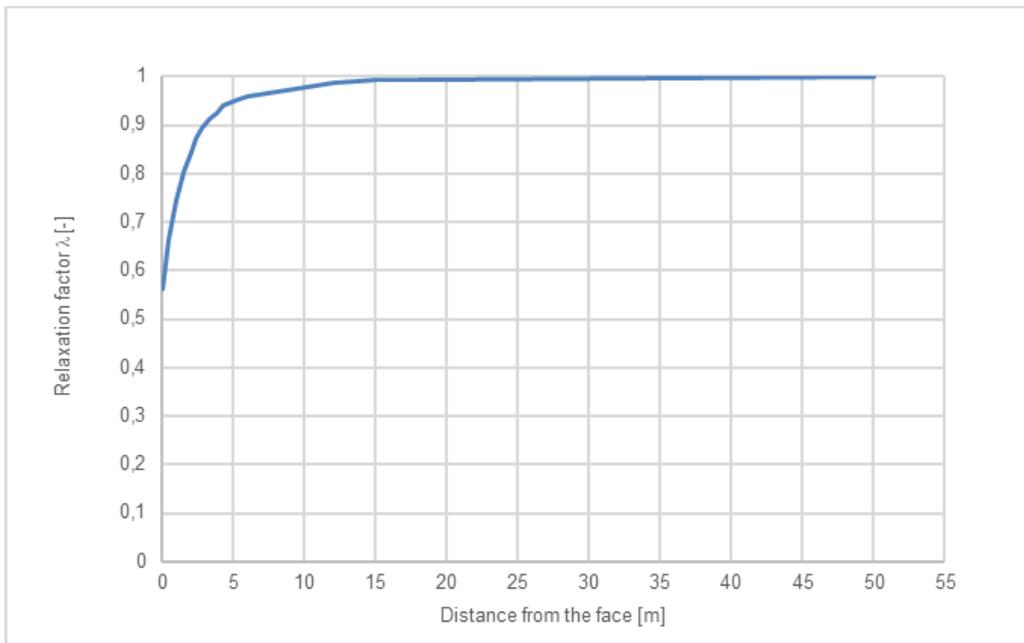


Figura 9-16 – Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo A1 (galleria principale)

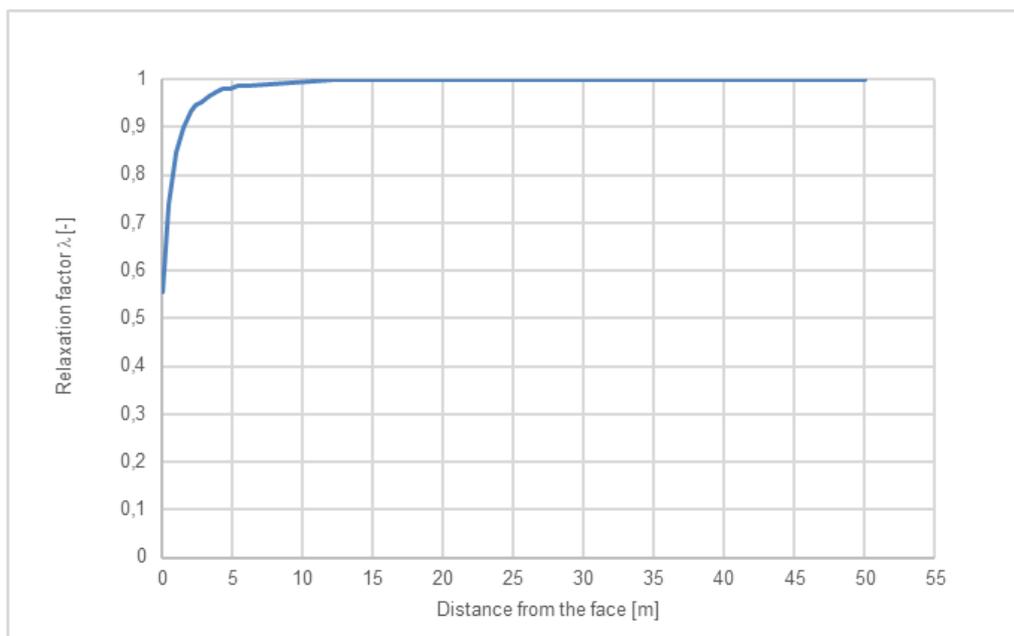


Figura 9-17 – Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo A1 (galleria di sfollamento)

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	62 di 224

La tabella seguente (Tabella 9-8) riassume le fasi di analisi numeriche per la sezione tipologica in esame e i relativi tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche:

Fase (#)	Descrizione (-)	λ (-)
0	Initial	-
1	Nil	-
2	Avanzamento in corrispondenza del fronte SX (x=0m)	0.563
3	Avanzamento tunnel SX (x=2.8m)	0.892
4	Attivazione bulloni radiali e provvisorio maturazione intermedia SX (x=6m)	0.959
5	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel SX (x=15m)	0.993
6	Avanzamento in corrispondenza del fronte DX (x=0m)	0.563
7	Avanzamento tunnel DX (x=2.8m)	0.892
8	Attivazione bulloni radiali e provvisorio maturazione intermedia DX (x=6m)	0.959
9	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (x=15m)	0.993
10	Avanzamento in corrispondenza del fronte del tunnel centrale (x=0m)	0.557
11	Avanzamento tunnel centrale (x=2.8m)	0.953
12	Attivazione provvisorio maturazione intermedia tunnel centrale (x=6m)	0.986
13	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (x=15m)	1.00
14	Attivazione Rivestimenti Definitivi	1.00
15	Lungo Termine	1.00

Tabella 9-8 – Fasi di calcolo riferite alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato nella figura sottostante.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 63 di 224

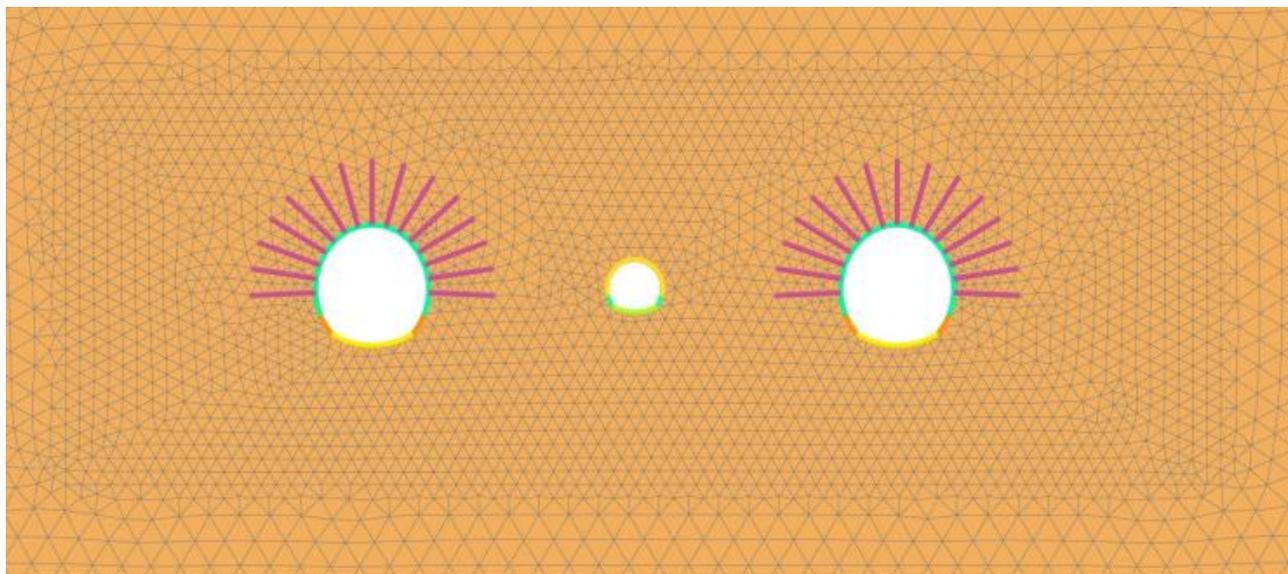


Figura 9-18 – Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali

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]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
A1	2,80	5+20	14/15 bulloni ϕ 24 L = 5m p. long 1.4m x p. trasv 1.2m	-	spritz 5 cm su ogni sfondo	2 IPN 180 p. 1.40 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 10 m)

Tabella 9-9 – Sostegni Sezione Tipo A1 – galleria principale

Sostegni							
Sezione tipo	Sfondo max [m]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
A1 (sfollamento)	2,80	5+15	-	-	spritz 5 cm su ogni sfondo	2 IPN 160 p. 1.00 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 12 m)

Tabella 9-10 – Sostegni Sezione Tipo A1 – galleria di sfollamento

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
A1	-	-	60 cm (armato 30 kg/mc)	60 cm (armato 30 kg/mc)	60 cm non armato

Tabella 9-11 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo A1 – galleria principale

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 64 di 224

Sezione tipo	Rivestimento definitivo				
	Distanza vincolata arco rovescio	Distanza vincolata volta	Arco rovescio	Murette	Volta
A1 (sfollamento)	-	-	50 cm non armato	50 cm non armato	40 cm non armato

Tabella 9-12 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo A1 – galleria di sfollamento

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nei dintorni del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento di prima fase.

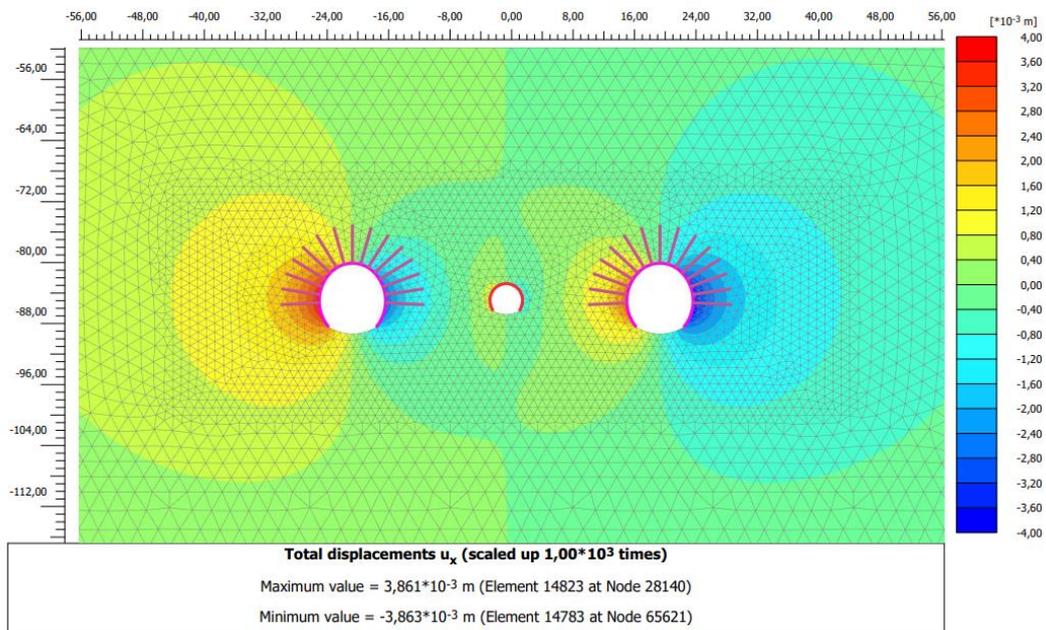


Figura 9-19 – Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo A1 (Fase 13)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 65 di 224

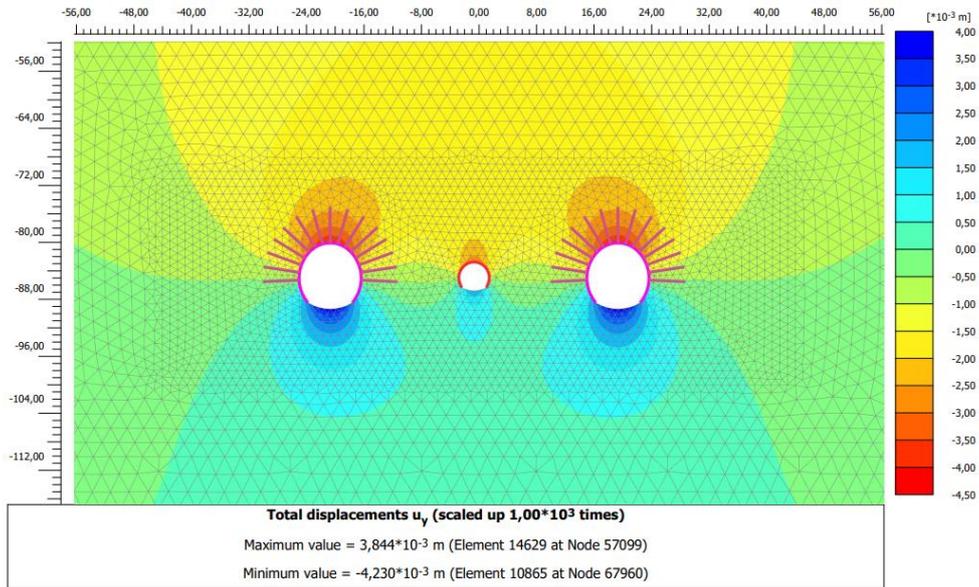


Figura 9-20 – Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo A1 (Fase 13)

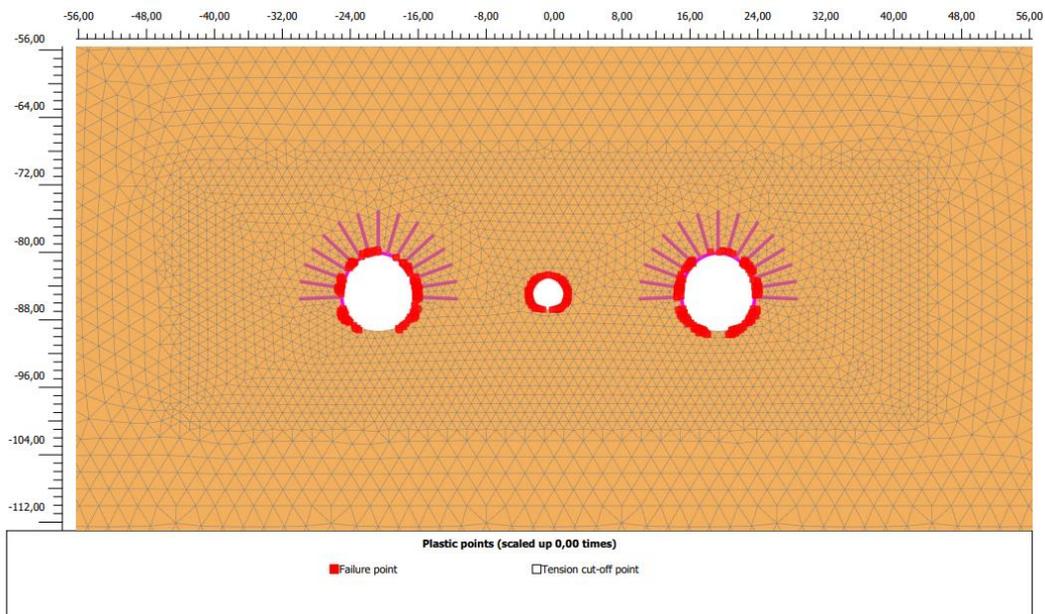


Figura 9-21 – Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo A1 (Fase 13)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 66 di 224

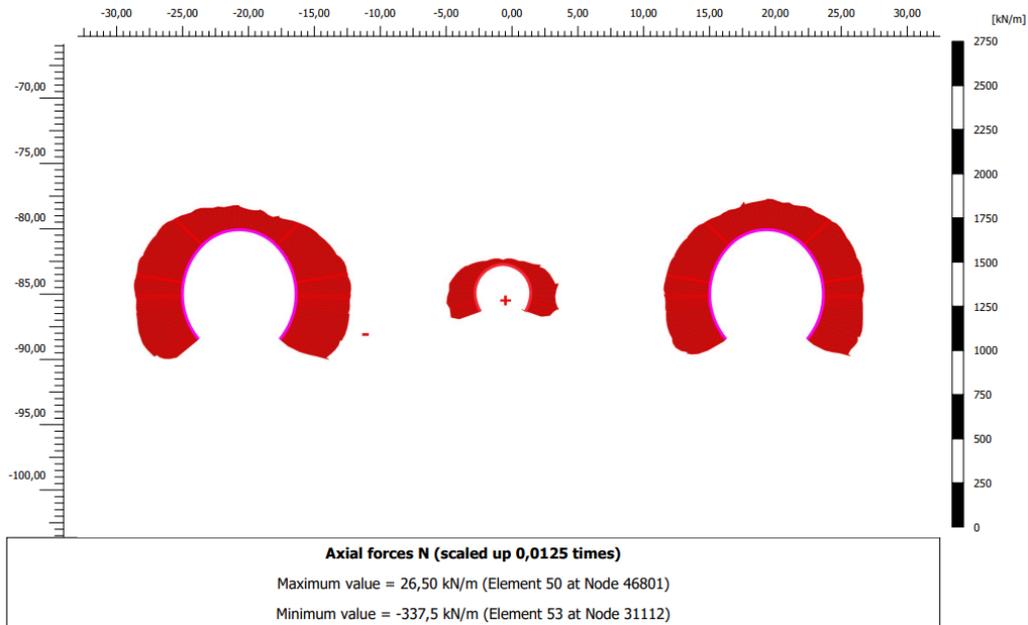


Figura 9-22 – Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1 (Fase 13)

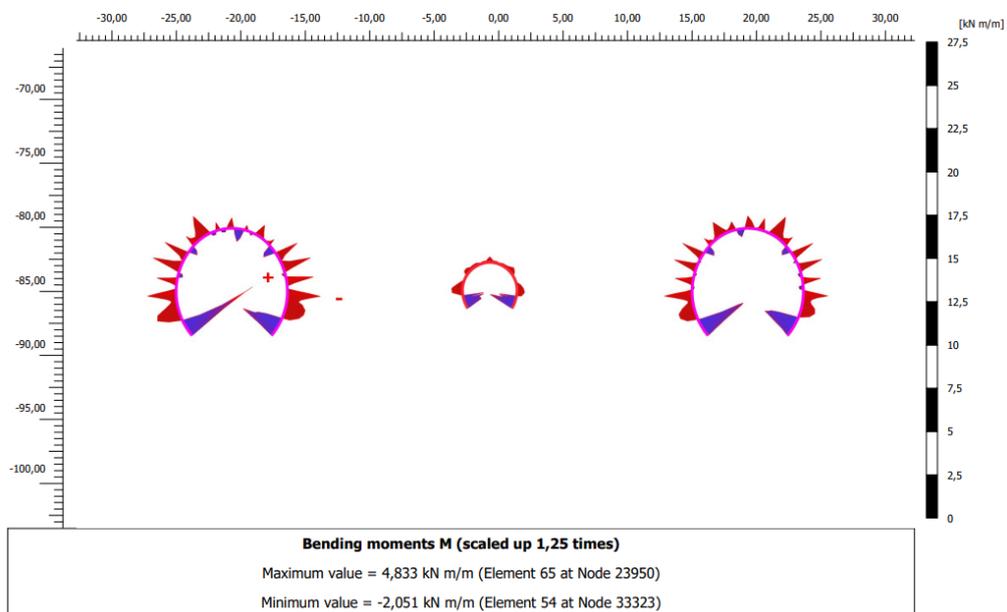


Figura 9-23– Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1 (Fase13)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 67 di 224

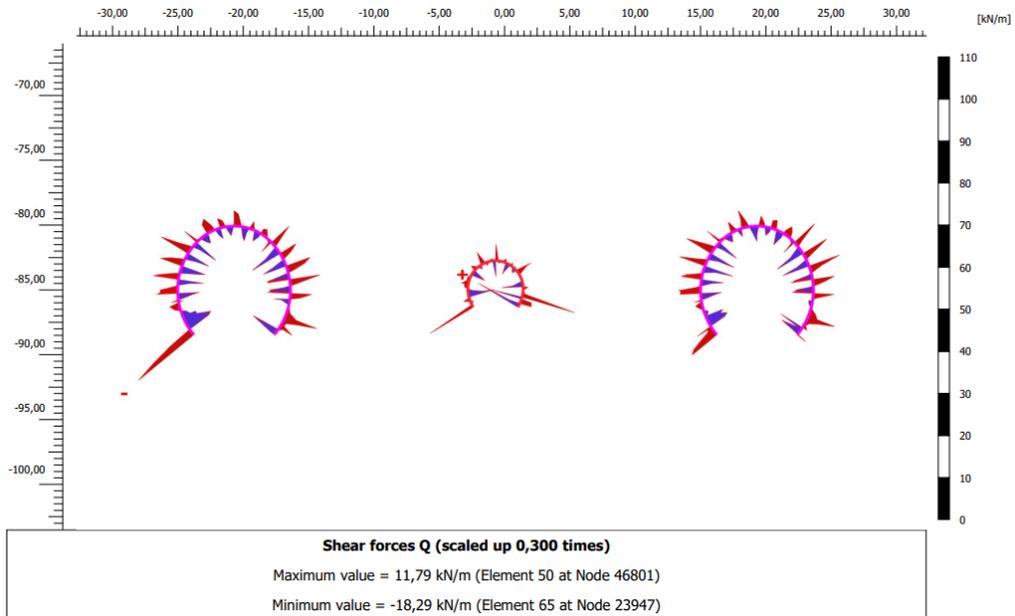


Figura 9-24 – Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1 (Fase 13)

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

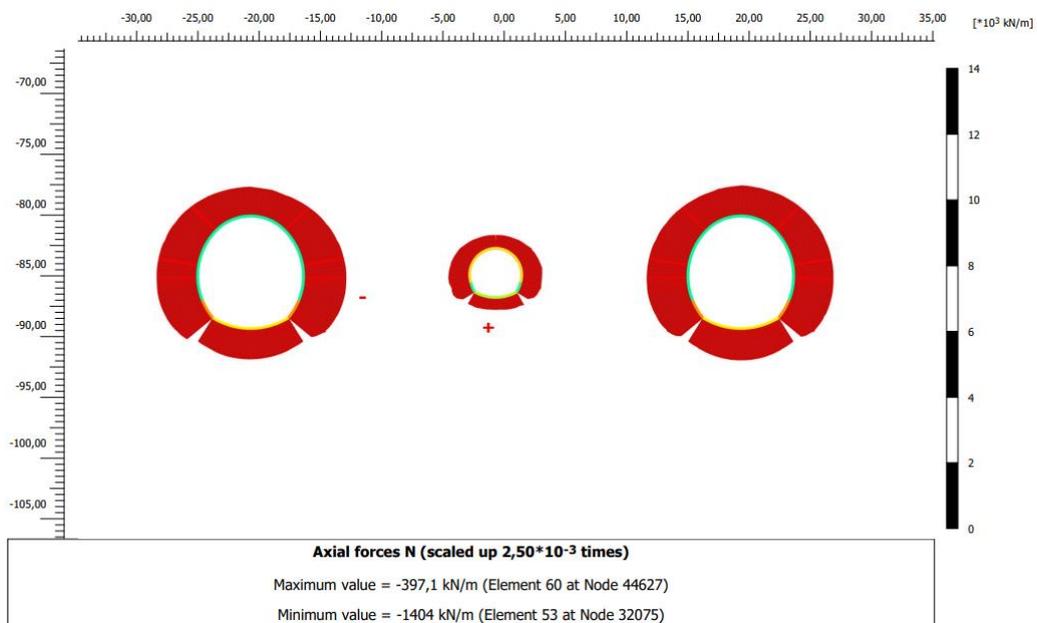


Figura 9-25 – Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1 (Fase 15)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 68 di 224

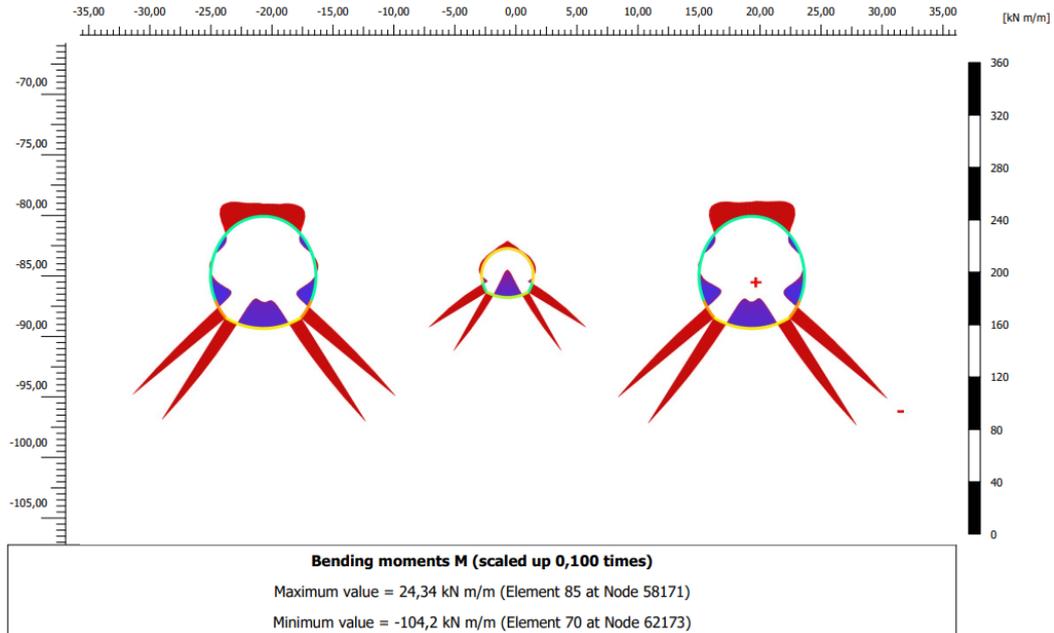


Figura 9-26 – Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1 (Fase 15)

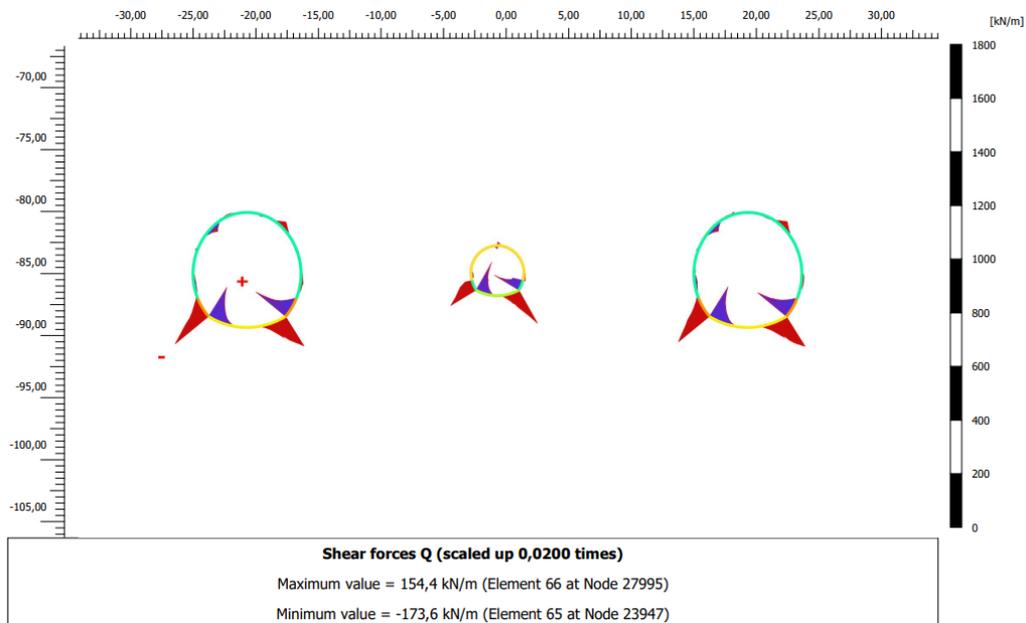


Figura 9-27 – Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1 (Fase 15)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 69 di 224

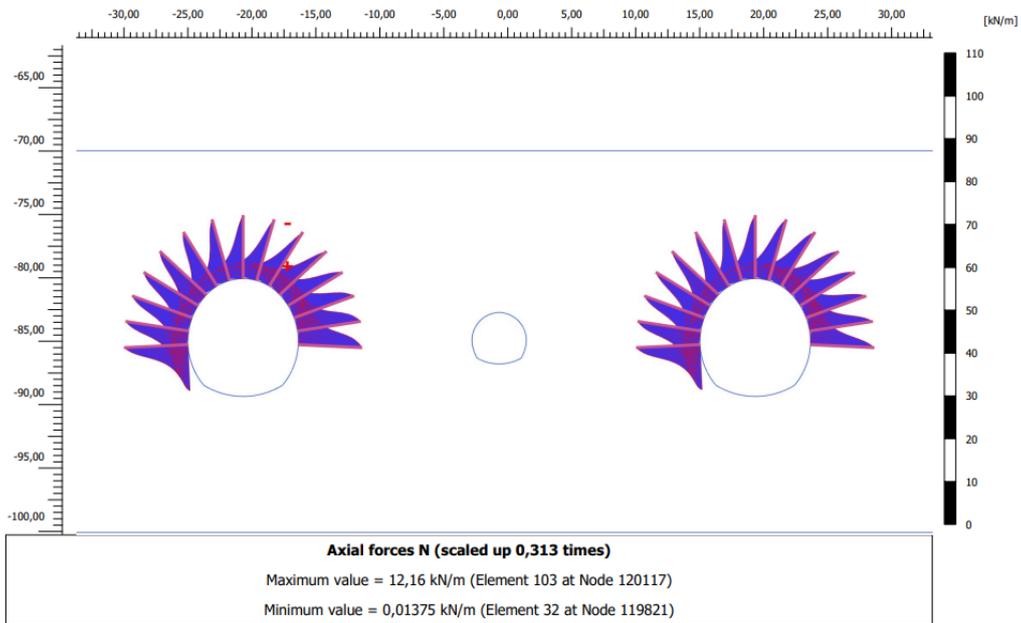


Figura 9-28-Massimo sforzo normale agente sugli ancoraggi radiali - Sezione Tipo A1

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 70 di 224

9.3.7 Sezione A1L

9.3.7.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A1L	5.0	150	4.18	27	488	33	4000
H: copertura rispetto all'asse della galleria S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso							

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Sezione di analisi	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
A1L	1,81	1,09	1,66	0,57	0,11	6,00	1,20	A	A	B

Tabella 9-13 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A1.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono tali da poter ritenere la verifica di stabilità soddisfatta.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 71 di 224

9.3.7.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della Sezione Tipo in oggetto.

Nella seguente figura è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello.

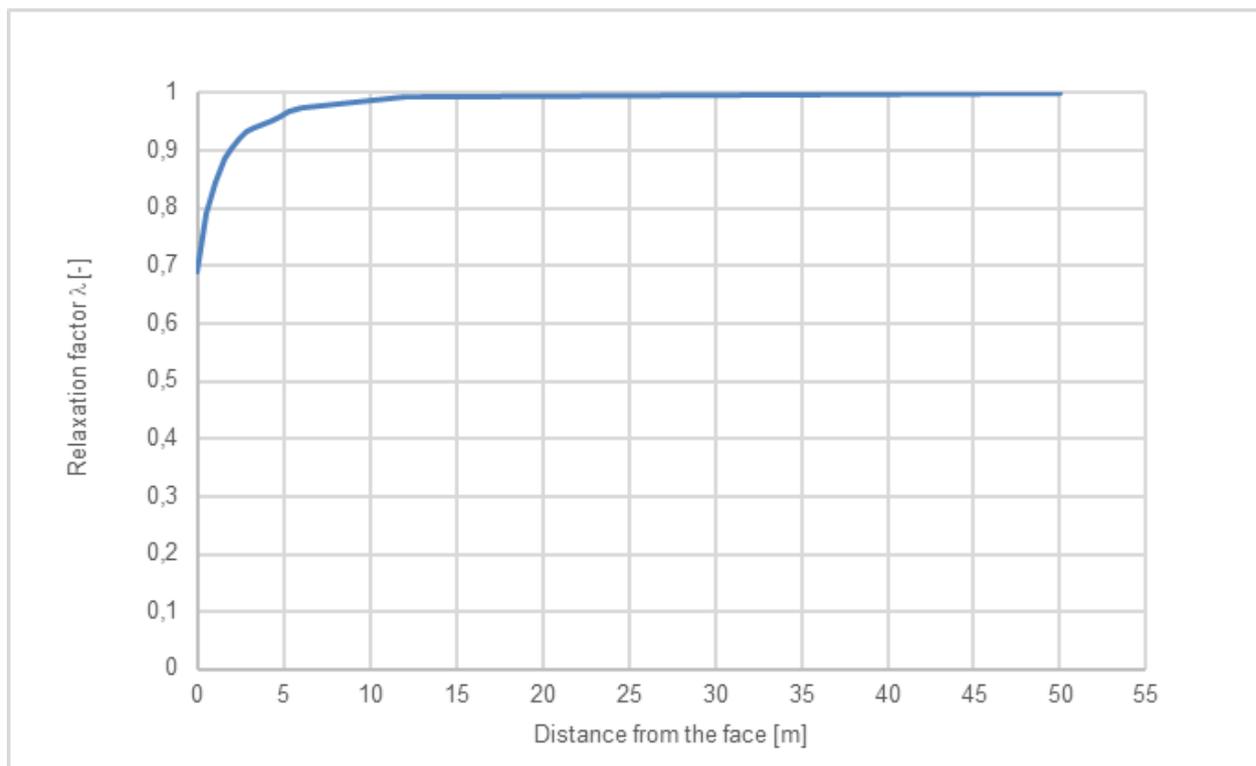


Figura 9-29– Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo A1L

La tabella seguente (Tabella 9-14) riepiloga le fasi di analisi numeriche per la sezione tipologica in esame e i relativi tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche:

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	72 di 224

Fase	Descrizione	λ
(#)	(-)	(-)
0	Initial	-
1	Nil	-
2	Avanzamento in corrispondenza del fronte SX(x=0m)	0.691
3	Avanzamento tunnel SX(x=2.8m)	0.933
4	Attivazione bulloni radiali e provvisorio maturazione intermedia SX (x=6m)	0.973
5	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel SX (x=15m)	0.993
6	Avanzamento in corrispondenza del fronte DX (x=0m)	0.691
7	Avanzamento tunnel DX(x=2.8m)	0.933
8	Attivazione bulloni radiali e provvisorio maturazione intermedia DX (x=6m)	0.973
9	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (x=15m)	0.993
10	Attivazione Rivestimento Definitivo	1
11	Lungo Termine	1

Tabella 9-14 – Fasi di calcolo riferite alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato nella figura sottostante, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 2052 kN/m³ al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (150 m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 80m.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 73 di 224

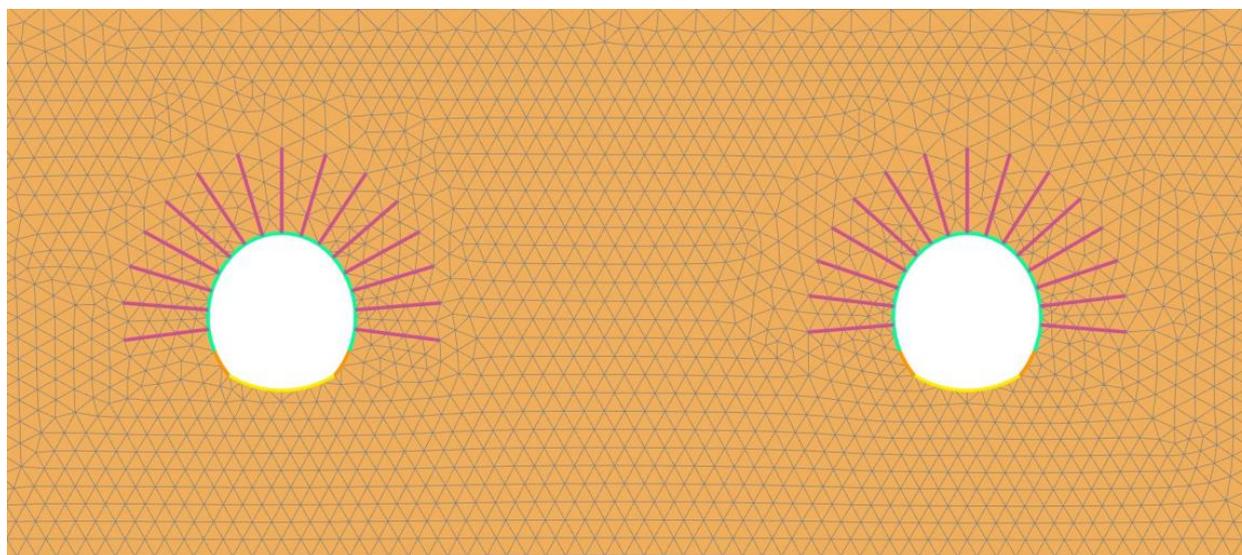


Figura 9-30 – Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali

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.

Sezione tipo	Sostegni						
	Sfondo max [m]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
A1L	2,80	5+15	14+15 bulloni ϕ 24, L = 5m p. long 1.4m x p. trasv 1.2m	-	spritz 5 cm su ogni sfondo	-	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrap. min. 10 m)

Tabella 9-15 – Sostegni Sezione Tipo A1L

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

Sezione tipo	Rivestimento definitivo				
	Distanza vincolata arco rovescio	Distanza vincolata volta	Arco rovescio	Murette	Volta
A1L	-	-	60 cm (armato 30 kg/mc)	60 cm (armato 30 kg/mc)	50 cm non armato

Tabella 9-16 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo A1L

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nei dintorni del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento di prima fase.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 74 di 224

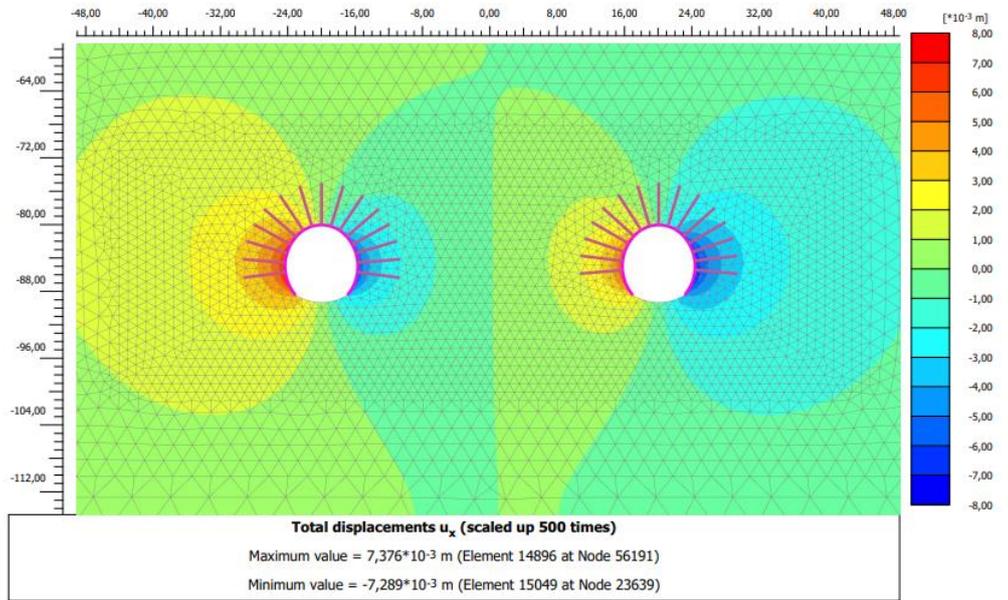


Figura 9-31 – Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

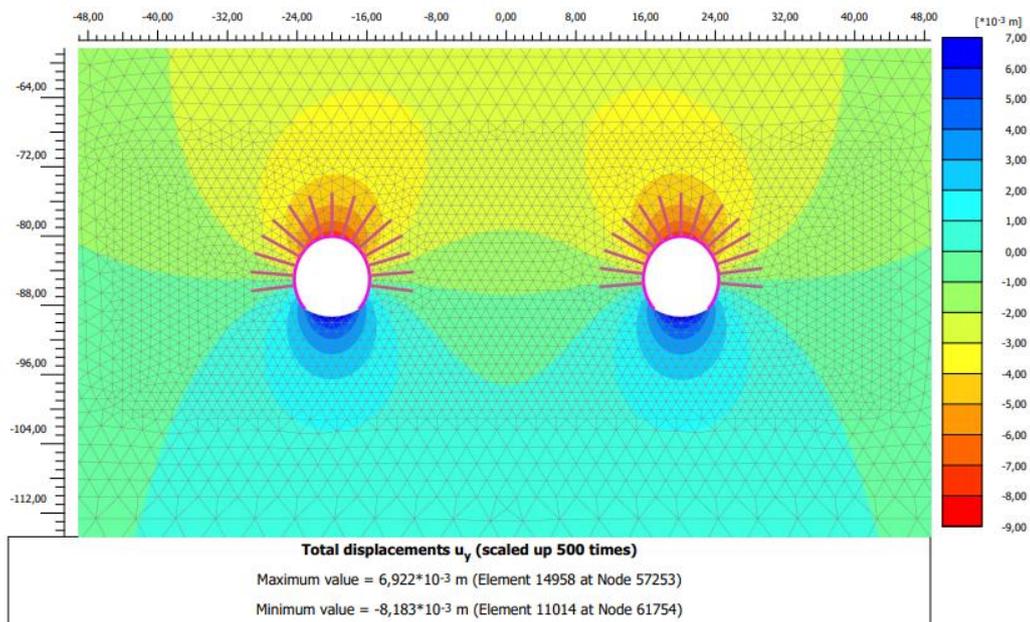


Figura 9-32 – Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 75 di 224

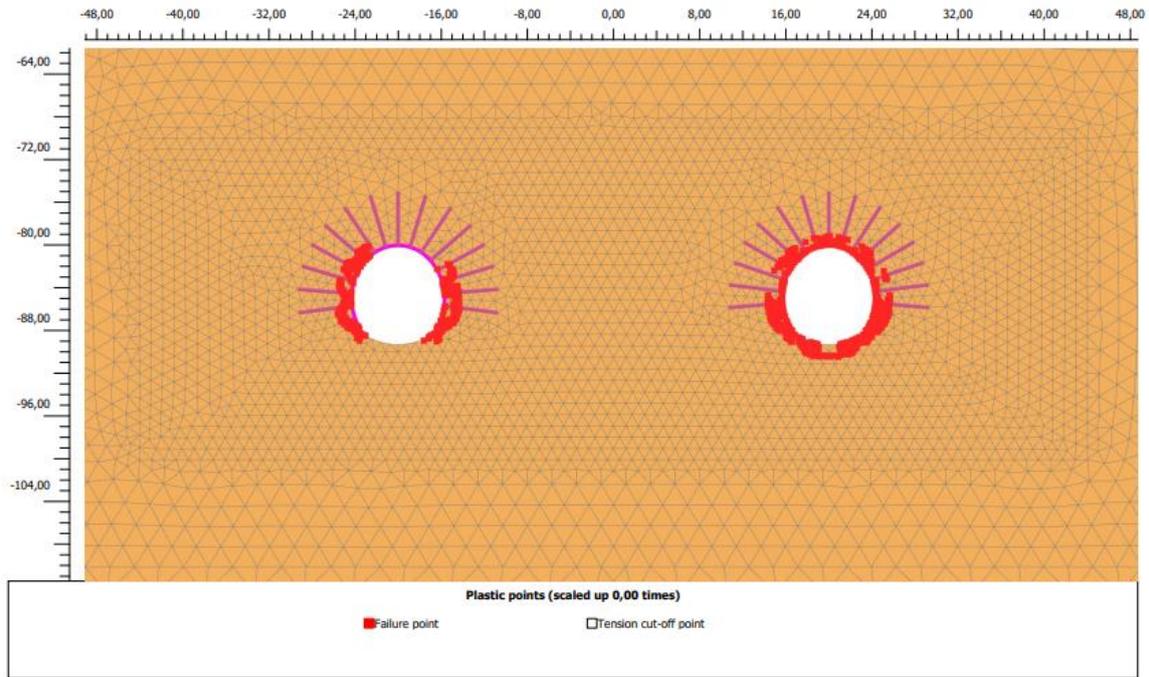


Figura 9-33 – Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

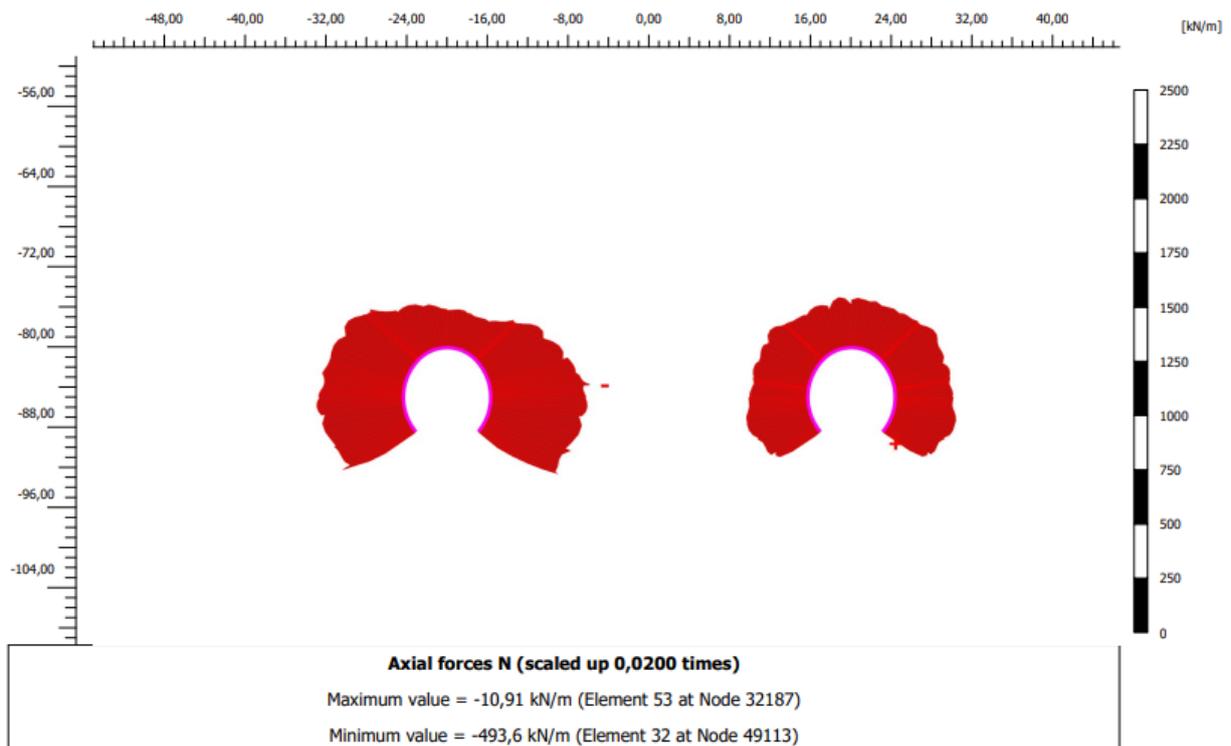


Figura 9-34 – Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 76 di 224

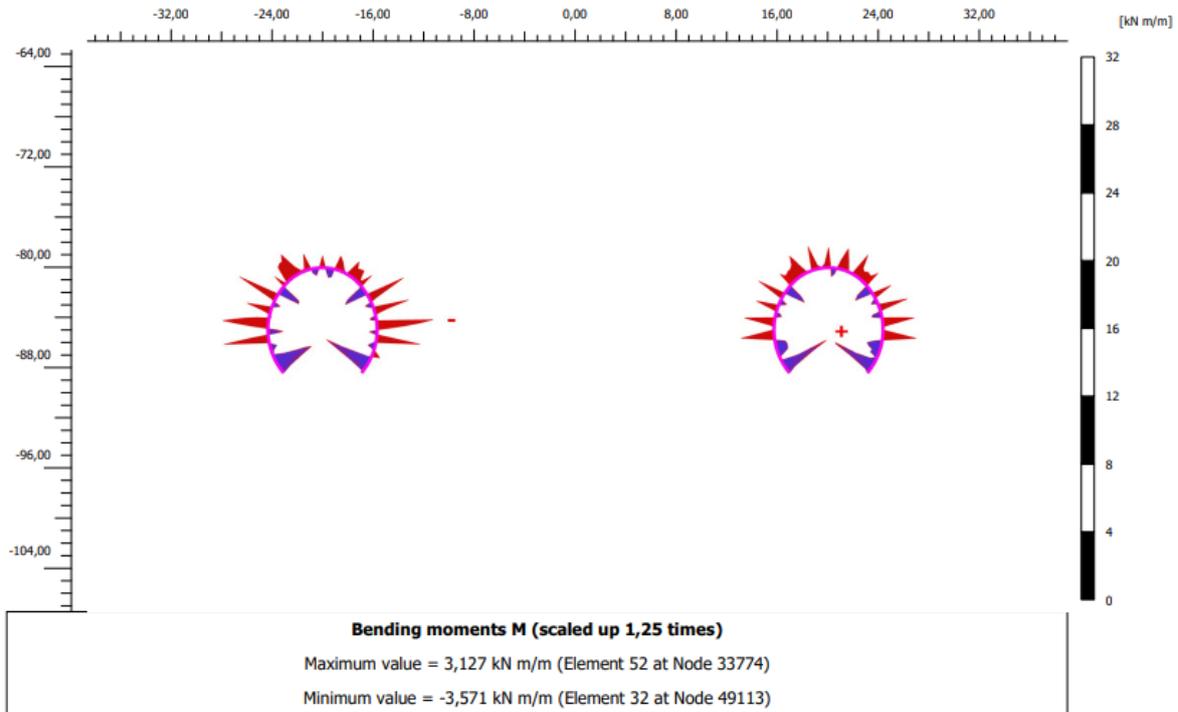


Figura 9-35 – Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

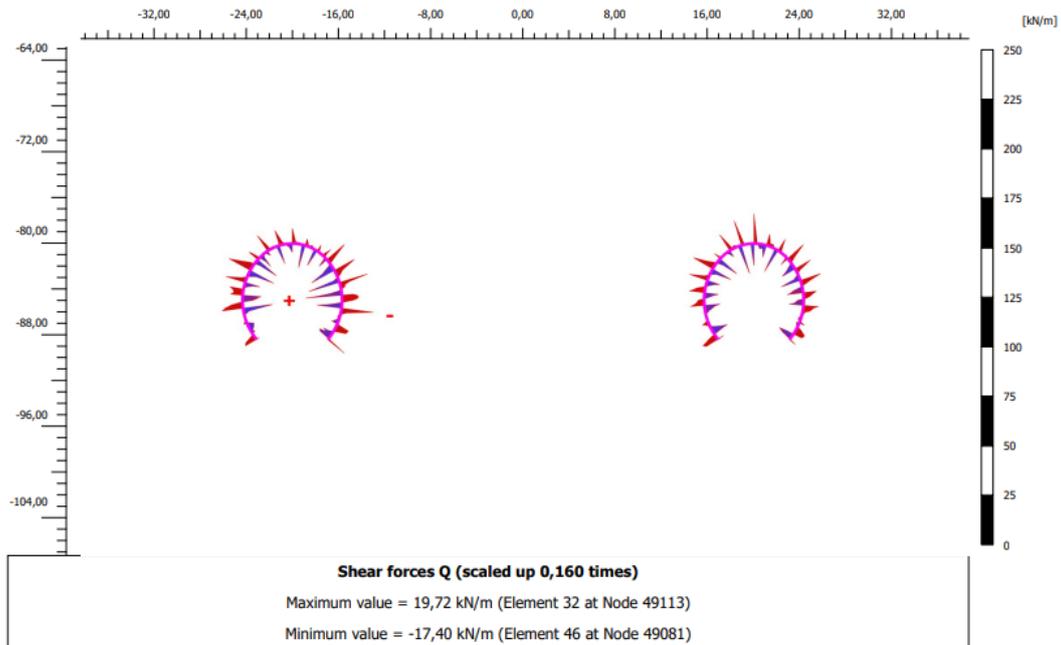


Figura 9-36 – Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo A1L (Fase 9)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 77 di 224

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

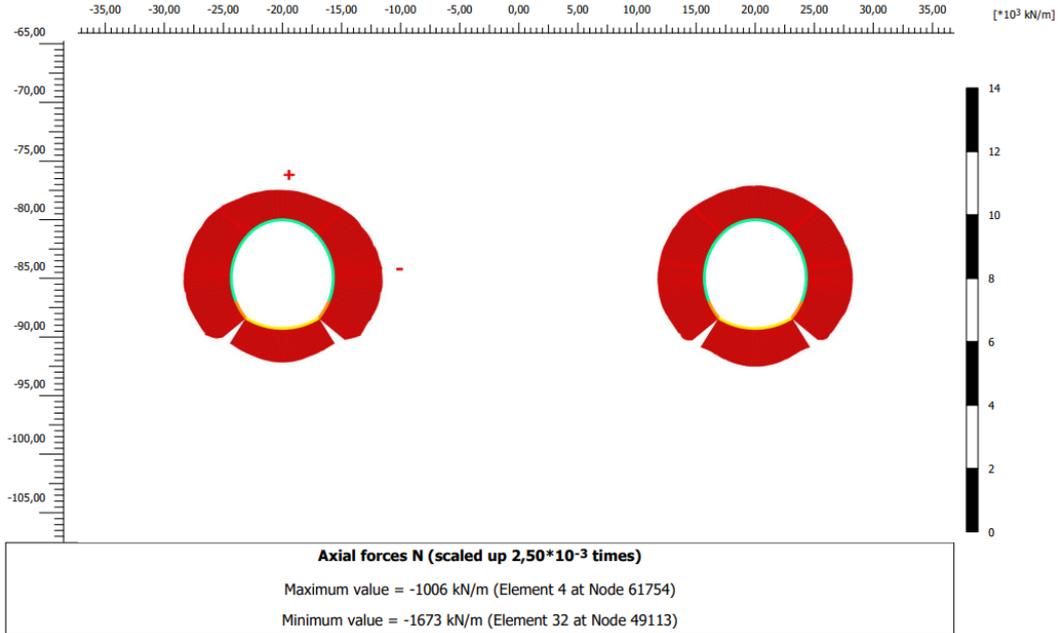


Figura 9-37 – Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1L (Fase 11)

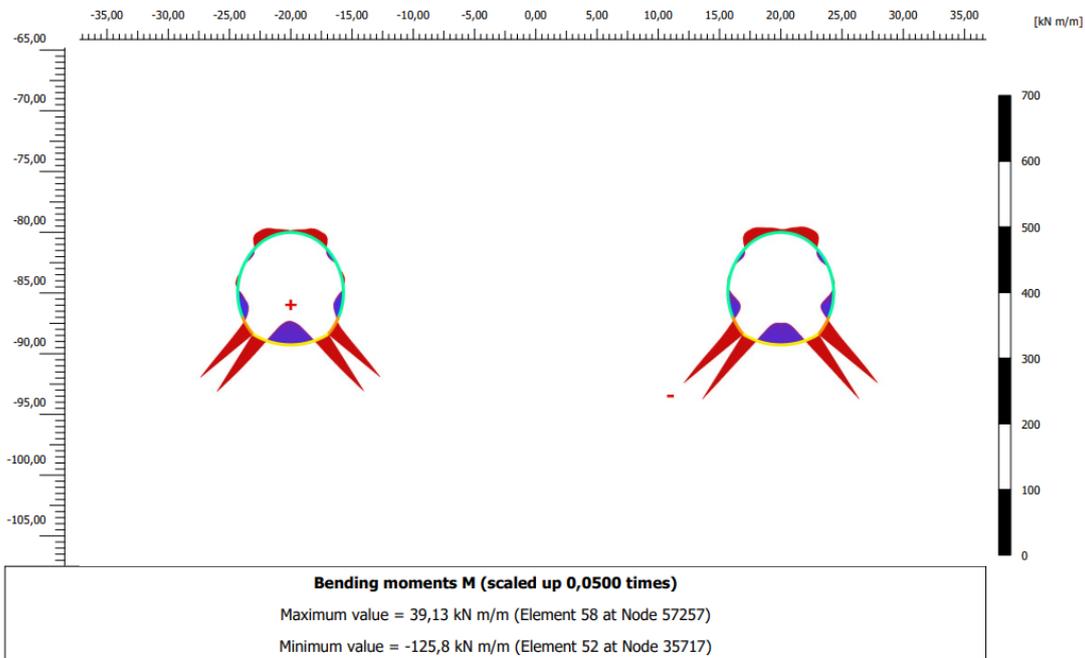


Figura 9-38 – Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1L (Fase 11)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 78 di 224

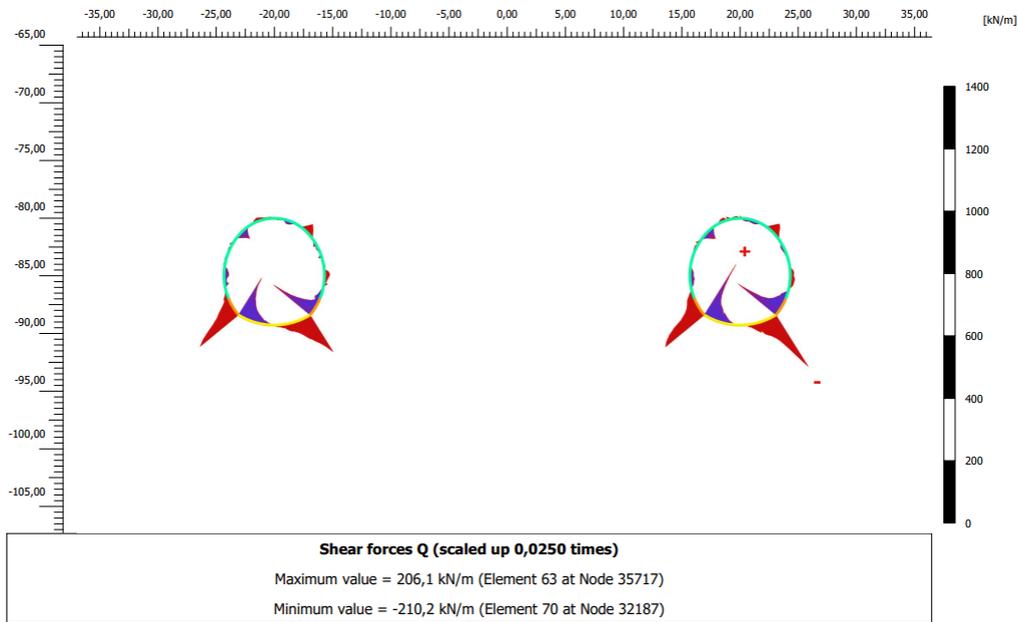


Figura 9-39 – Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo A1L (Fase 11)

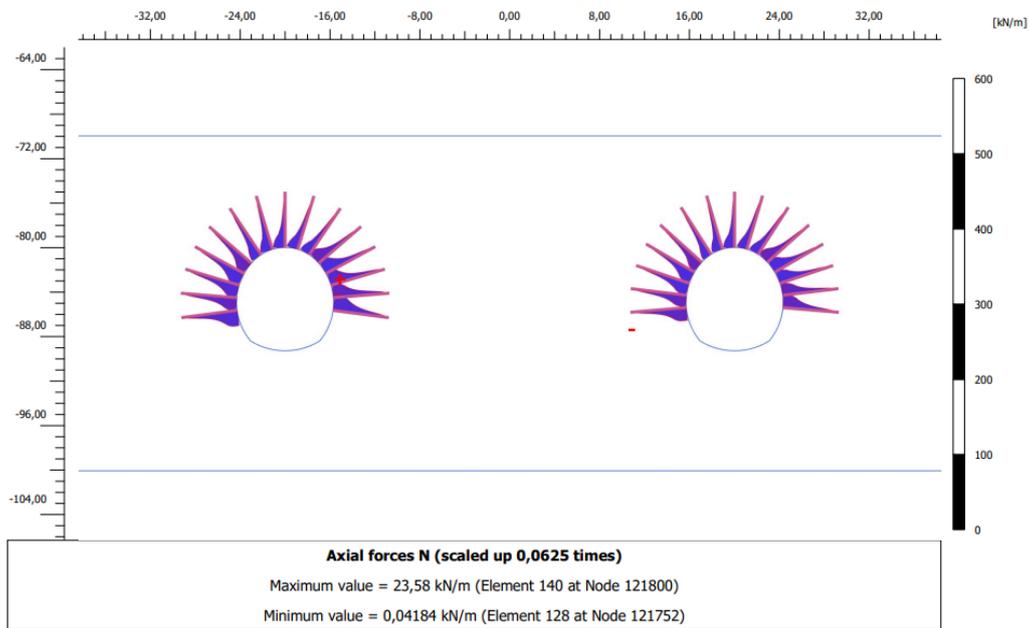


Figura 9-40- Massimo sforzo normale agente sugli ancoraggi radiali - Sezione Tipo A1L

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 79 di 224

9.3.8 Sezione B1

9.3.8.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
B1	5.35	95	2.57	27	185	30	1000

H: copertura rispetto all'asse della galleria
 S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria
 γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Di seguito i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento mediante barre DYWI.

N_{VTR}	L_A [m]	ϕ_{perf} [m]	A_i [m ²]	$\sigma_{3,A}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_{3,B}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_3^{i,DYWI}$ [kPa]	$\Delta c'_k$ [kPa]
20	5.0	0.1	4.5	87,46	279,87	87,46	85,83

N_{VTR} : numero di barre al fronte
 L_A : lunghezza minima di sovrapposizione delle barre
 A_i : area di influenza della singola barra
 $\sigma_{3,A}^{i,DYWI}$: resistenza a sfilamento delle barre
 $\sigma_{3,B}^{i,DYWI}$: resistenza a rottura delle barre
 $\sigma_3^{i,DYWI}$: tensione minima resistente al fronte
 $\Delta c'_k$: coesione caratteristica equivalente indotta dall'intervento di consolidamento del fronte

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	80 di 224

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Sezione di analisi	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
B1	0,88	0,84	1,05	1,96	0,37	6,97	1,30	A/B	B	B

Tabella 9-17 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo B1.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono tali da poter ritenere la verifica di stabilità soddisfatta.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 81 di 224

9.3.8.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della Sezione Tipo in oggetto.

Nella seguente figura è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello.

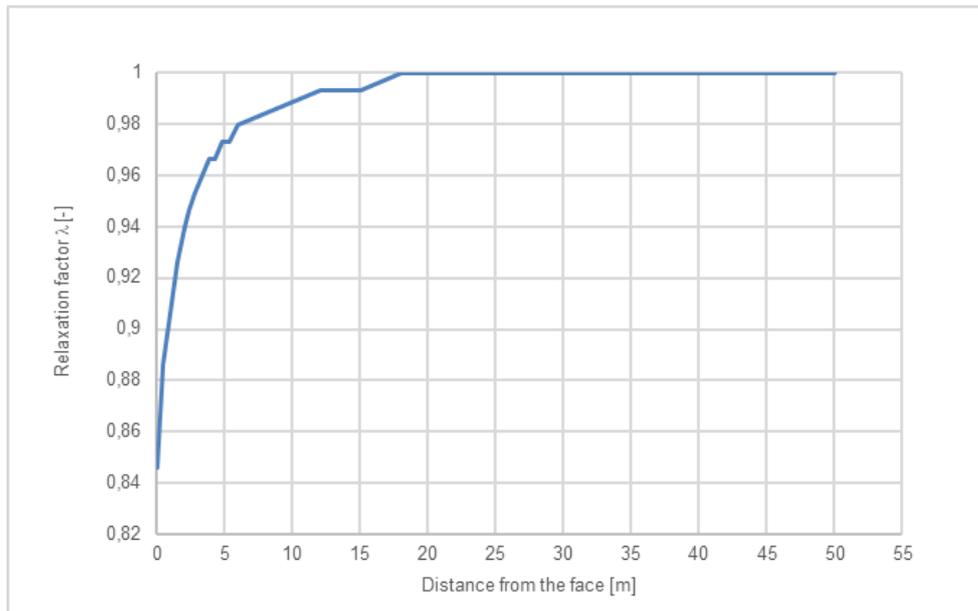


Figura 9-41 - Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo B1 (galleria principale)

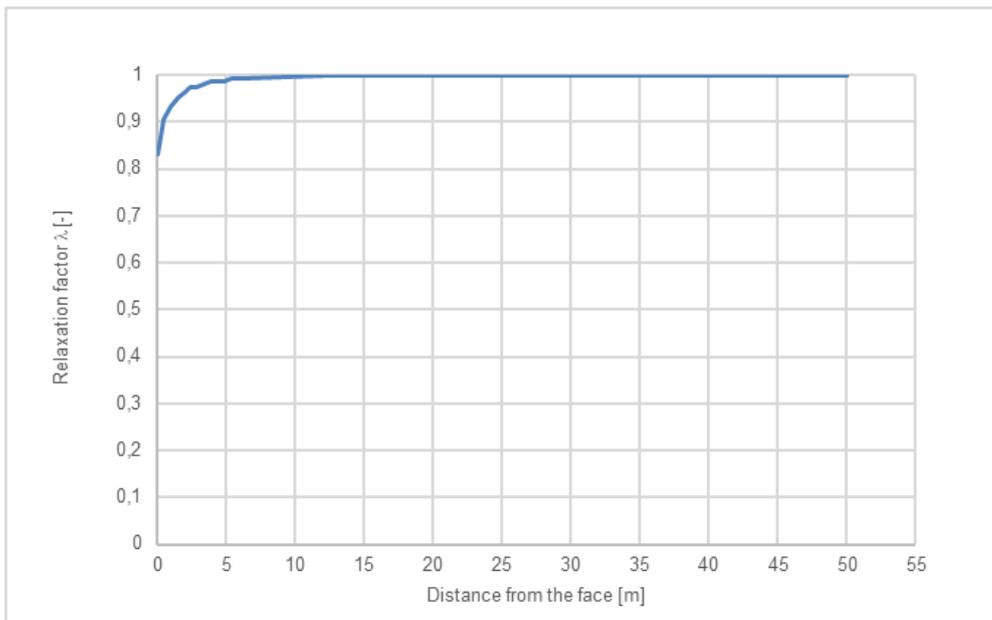


Figura 9-42 - Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo B1 (galleria di sfollamento)

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	82 di 224

La tabella seguente (Tabella 9-18) riepiloga le fasi di analisi numeriche per la sezione tipologica in esame e i relativi tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche:

Fase (#)	Descrizione (-)	λ (-)
0	Initial	-
1	Nil	-
2	Avanzamento in corrispondenza del fronte SX (x=0m)	0.845
3	Avanzamento tunnel SX (x=1m)	0.906
4	Attivazione provvisorio maturazione intermedia SX (x=6m)	0.979
5	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel SX (x=15m)	0.993
6	Avanzamento in corrispondenza del fronte DX (x=0m)	0.845
7	Avanzamento tunnel DX (x=1m)	0.906
8	Attivazione provvisorio maturazione intermedia DX (x=6m)	0.979
9	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (x=15m)	0.993
10	Avanzamento in corrispondenza del fronte del tunnel centrale (x=0m)	0.832
11	Avanzamento tunnel centrale (x=1m)	0.932
12	Attivazione provvisorio maturazione intermedia tunnel centrale (x=6m)	0.993
13	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (x=15m)	1.00
14	Attivazione Rivestimenti Definitivi	1.00
15	Lungo Termine	1.00

Tabella 9-18 – Fasi di calcolo riferite alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

Si ipotizza in fase di modellazione la posa in opera del rivestimento definitivo a deformazioni sostanzialmente esaurite, tale condizione corrisponde all'applicazione di fattore di rilascio pari a 1, che nel caso della sezione in esame corrisponde in via teorica ad una distanza dal fronte a partire da $X = 17m$ (pari comunque ad una distanza inferiore a 3 diametri/5 diametri: indicazione di distanza del getto del rivestimento definitivo riportata in Linee Guida).

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	
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	83 di 224

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 9-43, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1 m è posto pari a 432 kN/m³ al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (95m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 80m.

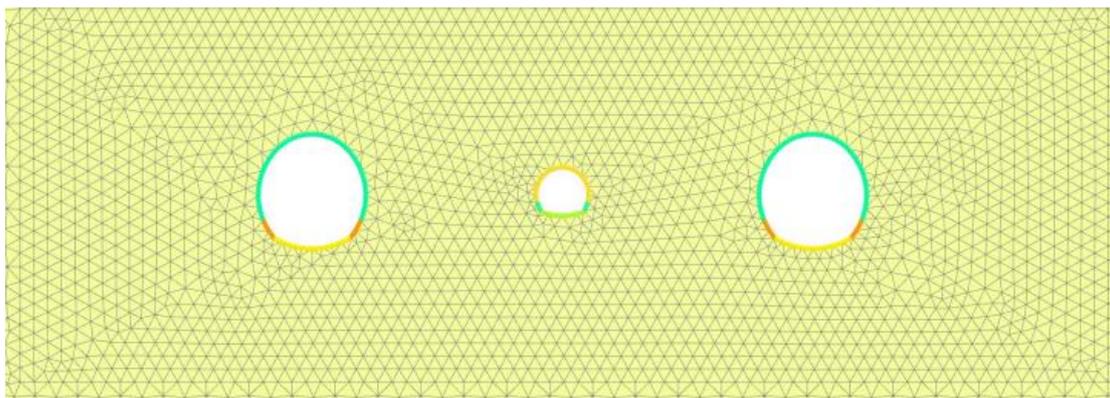


Figura 9-43-Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali

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]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
B1	1,00	5+25	-	25 tubi in acciaio Ø127 mm, sp.= 10 mm, L=12 m, valvolati (1v/m), p.=0,4 m, compresi entro un angolo di 120 °	20 VTR L=13,5 m sovrapp. min 5 m 10 cm di spritz sul 50% sfondi e 15 cm a fine	2 IPN 180 p. 100 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 13 m)

Tabella 9-19 – Sostegni Sezione Tipo B1 – Galleria principale

Sostegni							
Sezione tipo	Sfondo max [m]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
B1 (sfollamento)	1,00	5+20	-	14 tubi in acciaio Ø127 mm, sp.= 10 mm, L=9 m, sovrapp. Minima 3 m, p.=0,4 m	spritz 5 cm su ogni sfondo	2 IPN 160 p. 1.00 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 12 m)

Tabella 9-20 – Sostegni Sezione Tipo B1 – Galleria sfollamento

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
B1	< 3 φ	< 5 φ	80 cm min (40 kg/mc)	80 cm min (40 kg/mc)	50 cm - 115 cm

Tabella 9-21 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo B1 – galleria principale

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 84 di 224

Sezione tipo	Rivestimento definitivo				
	Distanza vincolata arco rovescio	Distanza vincolata volta	Arco rovescio	Murette	Volta
B1 (sfollamento)	< 3 φ	< 5 φ	50 cm non armato	50 cm non armato	40 - 95 cm non armato

Tabella 9-22 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo B1 – galleria sfollamento

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nei dintorni del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento di prima fase.

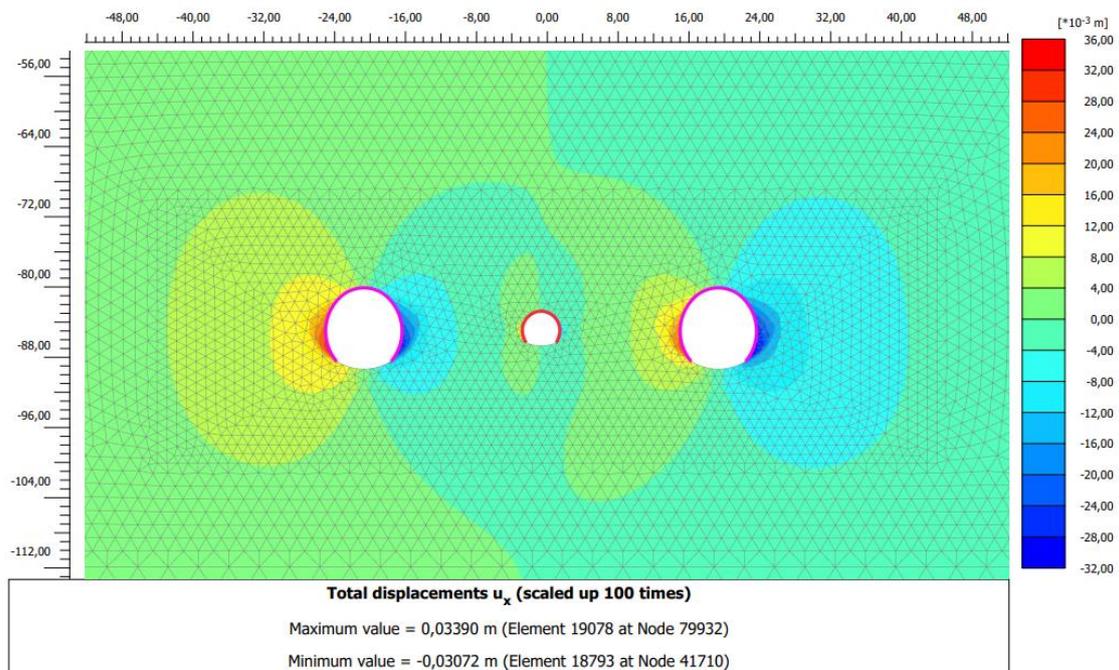


Figura 9-44-Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 85 di 224

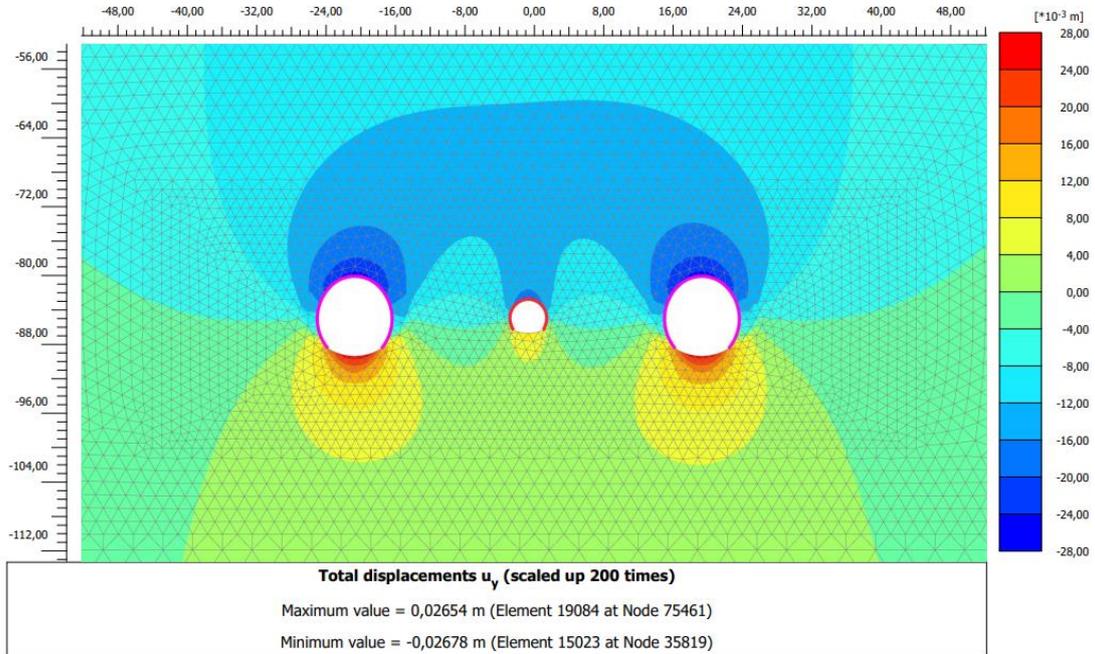


Figura 9-45-Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

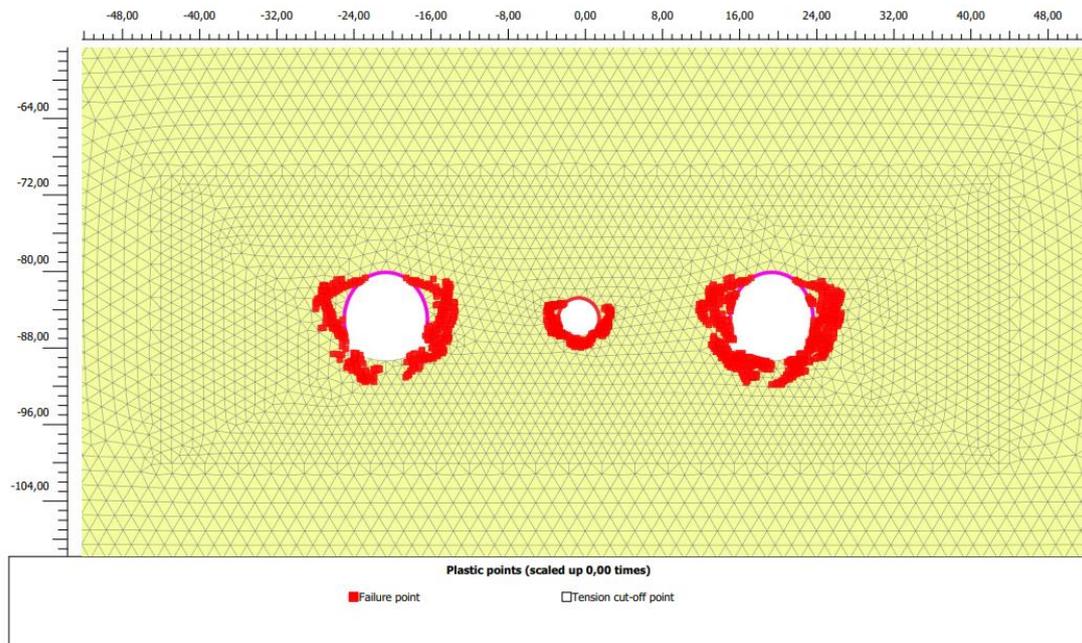


Figura 9-46-Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 86 di 224

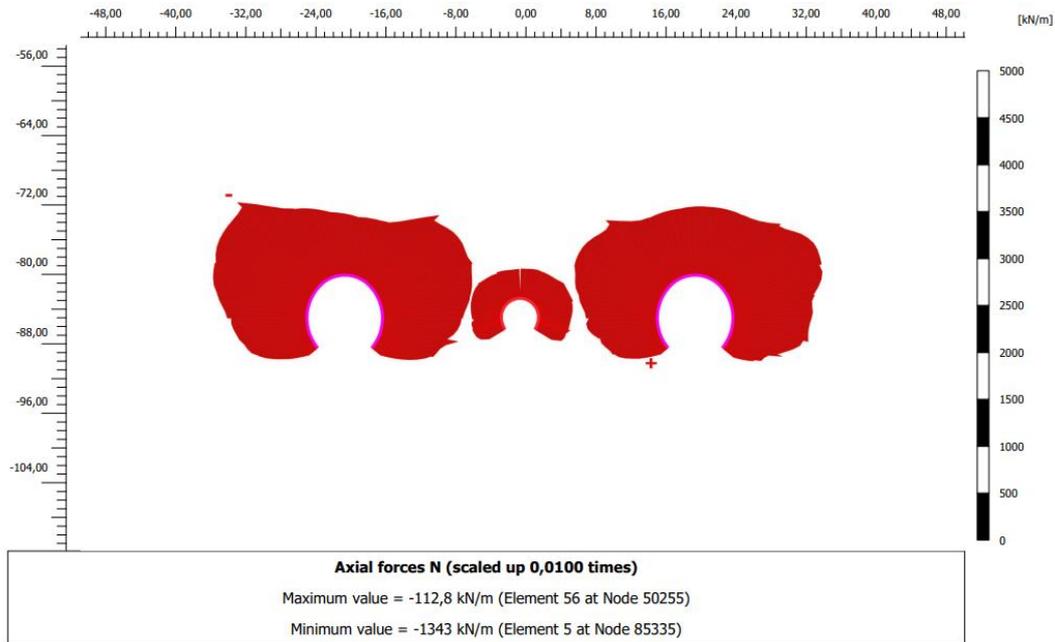


Figura 9-47 - Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

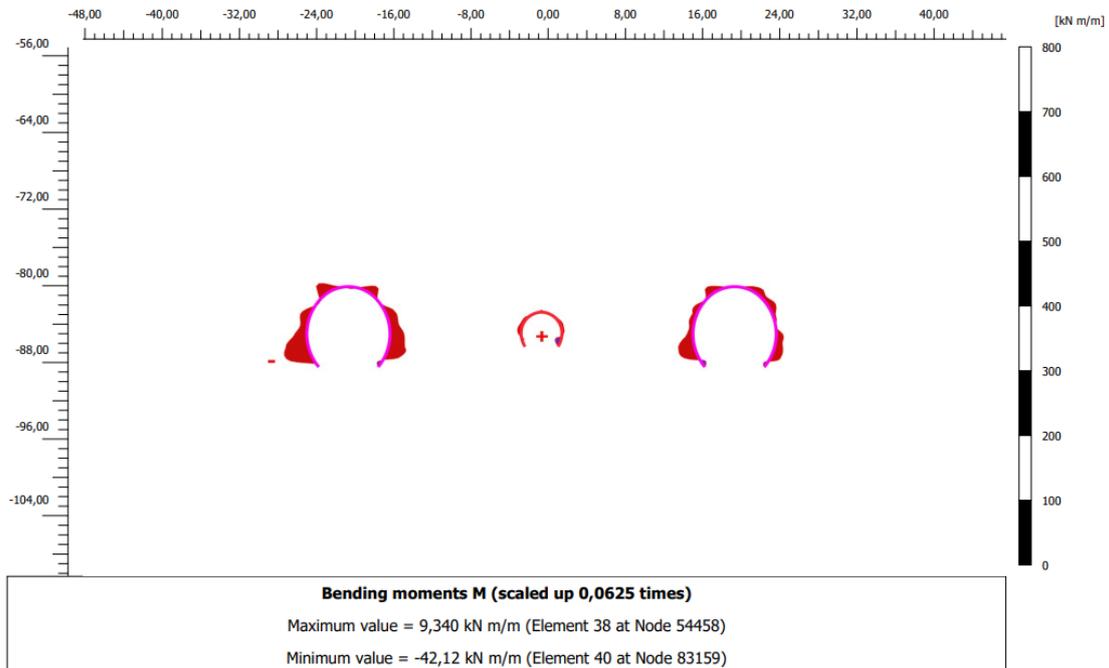


Figura 9-48 - Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 87 di 224

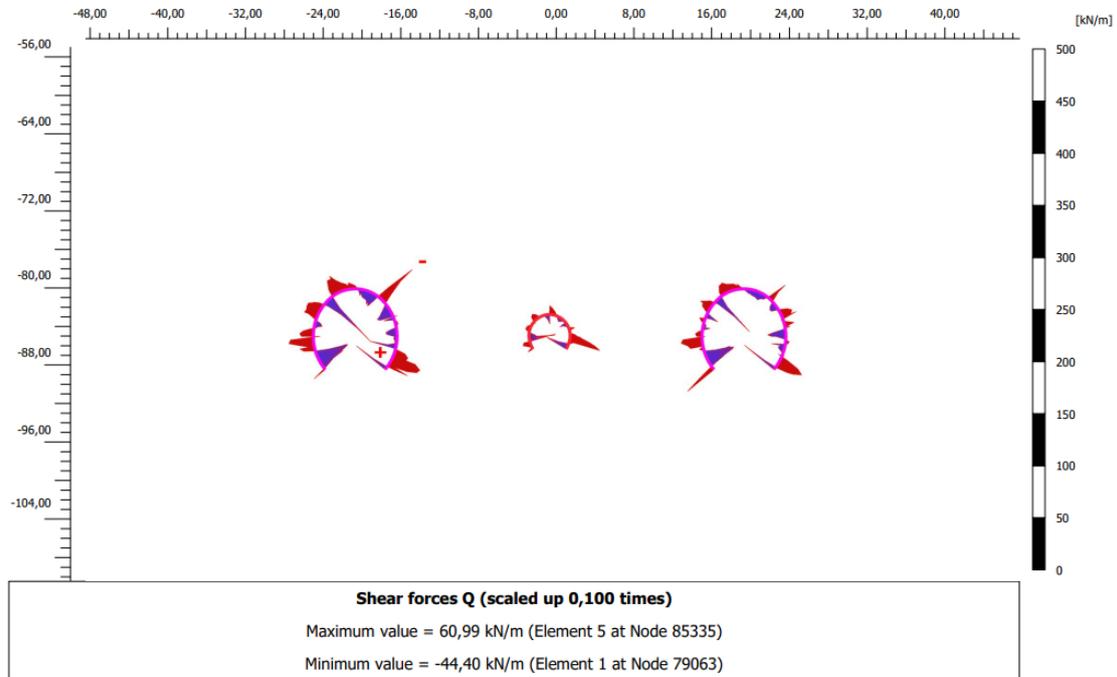


Figura 9-49-Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1 (Fase 13)

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

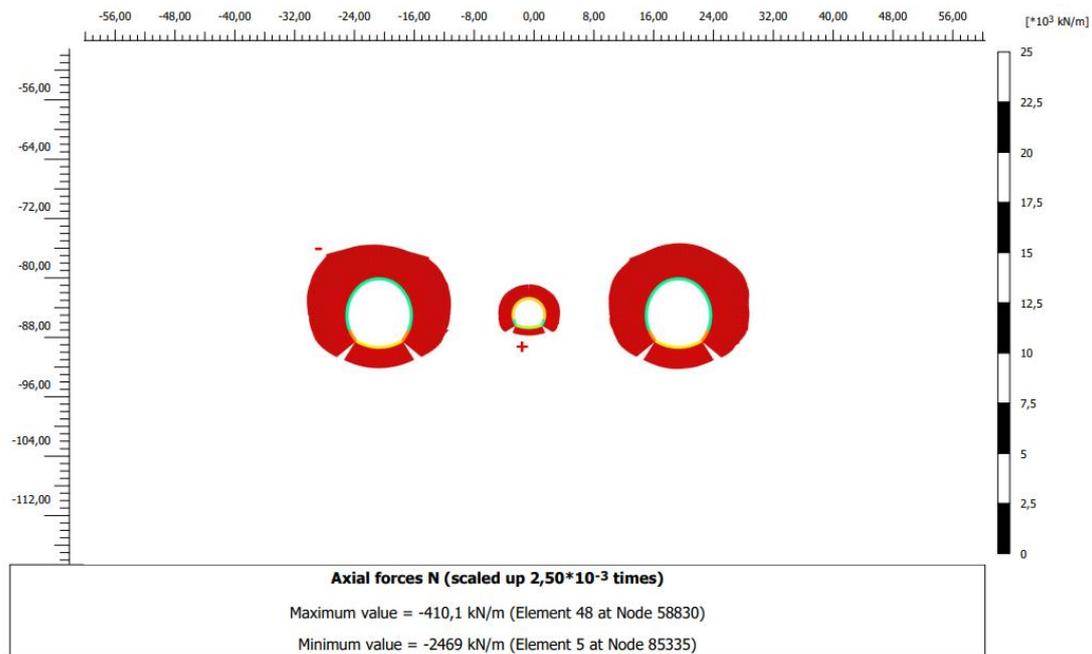


Figura 9-50 - Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1 (Fase 15)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 88 di 224

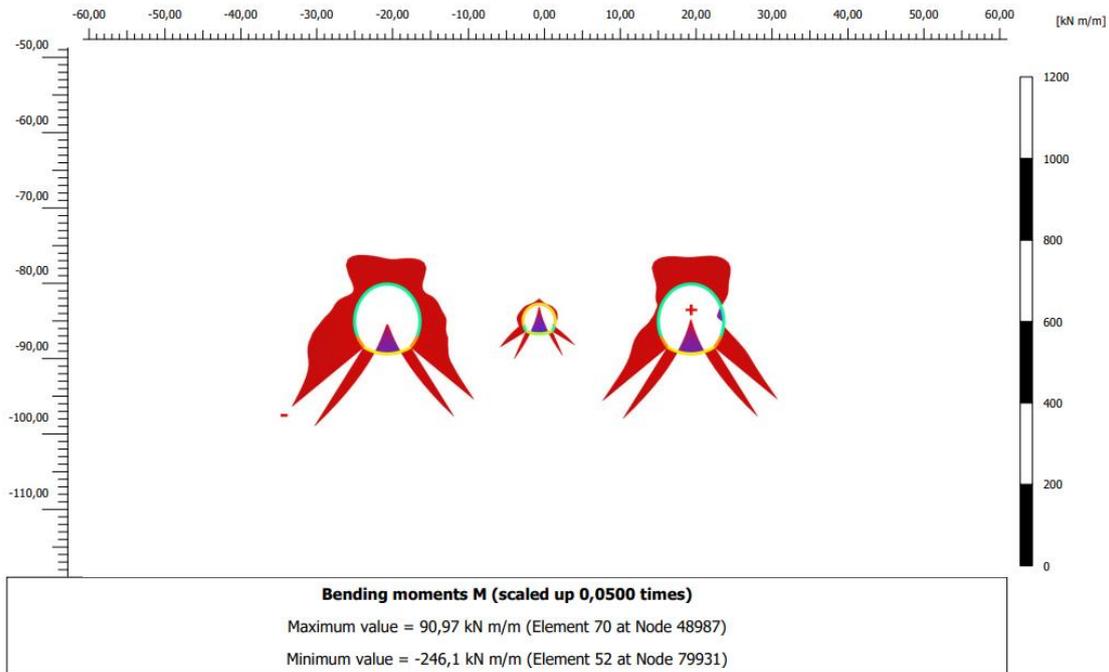


Figura 9-51 - Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1 (Fase 15)

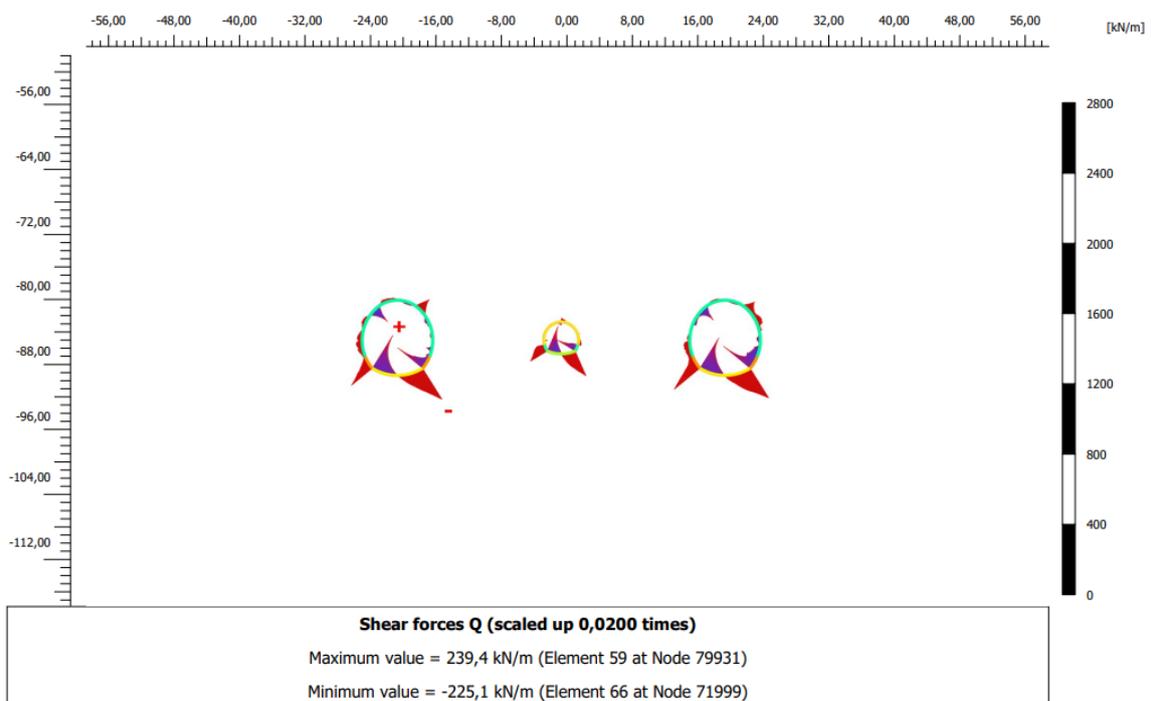


Figura 9-52 - Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1 (Fase 15)

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 89 di 224

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 90 di 224

9.3.9 Sezione B1L

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §9.1.4.

9.3.9.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1L eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
B1L	5.2	30	0.81	27	136	40	980

H: copertura rispetto all'asse della galleria
 S_m : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria
 γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Di seguito i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento mediante barre DYWI.

n_{DYWI}	L_A [m]	ϕ_{perf} [m]	A_i [m ²]	$\sigma_{3,A}^{DYWI}$ [kPa]	$\sigma_{3,B}^{DYWI}$ [kPa]	σ_3^{DYWI} [kPa]	$\Delta c'_k$ [kPa]
24	5.4	0.11	3.58	130.35	223.52	130.35	162.74

n_{DYWI} : numero di barre al fronte
 L_A : lunghezza minima di sovrapposizione delle barre
 A_i : area di influenza della singola barra
 $\sigma_{3,A}^{DYWI}$: resistenza a sfilamento delle barre
 $\sigma_{3,B}^{DYWI}$: resistenza a rottura delle barre
 σ_3^{DYWI} : tensione minima resistente al fronte
 $\Delta c'_k$: coesione caratteristica equivalente indotta dall'intervento di consolidamento del fronte

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 91 di 224		

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Sezione di analisi	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [cm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
B1L	1,15	0,01	94,00	0,29	0,05	5,26	1,01	A	A	A

Tabella 9-23 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo B1L.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono tali da poter ritenere la verifica di stabilità soddisfatta.

9.3.9.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi della curva di Panet è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della Sezione Tipo in oggetto.

Nella figura seguente è rappresentato l'andamento del coefficiente di deconfinamento applicato al modello.

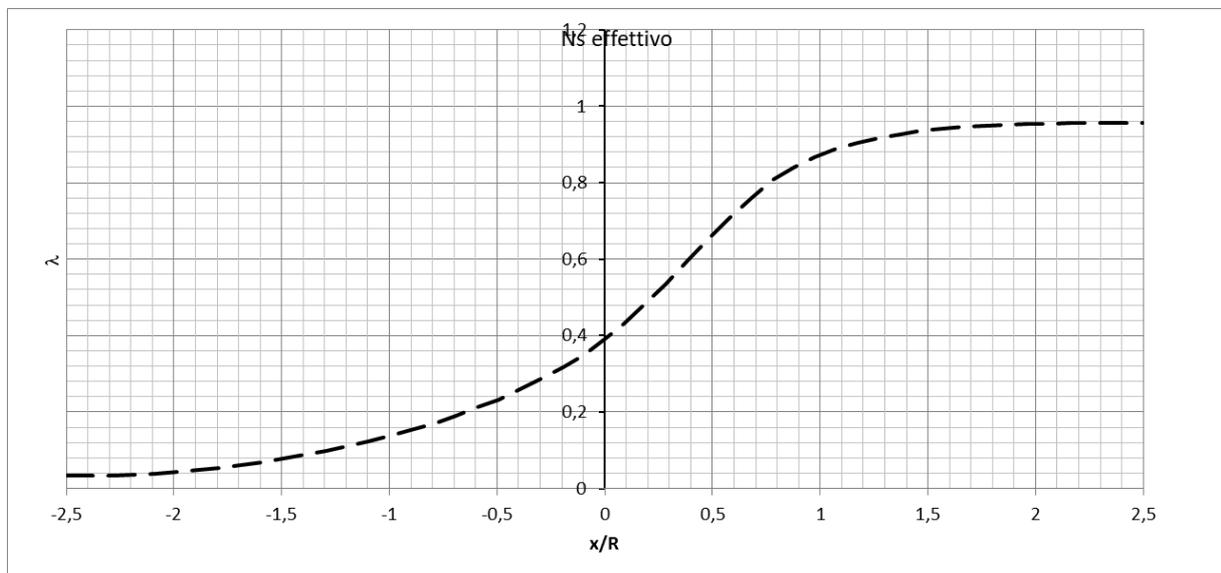


Figura 9-53 – Coefficiente di deconfinamento Sezione Tipo B1L – Curva di Panet

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	92 di 224

La tabella seguente (Tabella 9-24) riepiloga le fasi di analisi numeriche per la sezione tipologica in esame e i relativi tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche:

Fase	Descrizione	λ
(#)	(-)	(-)
0	Initial	-
1	Nil	-
2	Avanzamento in corrispondenza del fronte SX(x=0m)	0.39
3	Avanzamento tunnel SX(x=2.4m)	0.64
4	Attivazione provvisorio maturazione intermedia SX (x=6m)	0.90
5	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel SX (x=15m)	0.99
6	Avanzamento in corrispondenza del fronte DX (x=0m)	0.39
7	Avanzamento tunnel DX(x=2.4m)	0.64
8	Attivazione provvisorio maturazione intermedia DX (x=6m)	0.90
9	Maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (x=15m)	0.99
10	Attivazione Rivestimento Definitivo	1
11	Lungo Termine	1

Tabella 9-24 – Fasi di calcolo riferite alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

Si ipotizza in fase di modellazione la posa in opera del rivestimento definitivo a deformazioni sostanzialmente esaurite, tale condizione corrisponde all'applicazione di fattore di rilascio pari a 1, che nel caso della sezione in esame corrisponde in via teorica ad una distanza dal fronte a partire da $X = 16m$ (pari comunque ad una distanza inferiore a 3 diametri/5 diametri: indicazione di distanza del getto del rivestimento definitivo riportata in Linee Guida)

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato nella figura sottostante.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 93 di 224

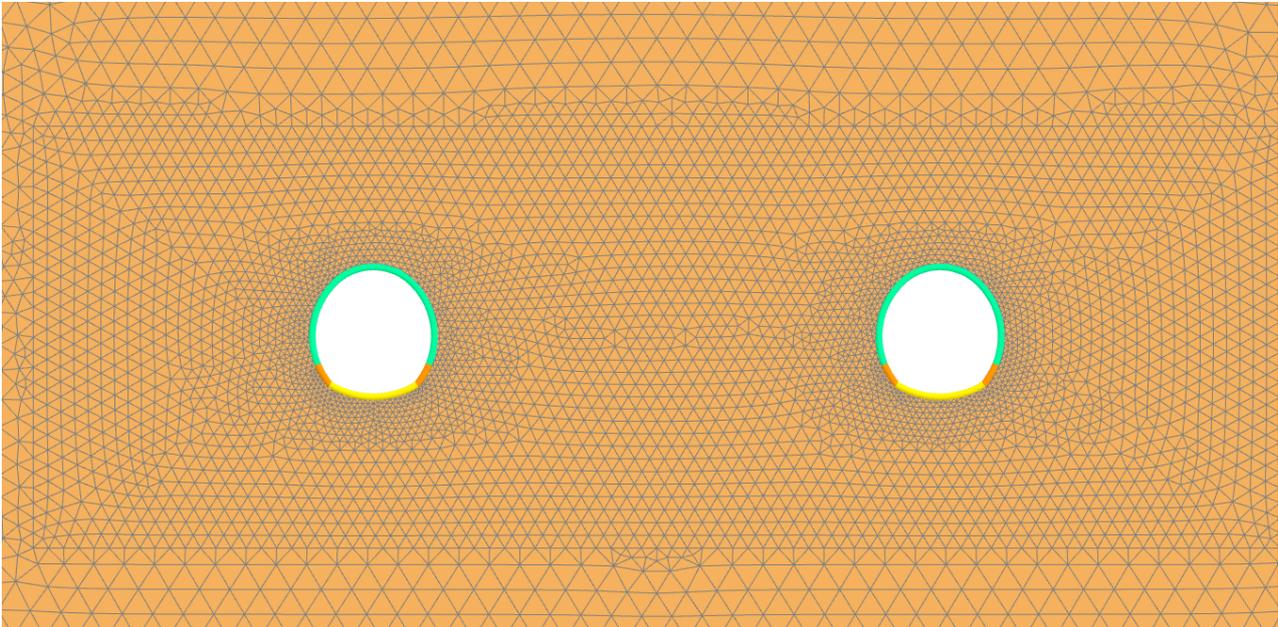


Figura 9-54 – Modello numerico relativo alla simulazione numerica in condizioni di deformazione piana per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali.

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]	Spritz-beton [cm]	Ancoraggi radiali	Sostegno al contorno	Sostegno al fronte	Centine	Drenaggi in avanzamento
B1L	2,40	5+25	-	18 barre R51N L=12m p. 4.8 m	24 barre R51N L=15 m sovrapp. min 5,4 m 5 cm di spritz sullo sfondo e 10 cm a fine	2 IPN 180 p. 1.20 m	Eventuali - 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC L=30m (sovrapp. min. 10 m)

Tabella 9-25 – Sostegni Sezione Tipo B1L

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
B1L	< 3 ϕ	< 5 ϕ	80 cm min (30 kg/mc)	80 cm min (30 kg/mc)	70 cm non armato

Tabella 9-26 – Rivestimento definitivo Sezione Tipo B1L

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nei dintorni del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e i diagrammi di sollecitazione nel rivestimento di prima fase.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 94 di 224

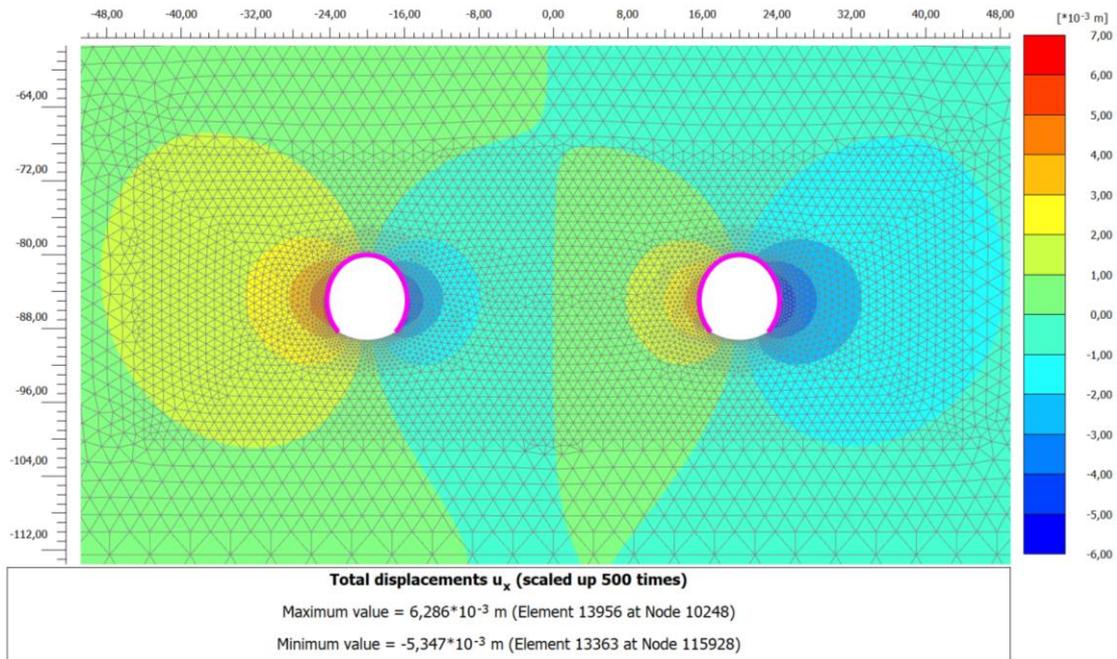


Figura 9-55 – Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

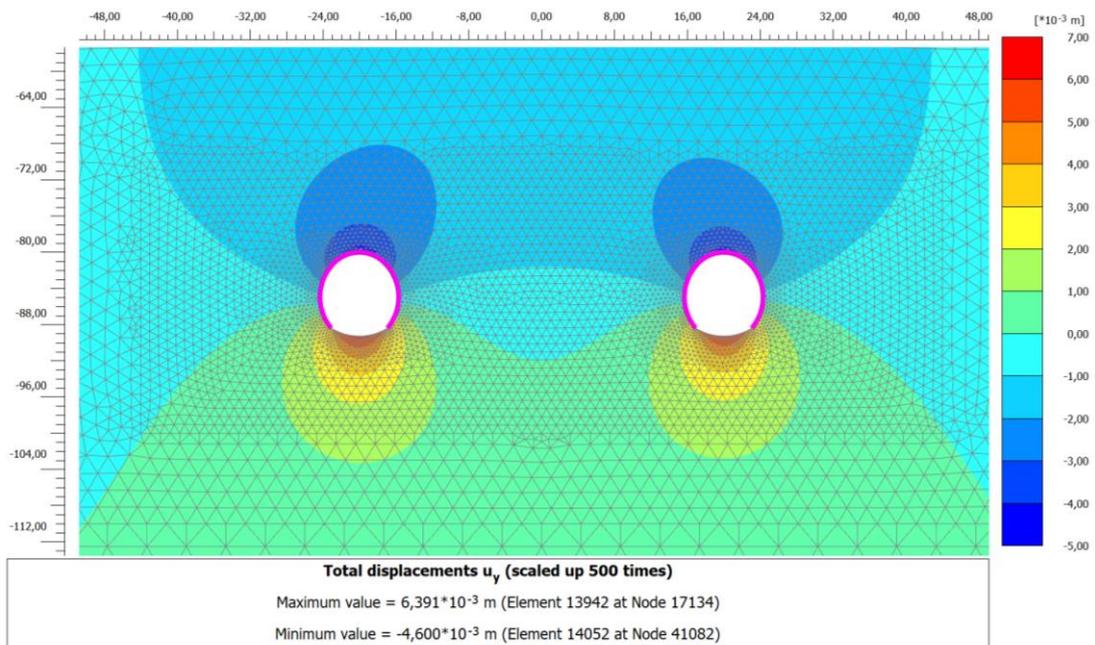


Figura 9-56 – Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 95 di 224

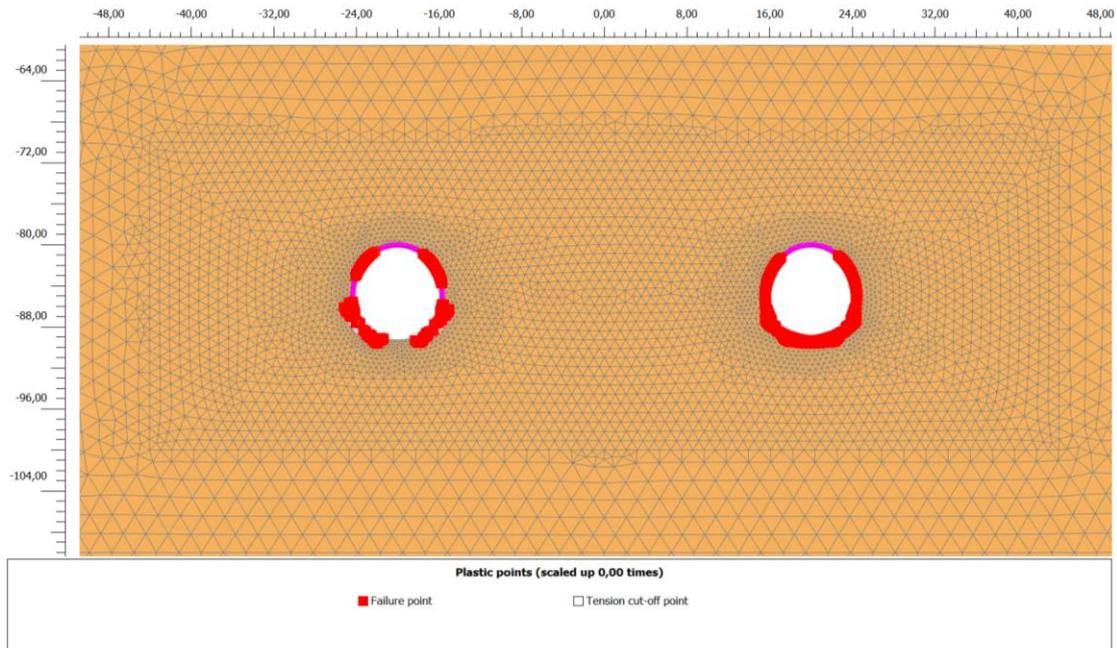


Figura 9-57 – Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

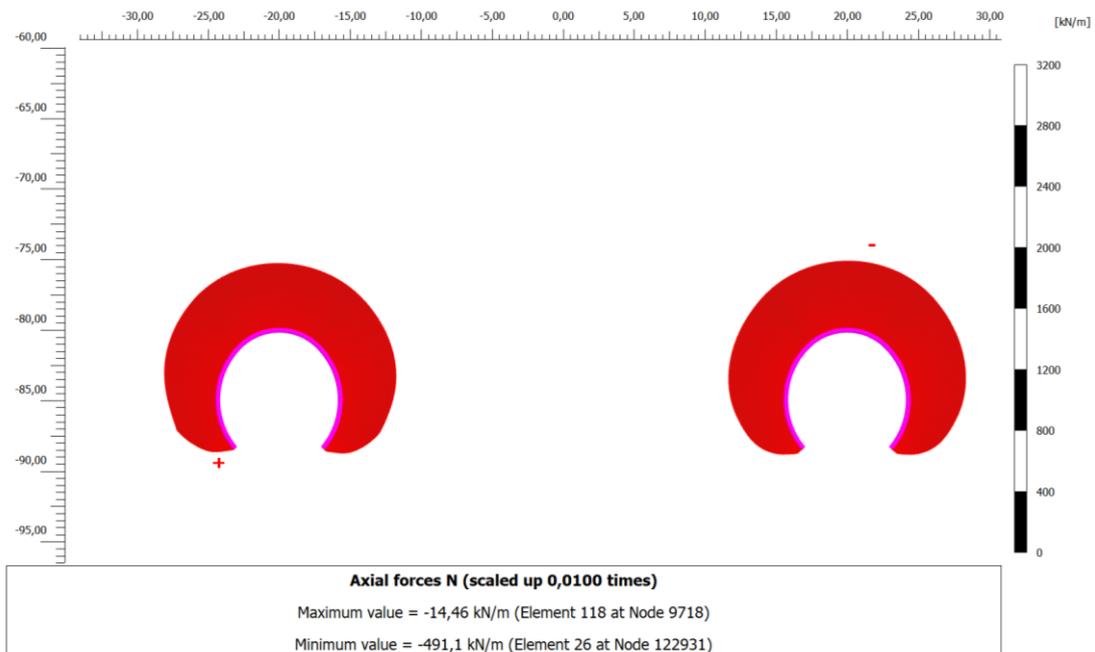


Figura 9-58 – Sforzo normale agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 96 di 224

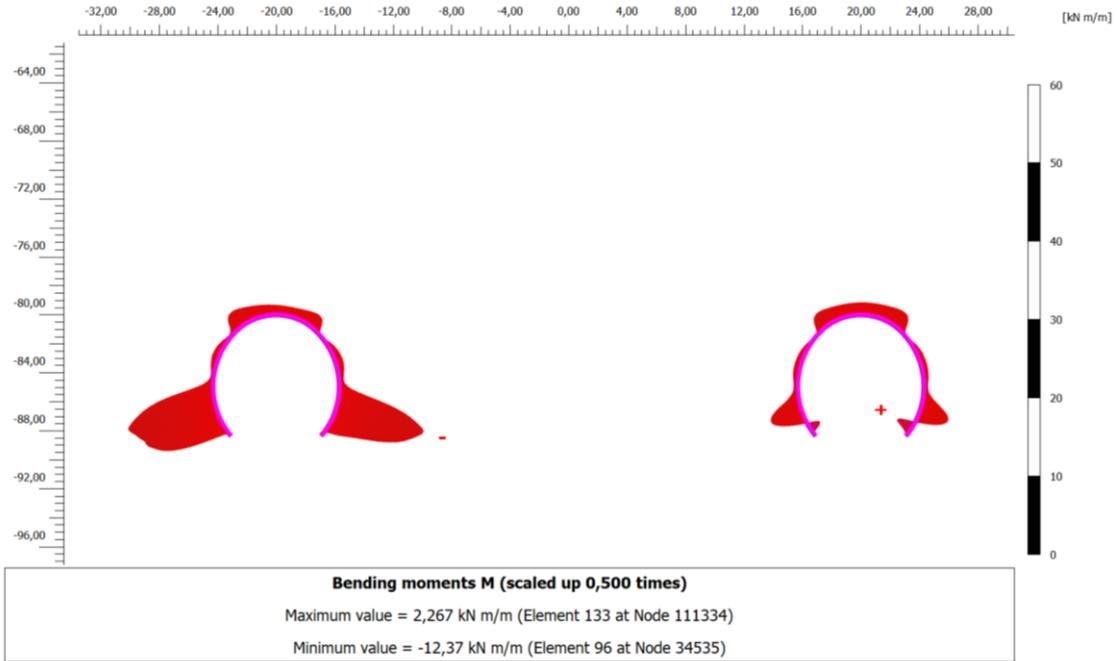


Figura 9-59 – Momento flettente agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

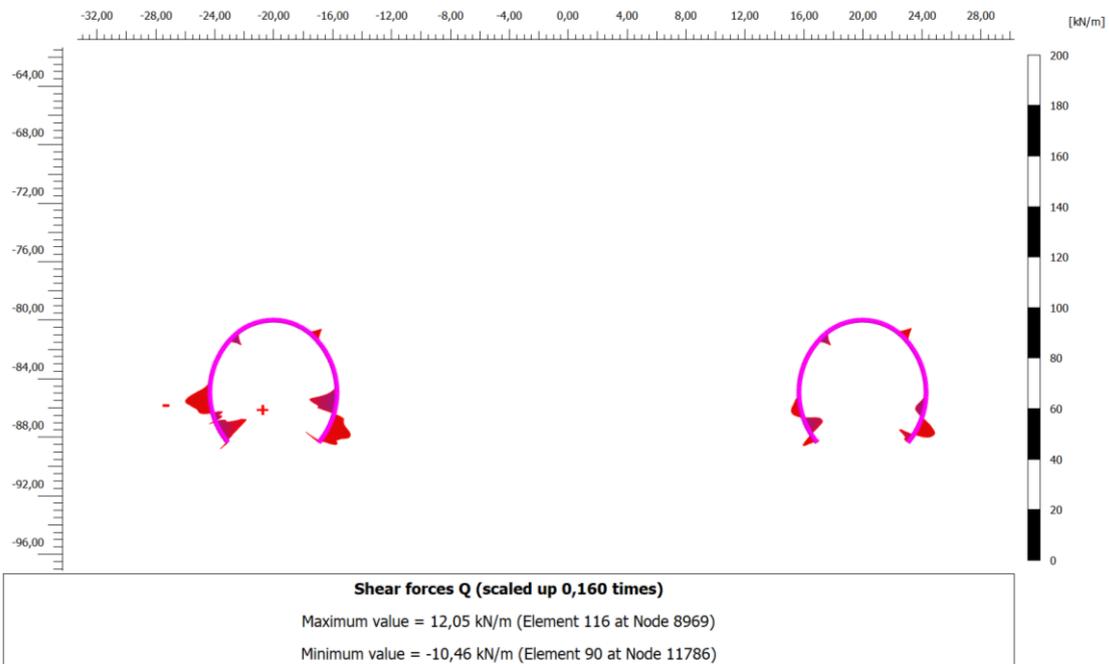


Figura 9-60 – Sforzo di taglio agente sul rivestimento provvisorio - Sezione Tipo B1L (Fase 9)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 97 di 224

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

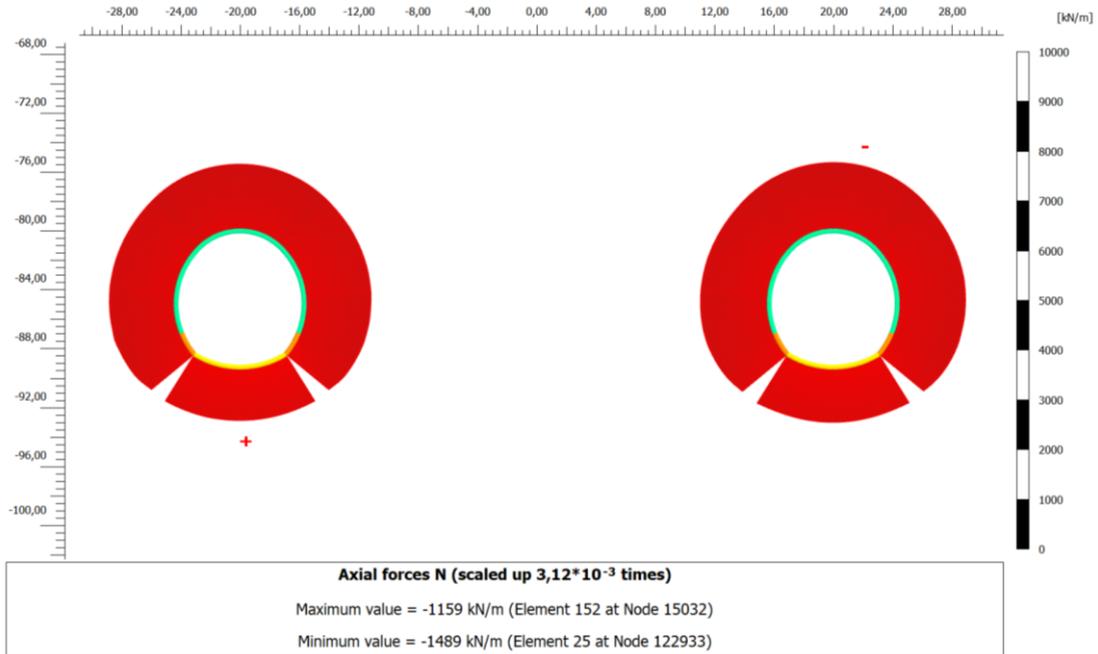


Figura 9-61 – Involuppo di sforzo normale agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1L (Fase 11)

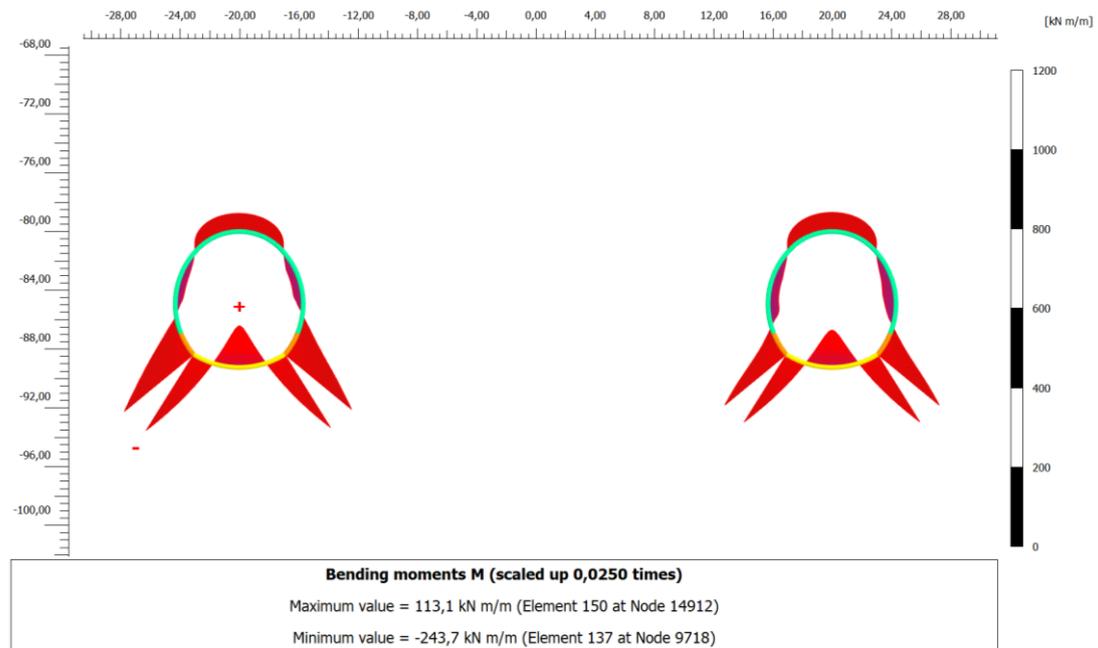


Figura 9-62 – Involuppo di momento flettente agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1L (Fase 11)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 98 di 224

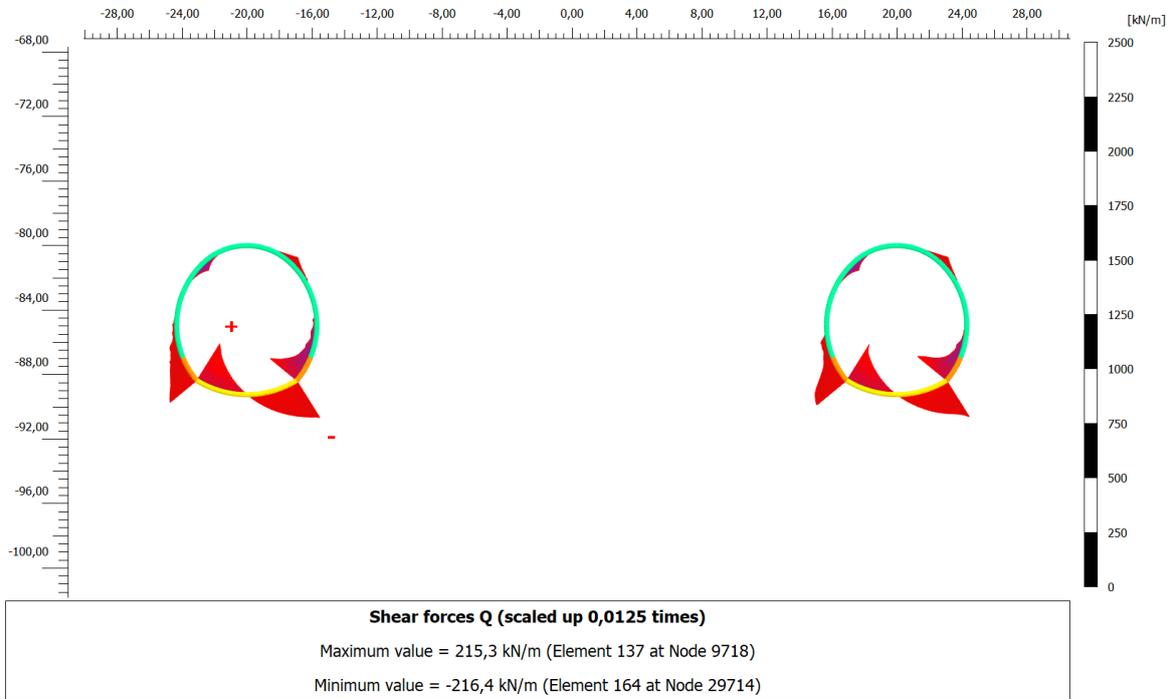


Figura 9-63 – Involuppo di sforzo di taglio agente sul rivestimento definitivo - Sezione Tipo B1L (fase 11)

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	99 di 224

9.4 VERIFICHE INTERVENTI RADIALI

Nel seguito si riportano le espressioni utilizzate per le verifiche degli interventi di bullonatura radiale.

Per quanto riguarda le verifiche a trazione si confronta lo sforzo assiale di calcolo N_{Ed} con la resistenza a trazione della barra, associata al tipo di bullone adottato.

Per quanto riguarda le verifiche a sfilamento si confronta lo sforzo assiale di calcolo N_{Ed} con la resistenza a sfilamento calcolata mediante la seguente espressione:

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

in cui:

L = lunghezza del bullone

τ_{ad} = tensione limite aderenza

$D = \alpha D_p$ diametro teorico

D_p = diametro di perforazione

α = coefficiente di sbulbamento

$\gamma_{Ra,t}$ = coefficiente parziale per tiranti provvisori;

ξ_a = fattore di correlazione con riferimento a prove geotecniche eseguite;

Per la verifica dei bulloni si è adottato un valore della tensione limite di aderenza di $\tau_{ad} = 0.25$ MPa per gli Swellex e $\tau_{ad} = 0.35$ MPa per le barre cementate. Si è assunto inoltre un coefficiente di sbulbamento $\alpha = 1.0$ per gli Swellex e $\alpha = 1.1$ per le barre cementate.

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	100 di 224

9.5 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 9-27, ovvero:

- lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidità 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.

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 9-27 – Ripartizione sollecitazioni tra centine e spritz-beton.

In ogni sezione di verifica sono stati 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.

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

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

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	101 di 224

9.6 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.

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.

Le verifiche dei rivestimenti definitivi in calcestruzzo non armato sono state condotte in accordo con il §4.1.11 delle NTC 2008.

La misura della sicurezza si ottiene controllando che, per ogni condizione di verifica, le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni di calcolo risultano inferiori della tensione:

$$\sigma_c = 0.25 \cdot f_{ck}$$

Le verifiche a taglio si intendono soddisfatte quando le tensioni tangenziali massime valutate per la combinazione rara siano inferiori al valore di seguito riportato:

$$\tau_c = 0.21 \cdot f_{ck}$$

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:

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

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.

Per alcune sezioni tipo analizzate è stata riscontrata la necessità di predisporre armatura a taglio costituita da spilli disposti con passo radiale e longitudinale compatibile con la spaziatura adottata per armatura corrente ed armatura di ripartizione, per lo più in corrispondenza di murette e arco rovescio.

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	102 di 224

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:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.4f_{ck}$$

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

$$\sigma_{s,max} \leq 0.75f_{yk}$$

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.

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 (Rif. [14]). 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.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 103 di 224

9.7 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.7.1 Sezione A0bis

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 (fase 9).

Il rivestimento di prima fase della sezione A0bis è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.2 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali per lo spritz-beton.

Le figure sottostanti mostrano che tutte le sollecitazioni risultano inferiori alla resistenza offerta dallo spritz-beton; pertanto, la verifica è soddisfatta in ogni punto del rivestimento provvisorio.

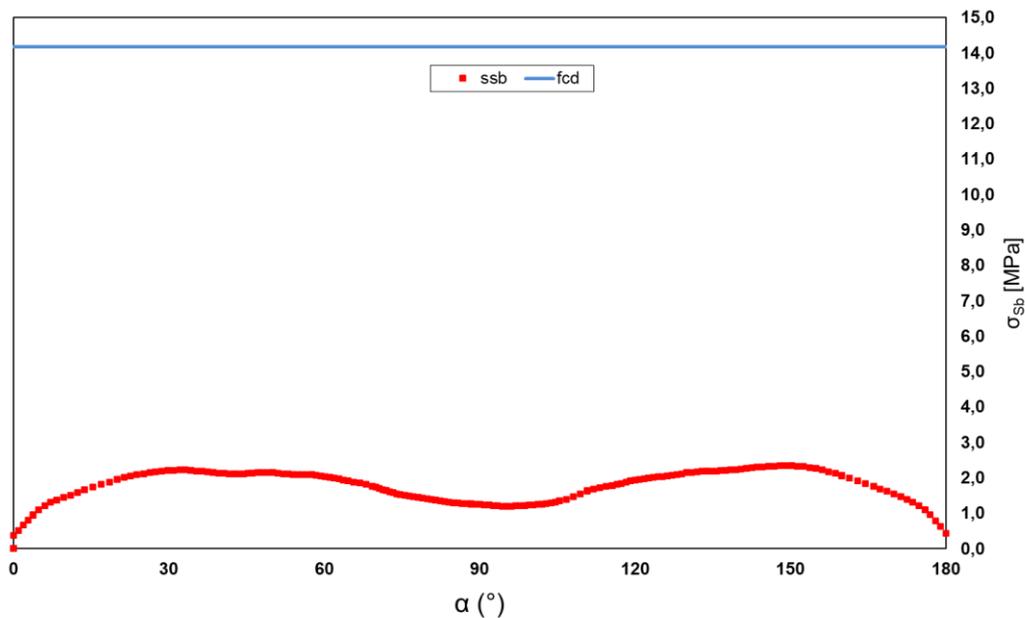


Figura 9-64 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A0bis-SX

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				
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 104 di 224	

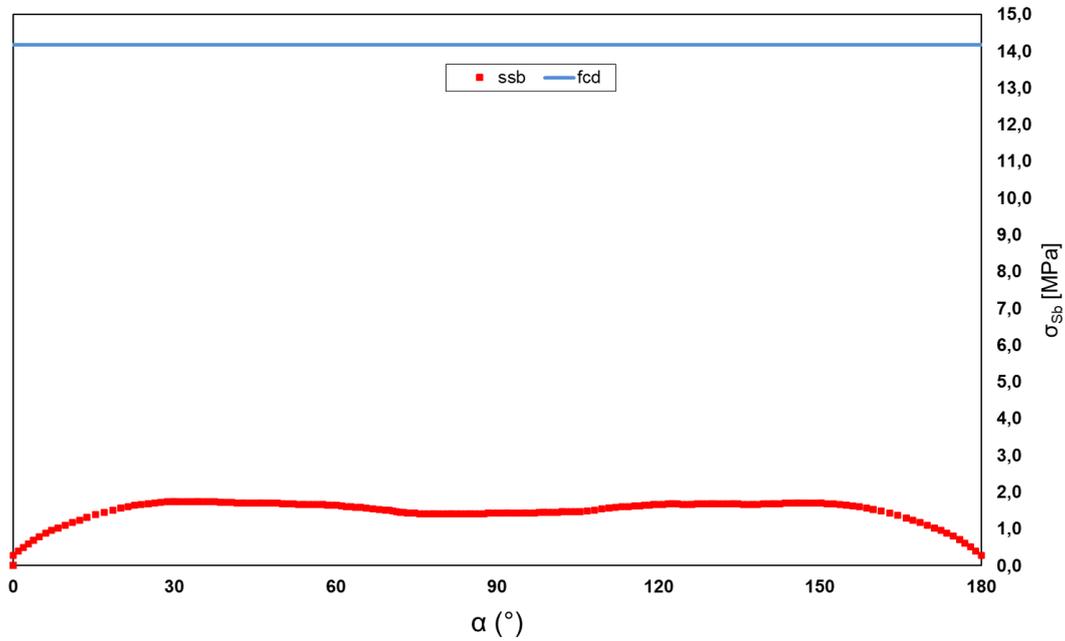


Figura 9-65 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A0bis-DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 105 di 224

9.7.1.2. Verifica del rivestimento definitivo

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza.

Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.5m	-	-	-
Murette	25/30	0.6 m	-	-	-
Arco rovescio	25/30	0.6 m	-	-	-

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 11 (Lungo termine) per entrambe le canne.

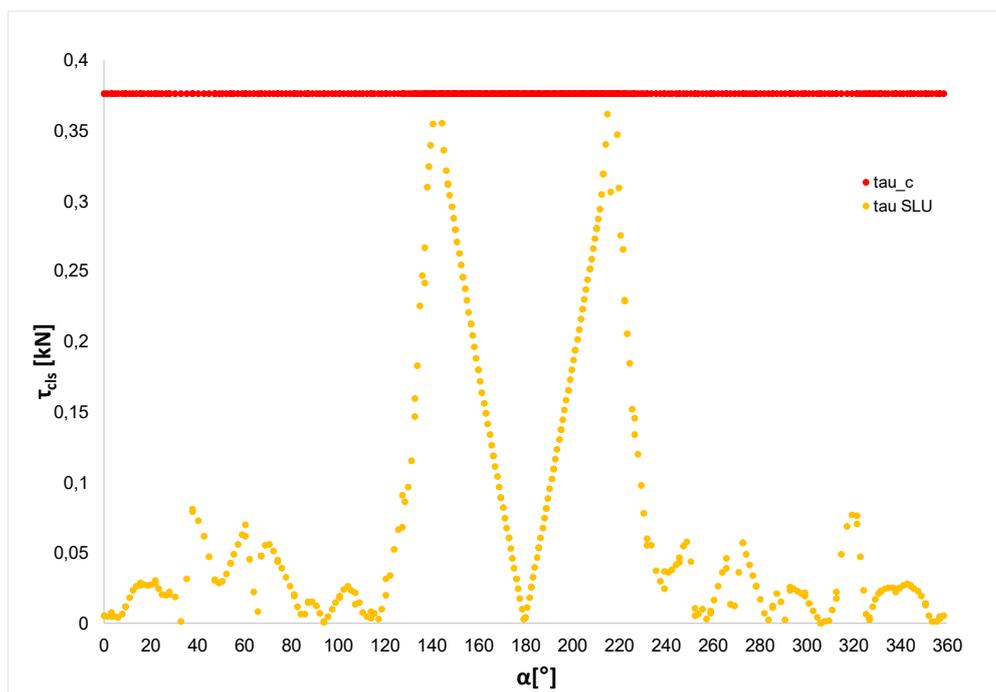


Figura 9-66 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A0bis-SX

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	106 di 224

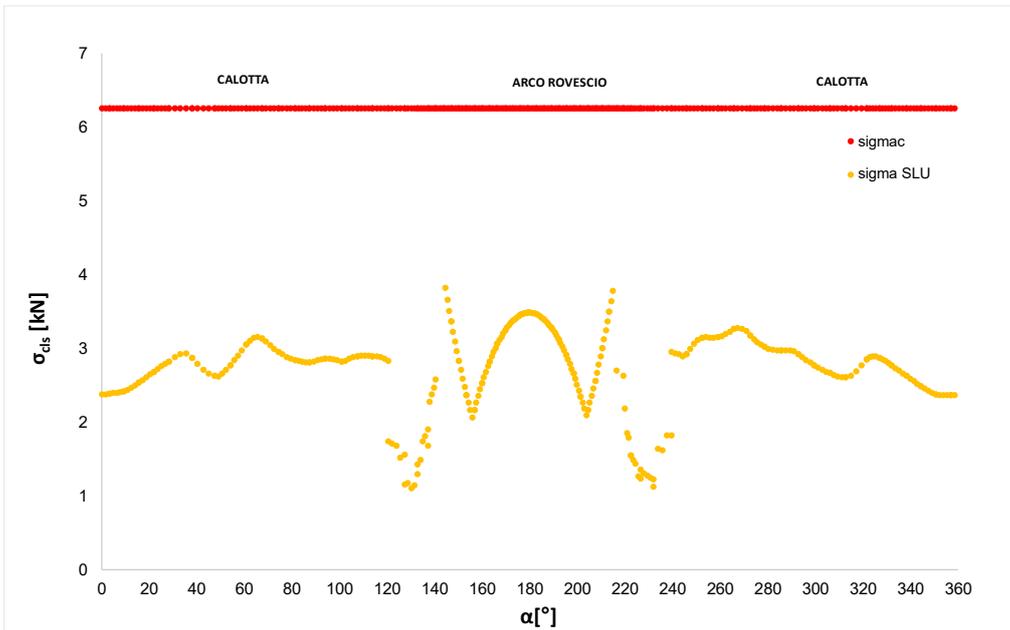


Figura 9-67 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A0bis-SX

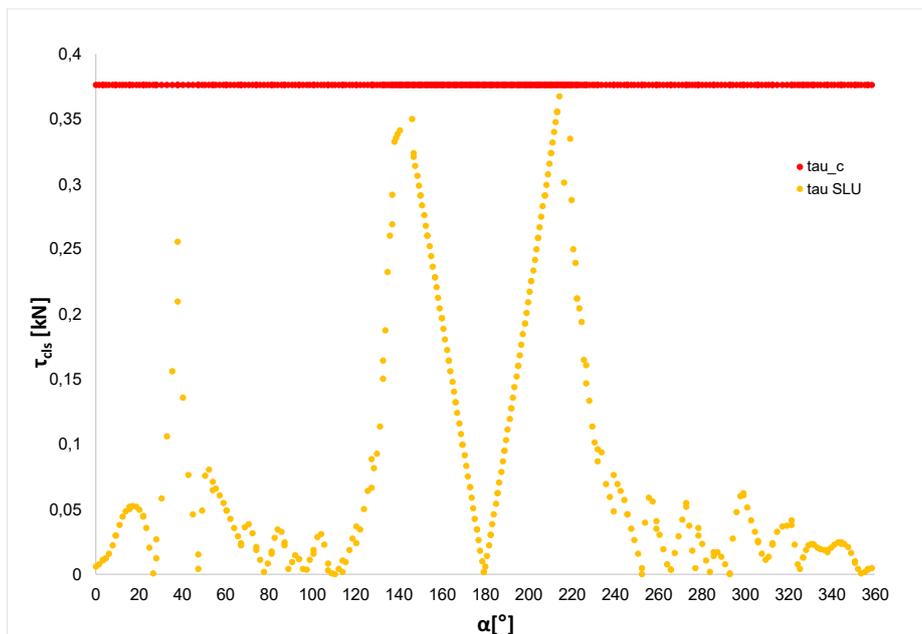


Figura 9-68 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A0bis-DX

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 107 di 224

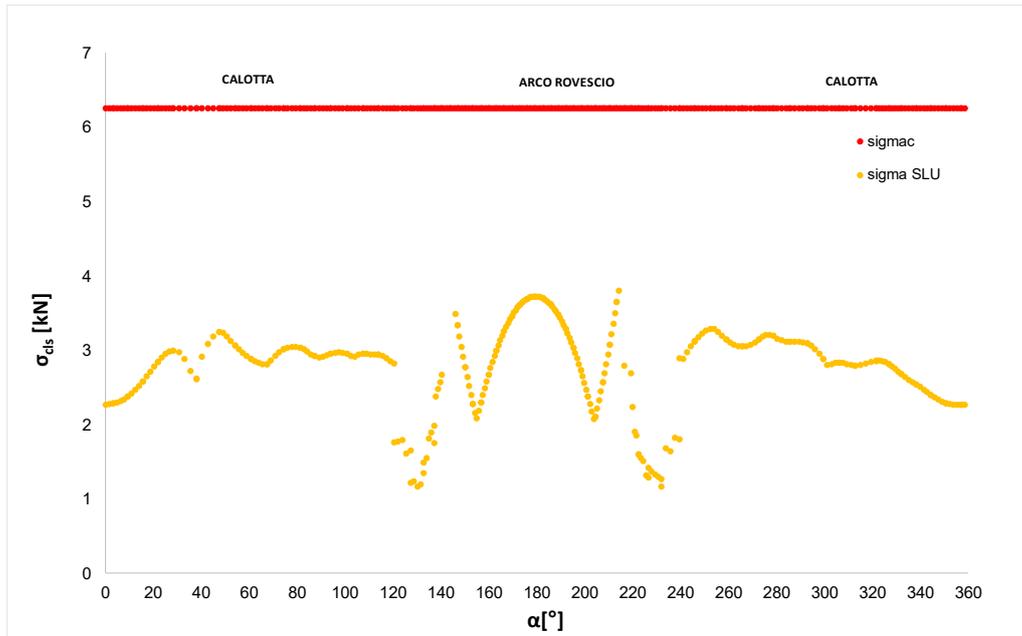


Figura 9-69 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A0bis- DX

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 108 di 224

9.7.1.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione A0bis sono costituiti da bulloni radiali di tipo Swellex PM16.

I parametri utilizzati nella verifica dei bulloni radiali sono riportati di seguito.

Elemento	D _{perf}	L	i _{long}	α	q _s	F _{tk}	F _{yk}	γ _s	γ _a	ξ _a
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
9+10 Swellex PM16	50	4	2.0	1.0	250	160	140	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \cdot \gamma_g = 9.2 \cdot 2.0 \cdot 1.3 = 23.9 \text{ kN}$$

dove:

N = massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

γ_g = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, valutata come in §9.4, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.0 \cdot \pi \cdot 0.05 \cdot 4 \cdot 250}{1.1 \cdot 1.6} = 89.25 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=3.73**

La **resistenza a rottura** viene valutata come:

$$F_{Nd} = \frac{F_{yk}}{\gamma_s} = \frac{140}{1.15} = 122 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=5.10**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

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					
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C
						FOGLIO.
						109 di 224

9.7.2 Sezione A1

9.7.2.1. Verifica del rivestimento provvisorio (galleria principale)

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione A1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.4 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali, per entrambi gli elementi che costituiscono il rivestimento provvisorio.

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

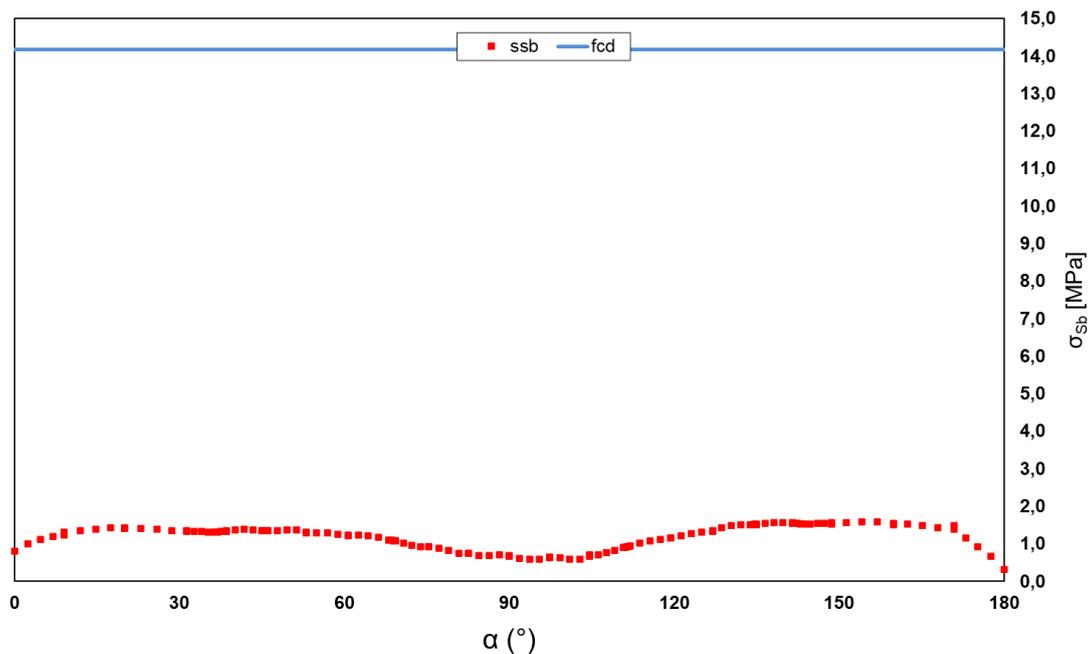


Figura 9-70 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A1-SX

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		
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa: IB0U LOTTO: 1AEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000009 REV.: C FOGLIO: 110 di 224	

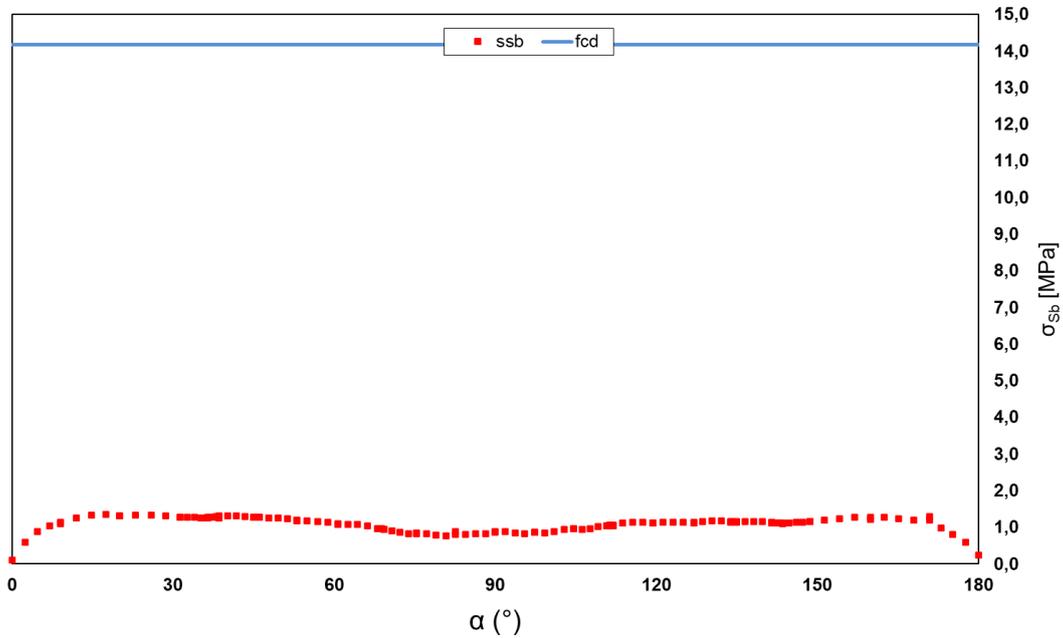


Figura 9-71 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A1-DX

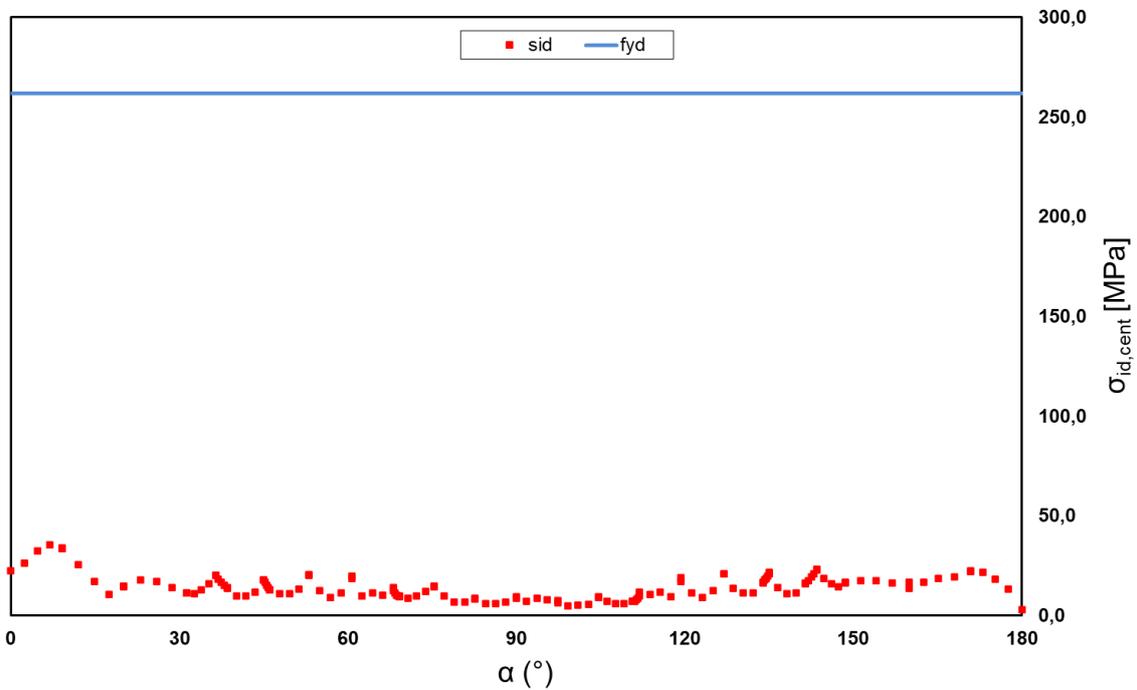


Figura 9-72 – Verifica SLU per le centine – Sezione Tipo A1-SX

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		
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1AEZZ RH GN0000009 C 111 di 224	

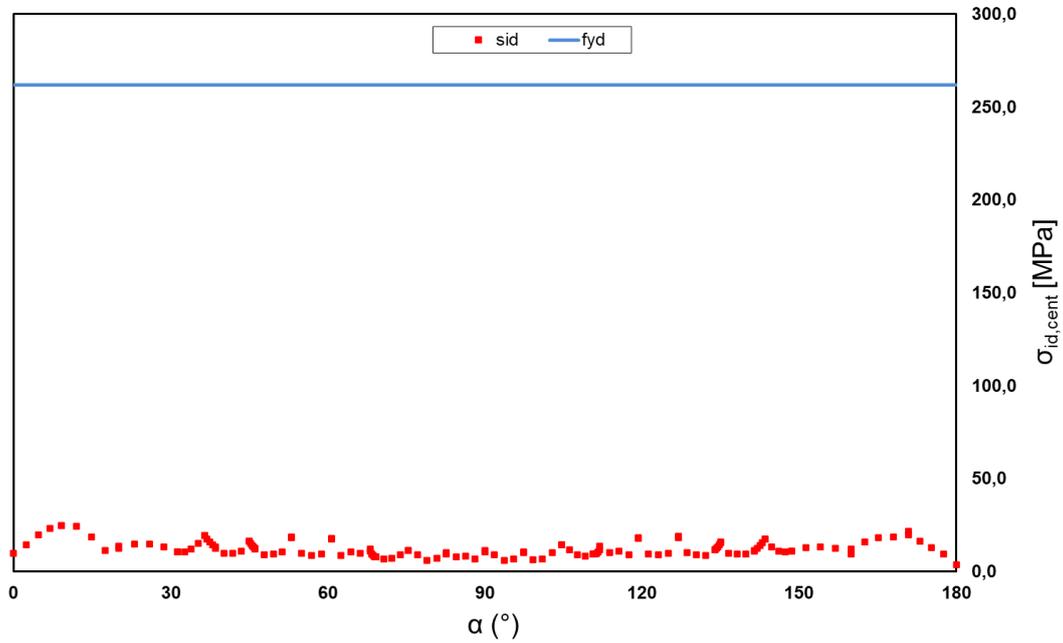


Figura 9-73 – Verifica SLU per le centine – Sezione Tipo A1-DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	112 di 224

9.7.2.2. Verifica del rivestimento provvisorio (Galleria di sfollamento)

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione A1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.2 m e centine accoppiate 2IPN160 a passo 1.0 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali per lo spritz-beton.

La figura sottostante mostra che tutte le sollecitazioni risultano inferiori alla resistenza offerta dallo spritz-beton; pertanto, la verifica è soddisfatta in ogni punto del rivestimento provvisorio.

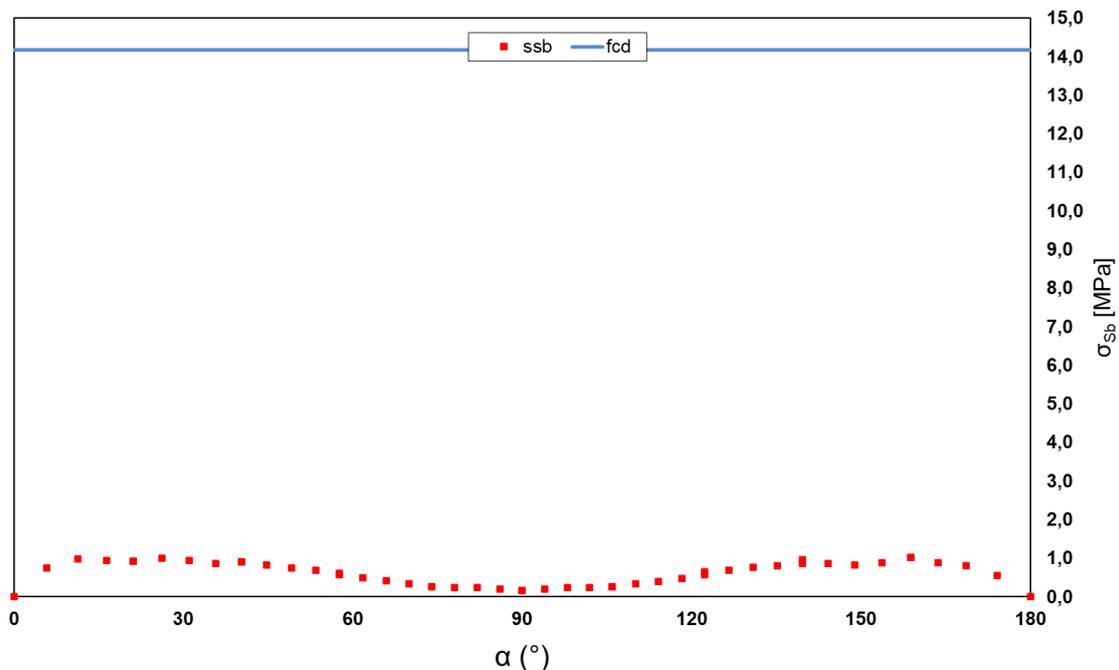


Figura 9-74 – Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton – Sezione Tipo A1 sfollamento

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 113 di 224	

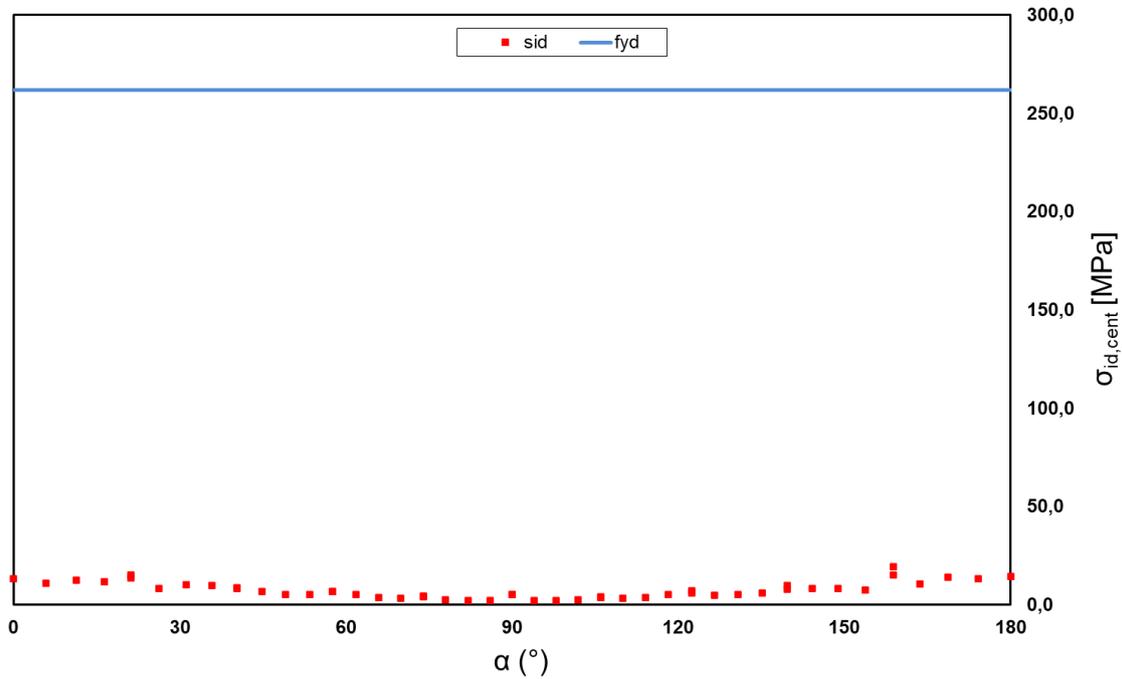


Figura 9-75 – Verifica SLU per compressione per le centine – Sezione Tipo A1 sfollamento

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 114 di 224

9.7.2.3. Verifica del rivestimento definitivo (Galleria principale)

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §9.3.1 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS ed i ferri di armatura considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.6m	-	-	-
Murette	25/30	0.6 m	Φ14/20	Φ14/20	-
Arco rovescio	25/30	0.6 m	Φ14/20	Φ14/20	-

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 15 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento.

Le verifiche a pressoflessione vengono invece riportate in termini di dominio ultimo, mostrando come ciascuna coppia di punti (M;N) sia interna al dominio.

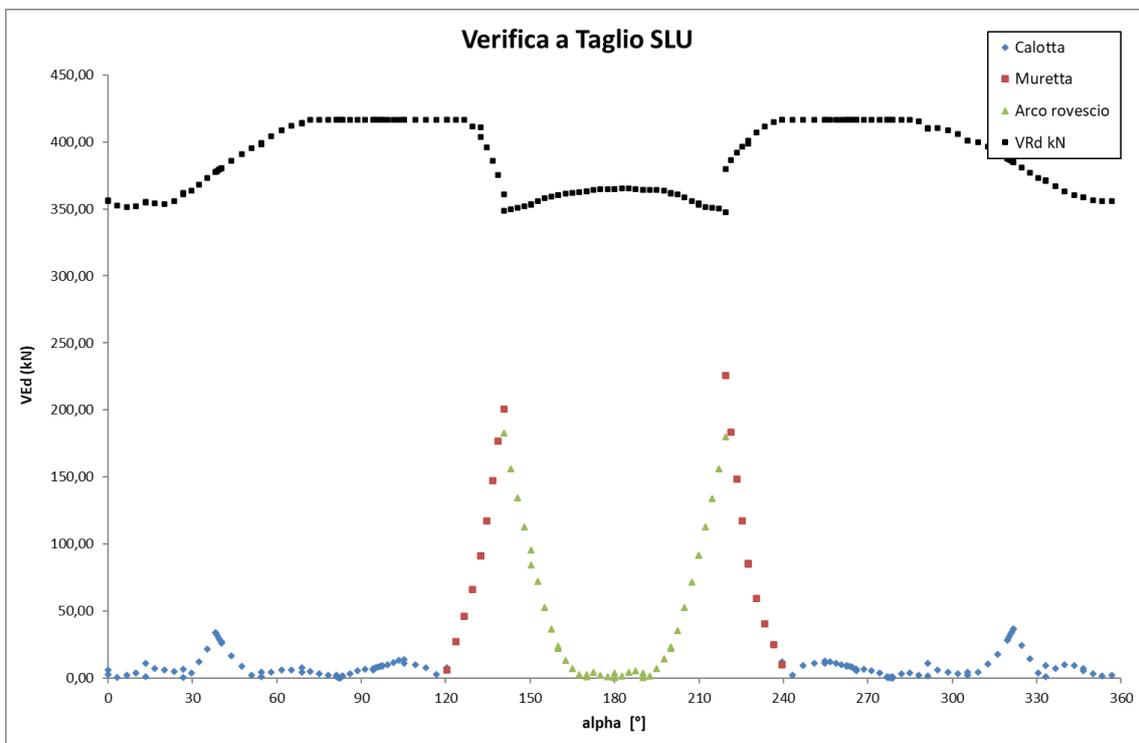


Figura 9-76 – Verifica a taglio rivestimento definitivo SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 115 di 224

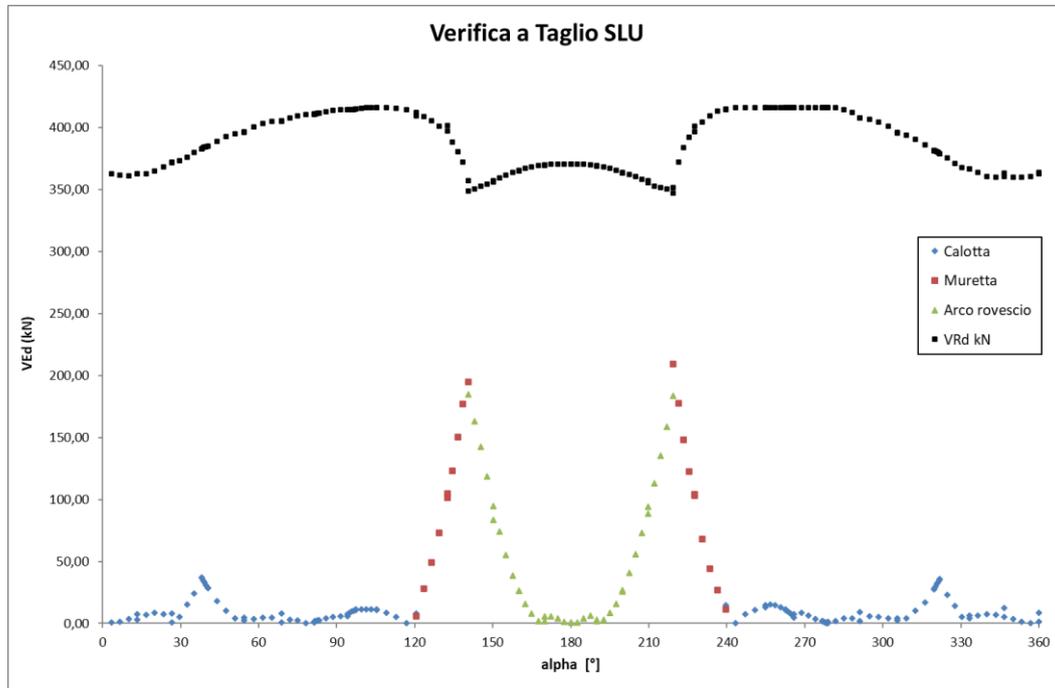


Figura 9-77 – Verifica a taglio rivestimento definitivo DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 116 di 224

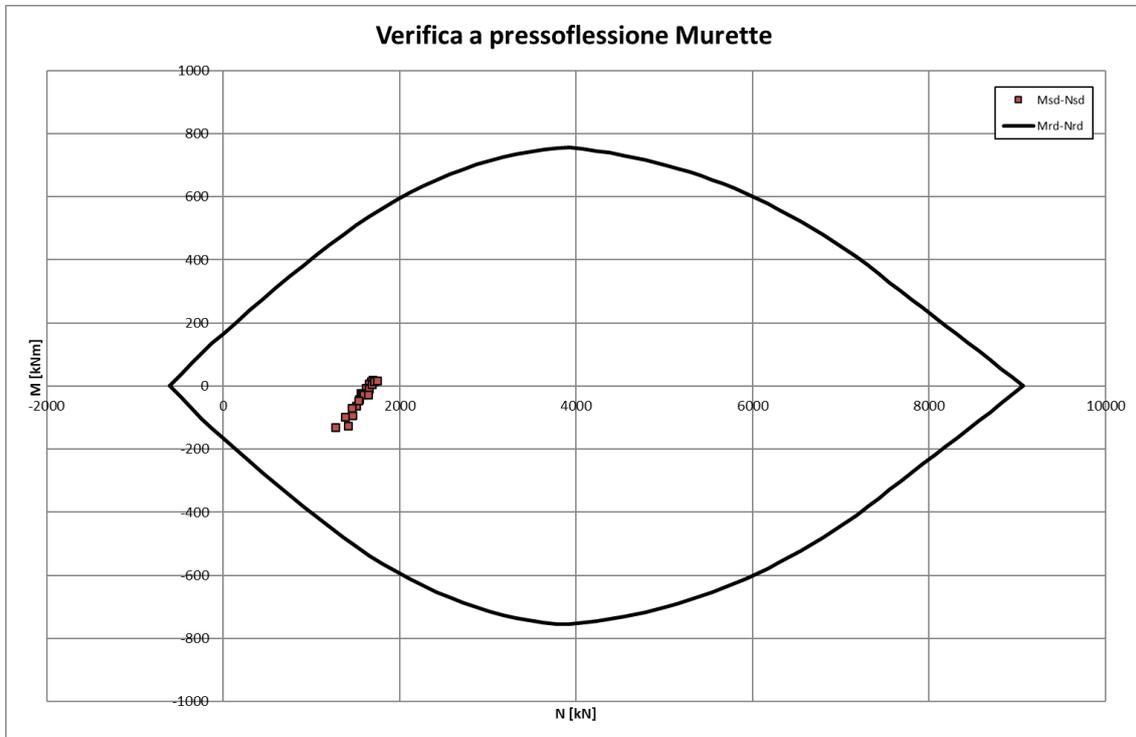


Figura 9-78 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette – Coppie (M;N)-SX

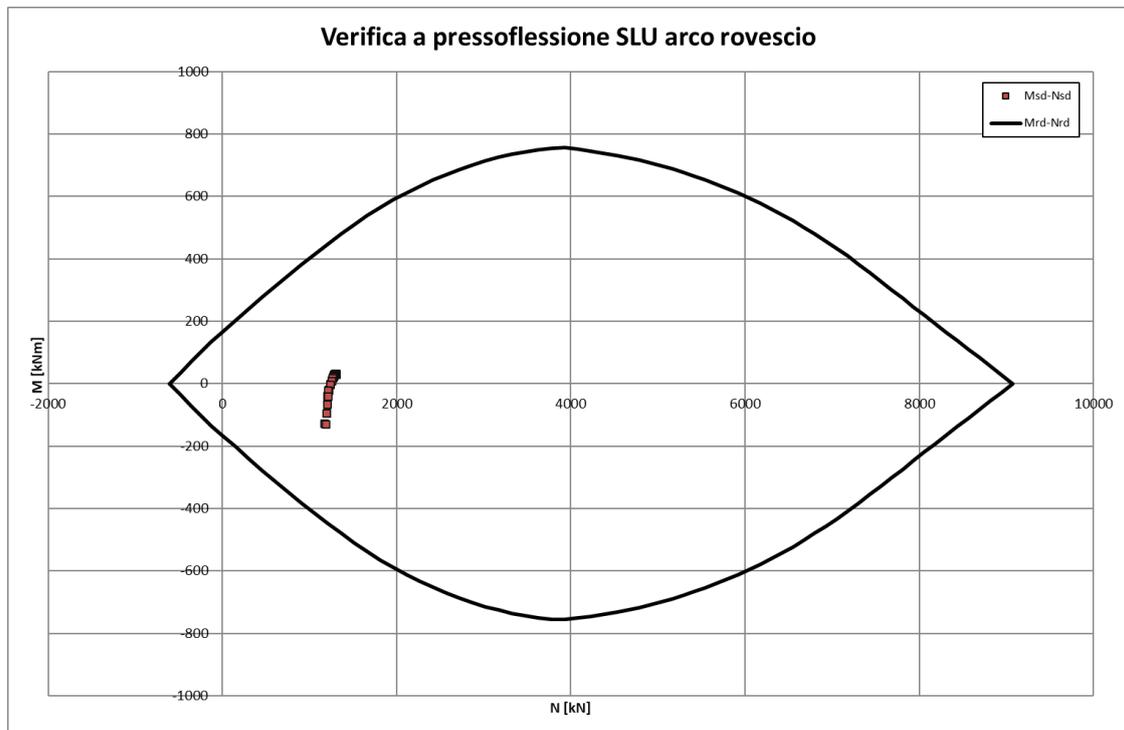


Figura 9-79 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 117 di 224

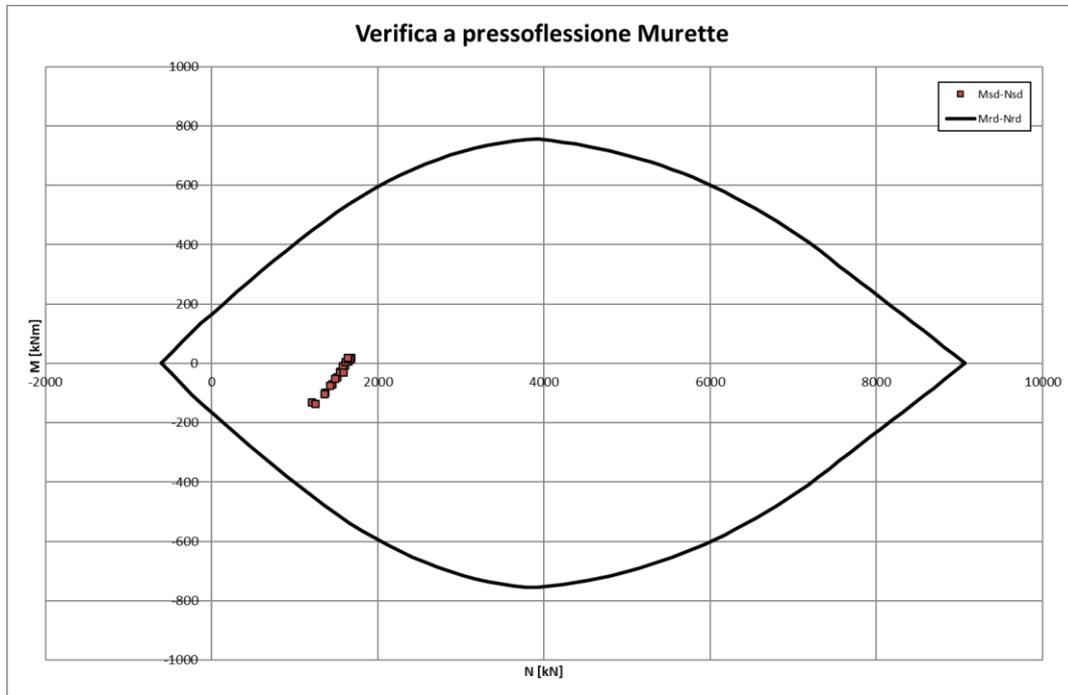


Figura 9-80 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-DX

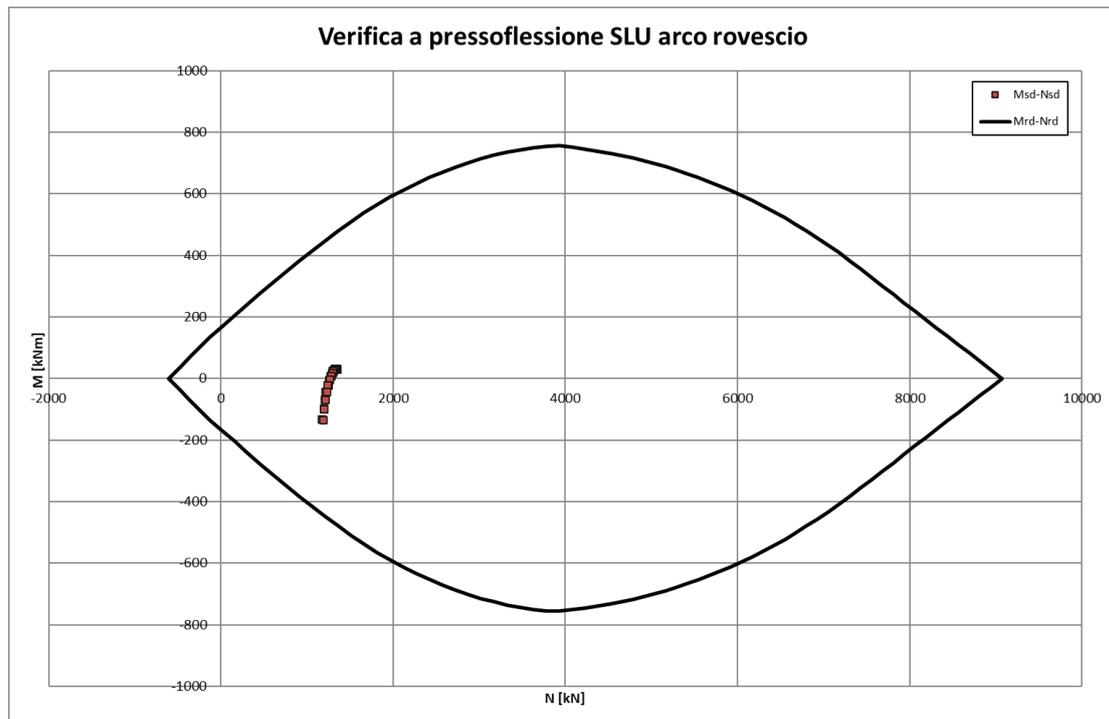


Figura 9-81 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 118 di 224

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

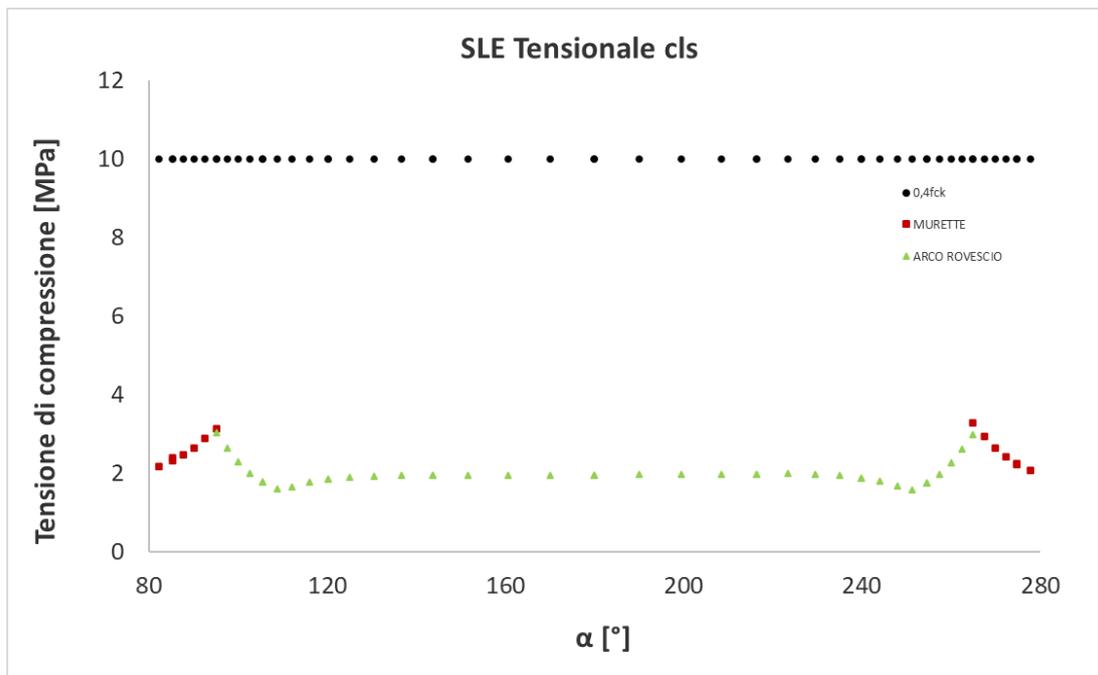


Figura 9-82 – Verifica tensioni calcestruzzo SX

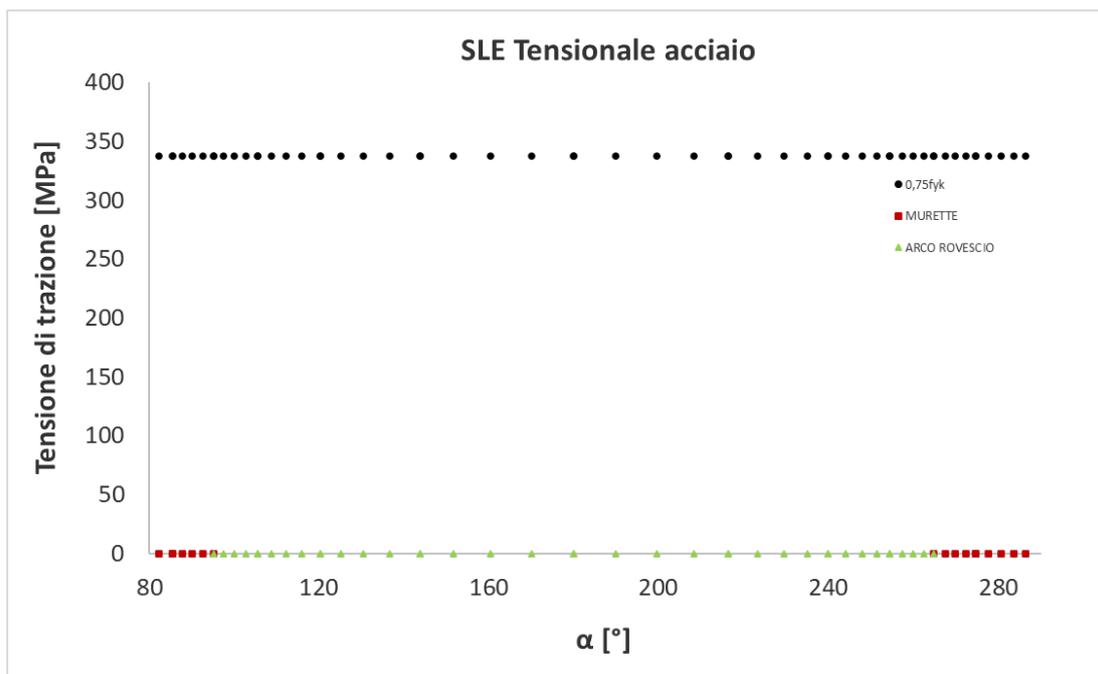


Figura 9-83 – Verifica tensioni acciaio SX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	119 di 224

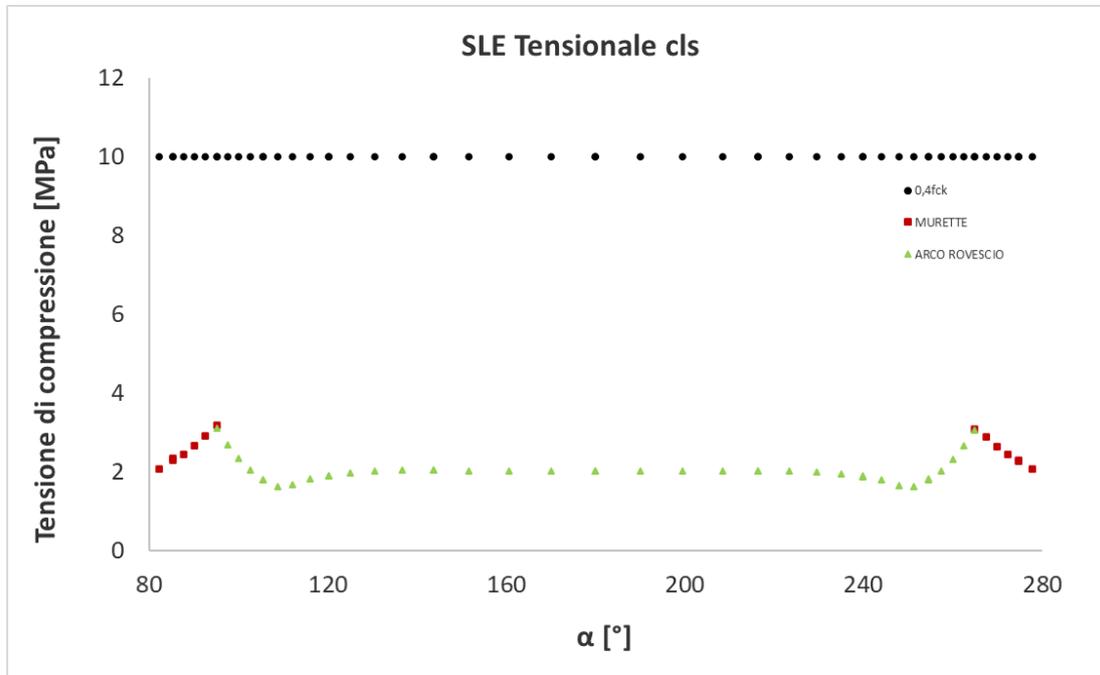


Figura 9-84 – Verifica tensioni calcestruzzo DX

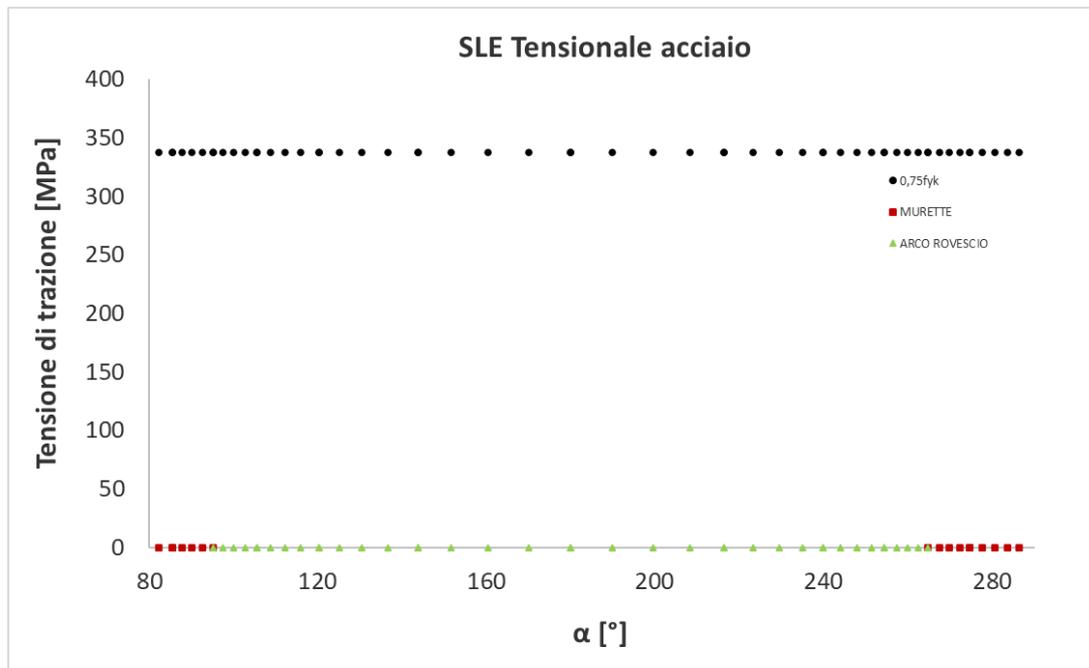


Figura 9-85 – Verifica tensioni acciaio DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"											
PROGETTAZIONE:													
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO											
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria												
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	<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>GN0000009</td> <td>C</td> <td>120 di 224</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	120 di 224
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	120 di 224								

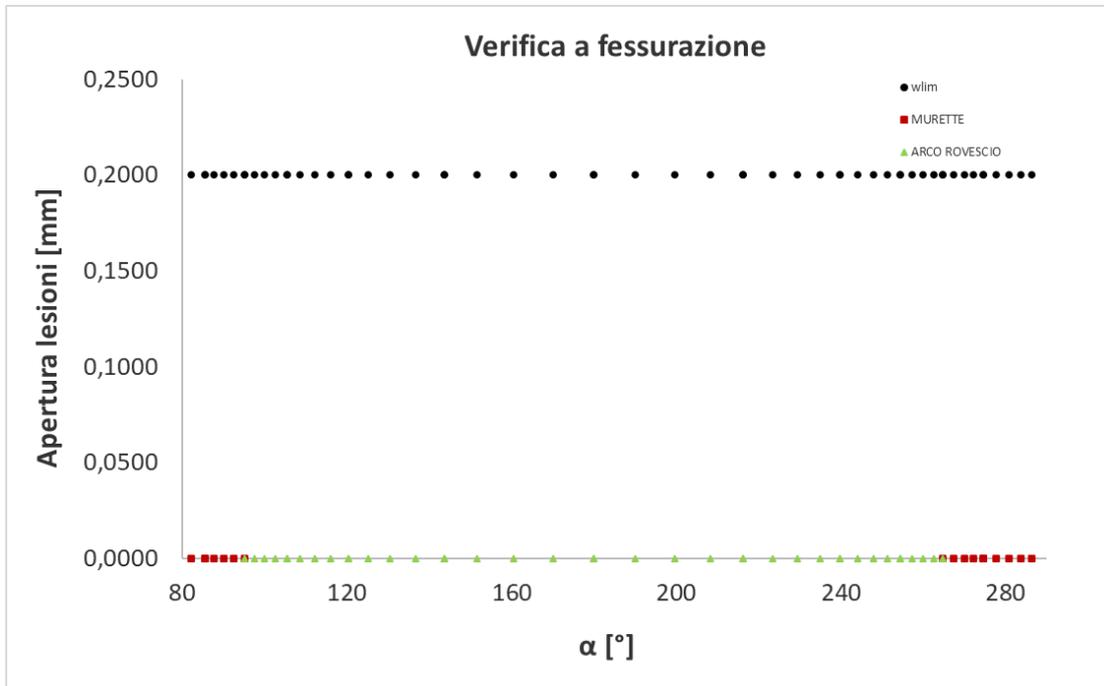


Figura 9-86 – Verifica a fessurazione SX

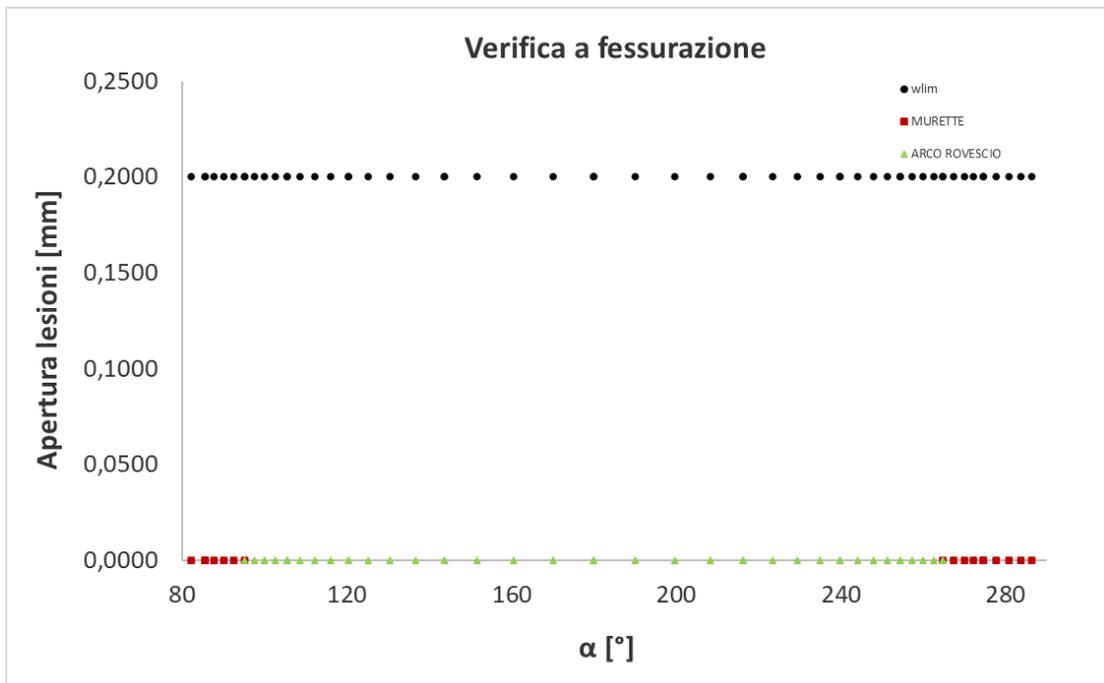


Figura 9-87 – Verifica a fessurazione DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 121 di 224

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 15 (Lungo termine) per entrambe le canne.

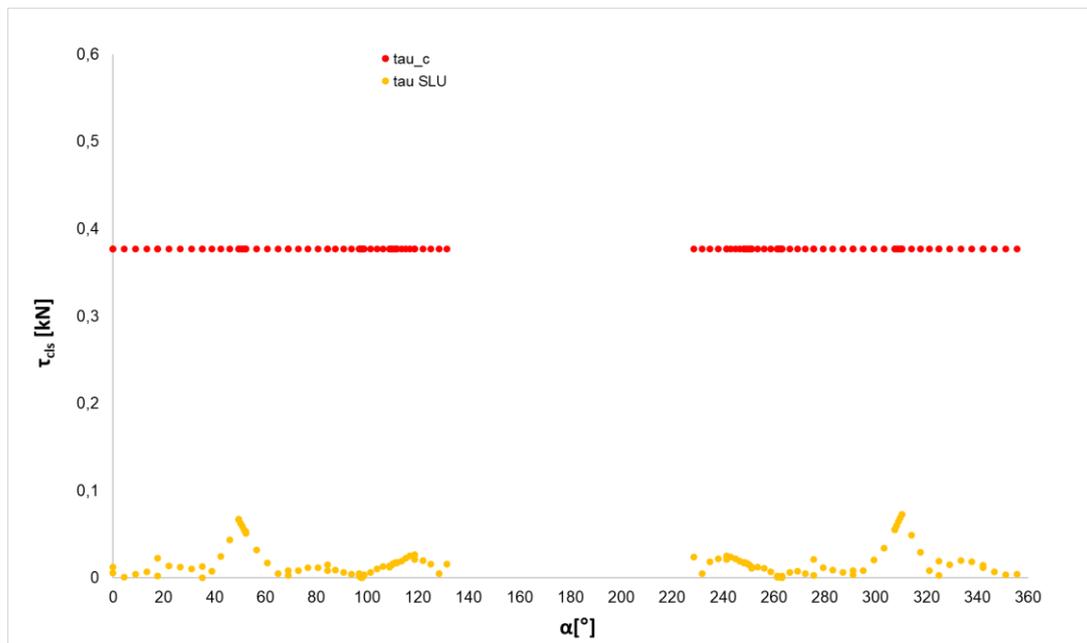


Figura 9-88 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1-SX

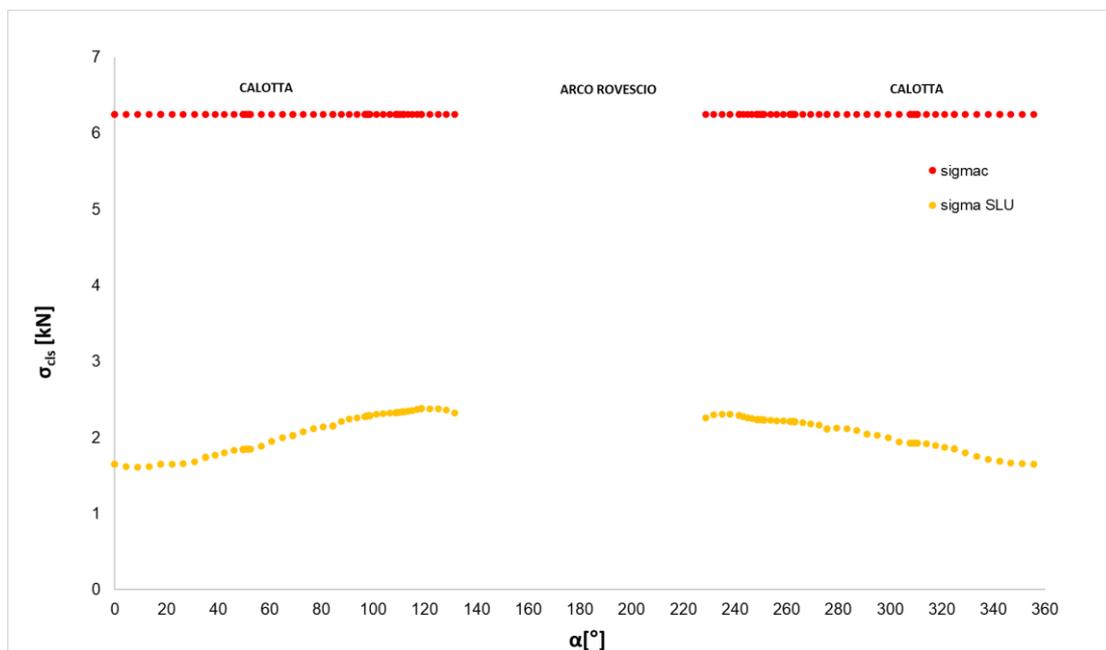


Figura 9-89 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 122 di 224

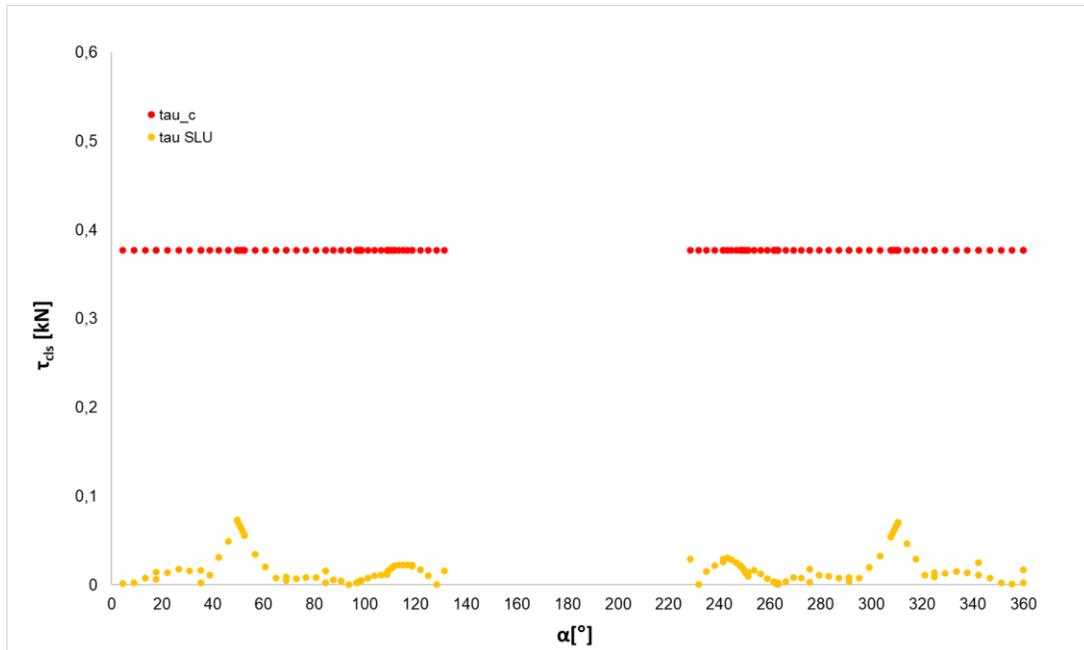


Figura 9-90 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1-DX

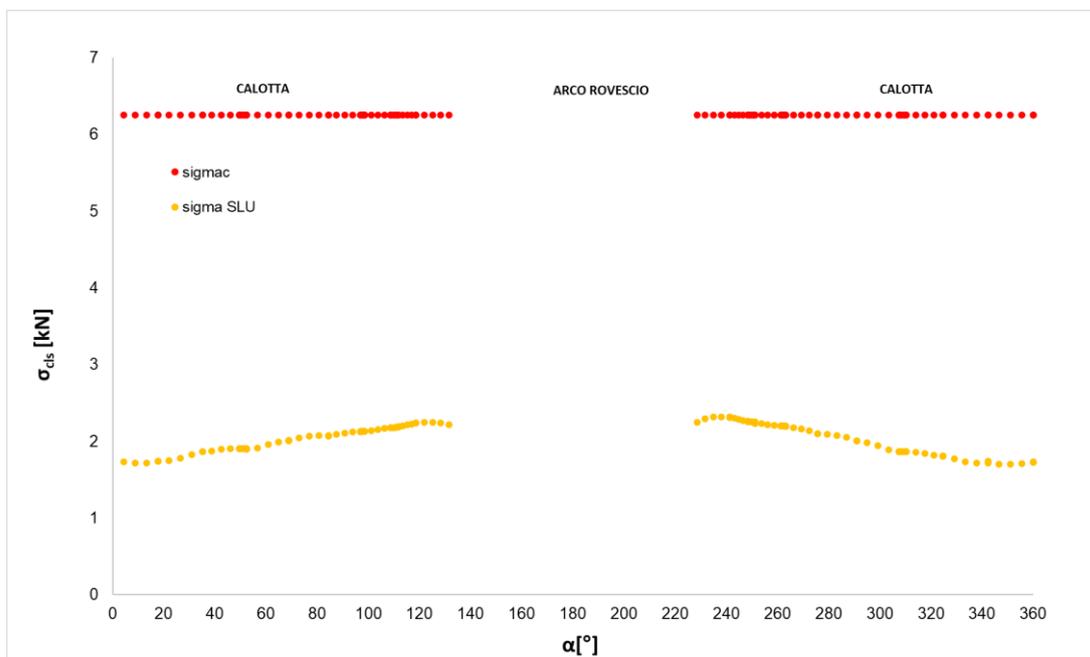


Figura 9-91 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1- DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 123 di 224

9.7.2.4. Verifica del rivestimento definitivo (Galleria di sfollamento)

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 15 (Lungo termine) per la galleria di sfollamento centrale.

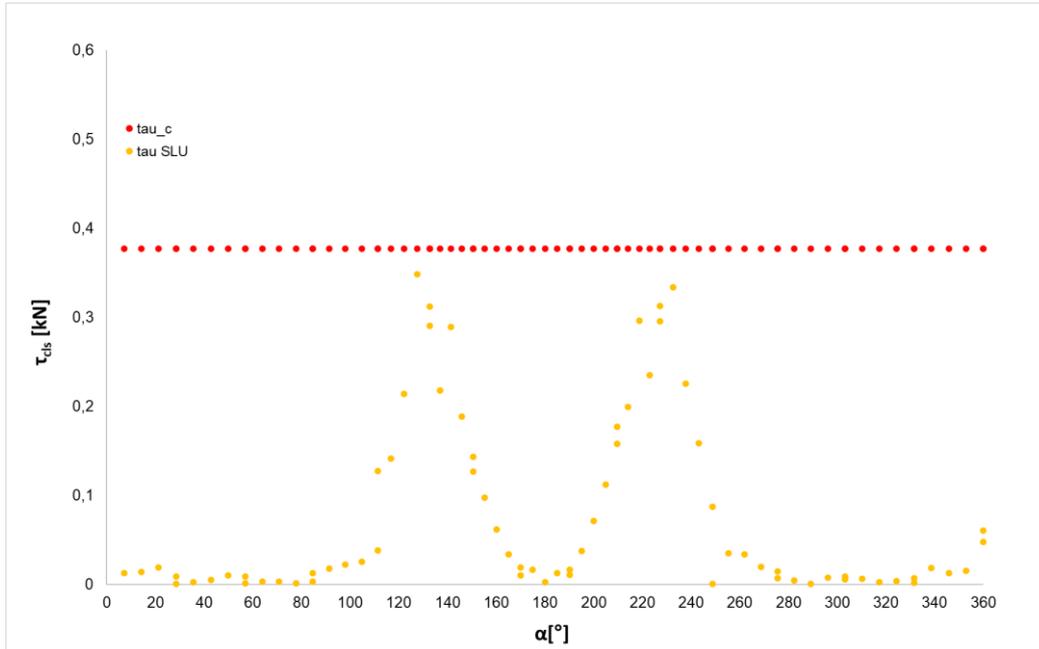


Figura 9-92 – Verifica a tagli ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1

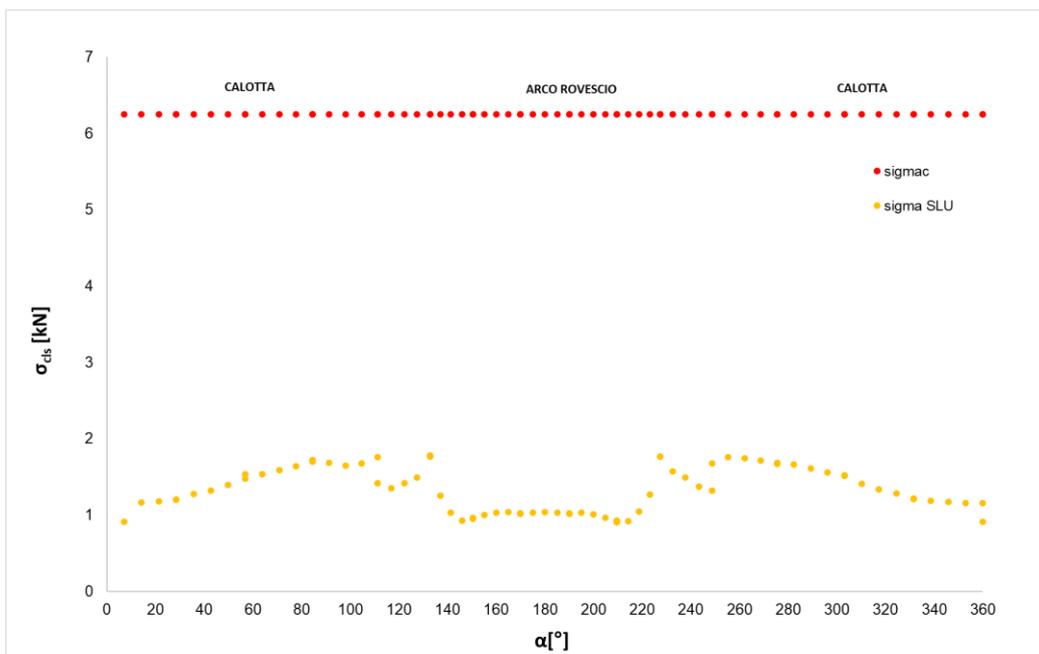


Figura 9-93 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	124 di 224

9.7.2.5. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione A1 sono costituiti da bulloni radiali costituiti da barre $\Phi 24$ mm.

I parametri utilizzati nella verifica dei bulloni radiali sono riportati di seguito.

Elemento	D_{perf}	L	i_{long}	α	q_s	f_{tk}	f_{yk}	γ_s	γ_a	ξ_a
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
14+15 barre $\Phi 24$	51	5	1.4	1.1	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \cdot i \cdot \gamma_g = 12.2 \cdot 1.4 \cdot 1.3 = 22.2 \text{ kN}$$

dove:

N = massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

γ_g = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, valutata come in §9.4, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.05 \cdot 5 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 171 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=7.70**

La **resistenza a rottura** viene valutata come:

$$F_{Nd} = \frac{f_{yk} \cdot A_s}{\gamma_s} = \frac{450 \text{ MPa} \cdot 452 \text{ mm}^2}{1.15} = 177 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=7.97**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 125 di 224

9.7.3 Sezione A1L

9.7.3.1. Verifica del rivestimento provvisorio

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa del provvisorio di entrambe le canne (fase 9).

Il rivestimento di prima fase della sezione A1L è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.2 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali per lo spritz-beton.

Le figure sottostanti mostrano che tutte le sollecitazioni risultano inferiori alla resistenza offerta dallo spritz-beton; pertanto, la verifica è soddisfatta in ogni punto del rivestimento provvisorio.

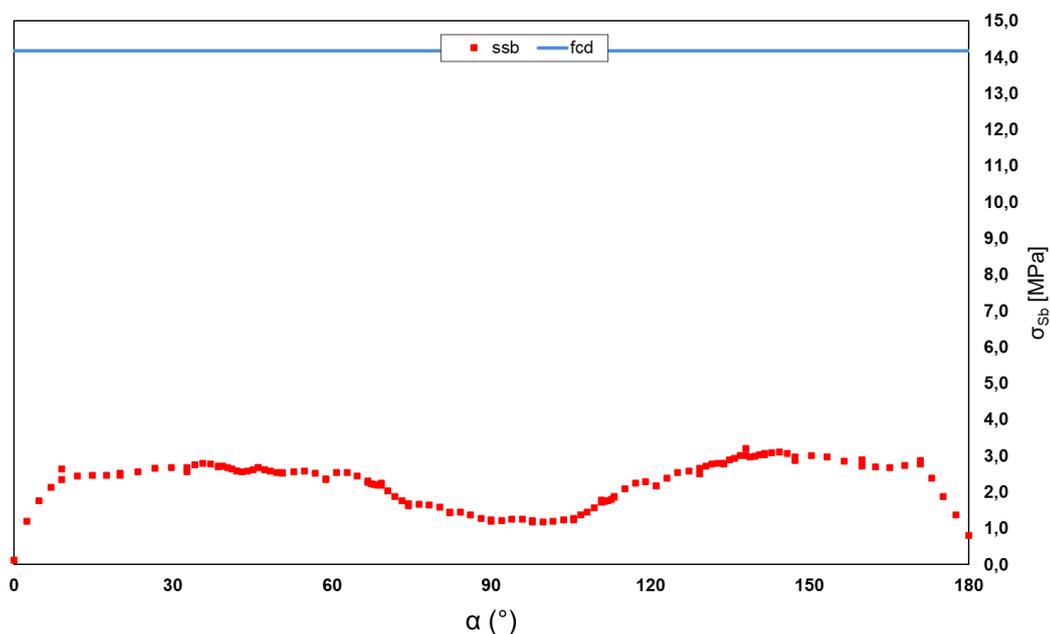


Figura 9-94 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A1L-SX

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria		
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1AEZZ RH GN0000009 C 126 di 224	

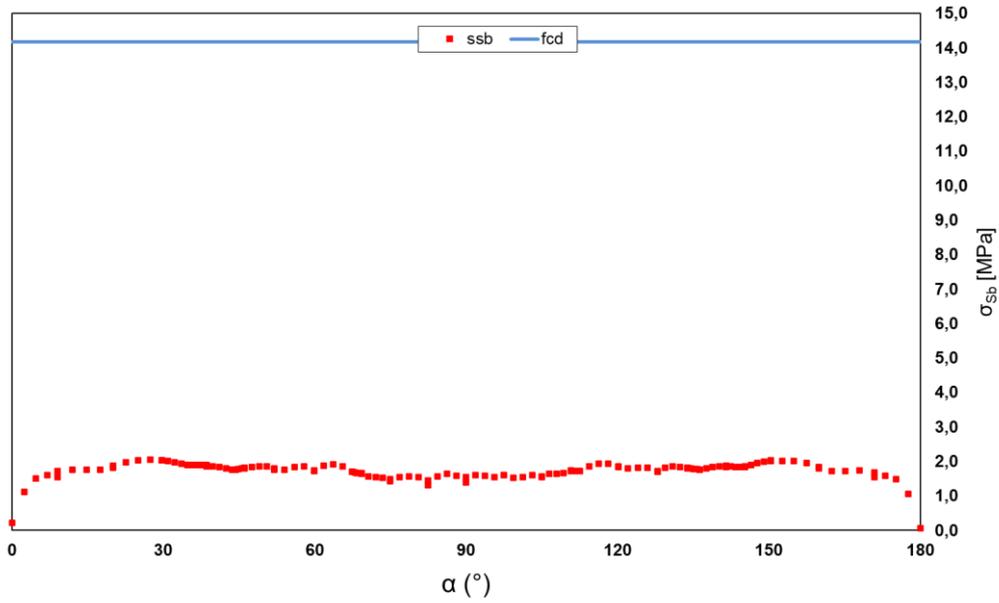


Figura 9-95 – Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo A1L-DX

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 127 di 224

9.7.3.2. Verifica del rivestimento definitivo

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §9.3.1 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS ed i ferri di armatura considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.5m	-	-	-
Murette	25/30	0.6 m	Φ14/20	Φ14/20	-
Arco rovescio	25/30	0.6 m	Φ14/20	Φ14/20	-

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 13 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento.

Le verifiche a pressoflessione vengono invece riportate in termini di dominio ultimo, mostrando come ciascuna coppia di punti (M;N) sia interna al dominio.

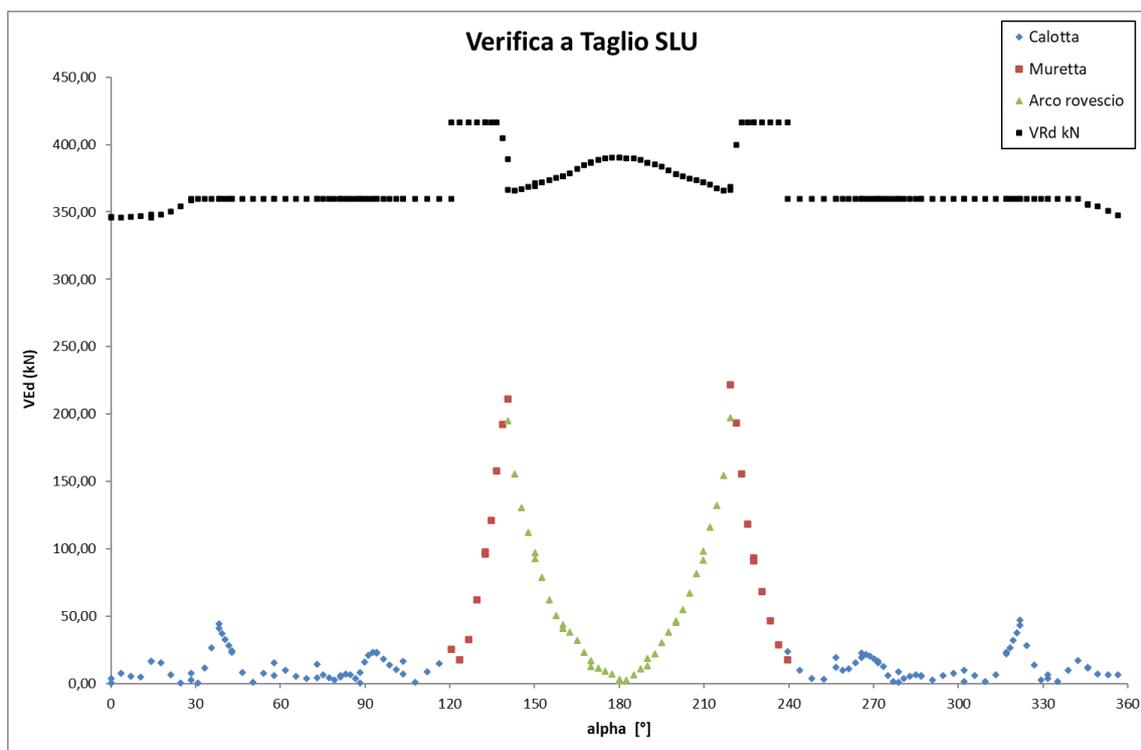


Figura 9-96 – Verifica a taglio rivestimento definitivo SX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 128 di 224

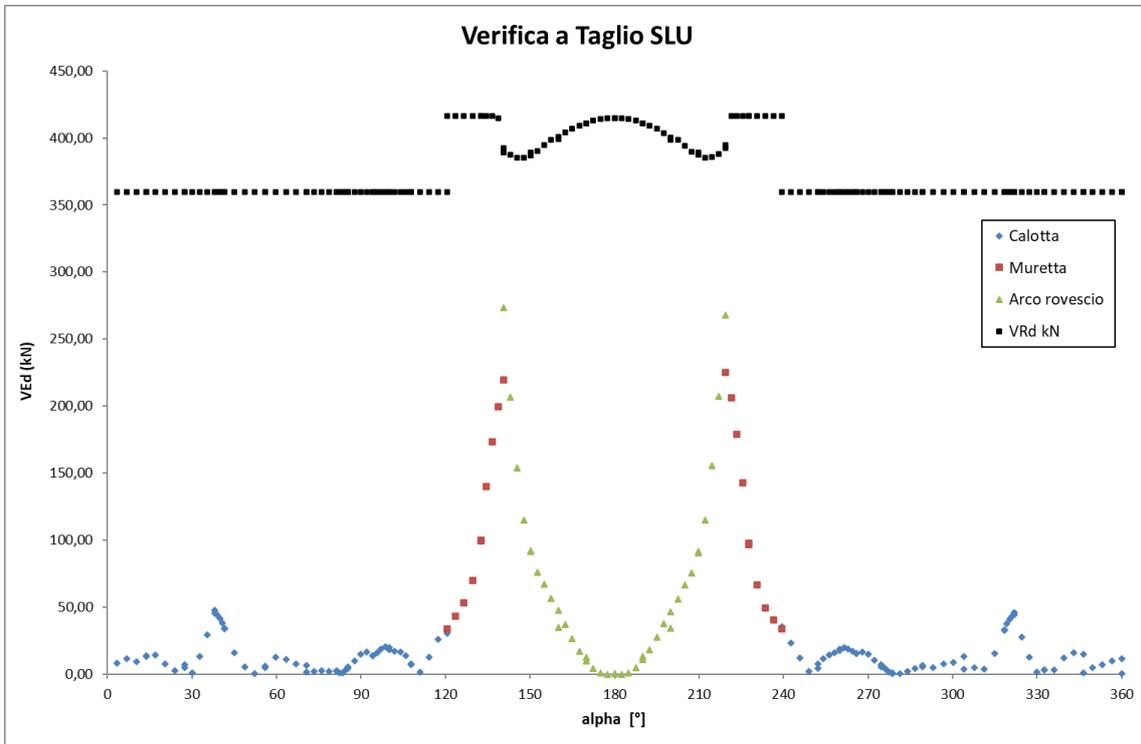


Figura 9-97 – Verifica a taglio rivestimento definitivo DX

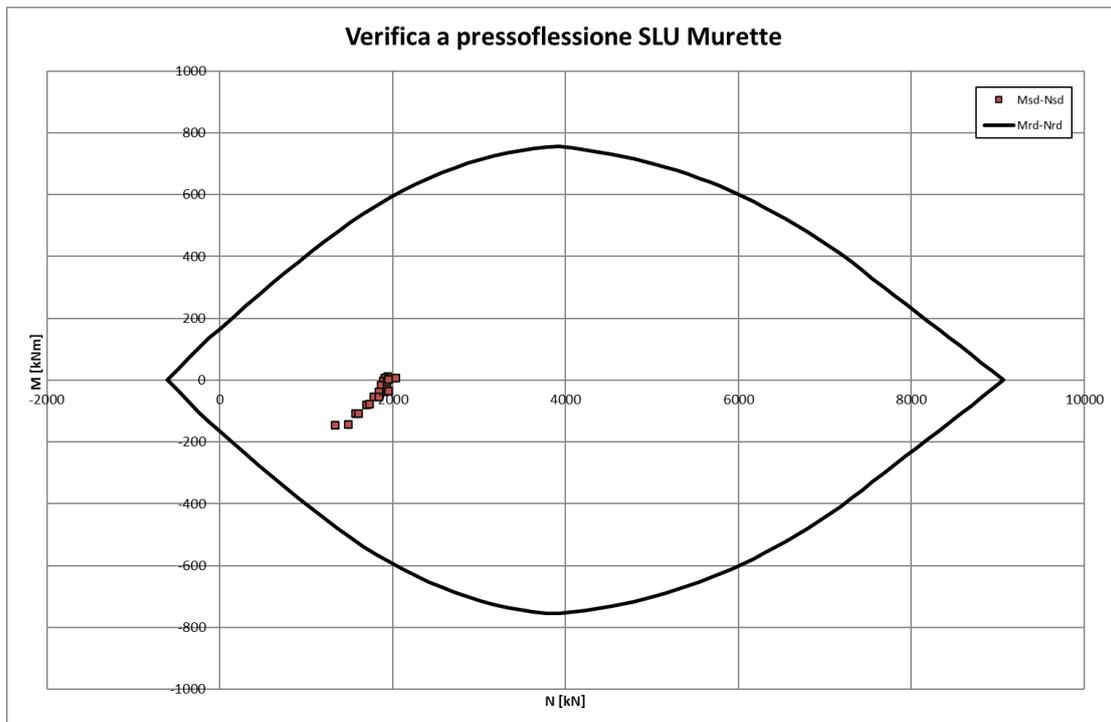


Figura 9-98 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette – Coppie (M;N)-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 129 di 224

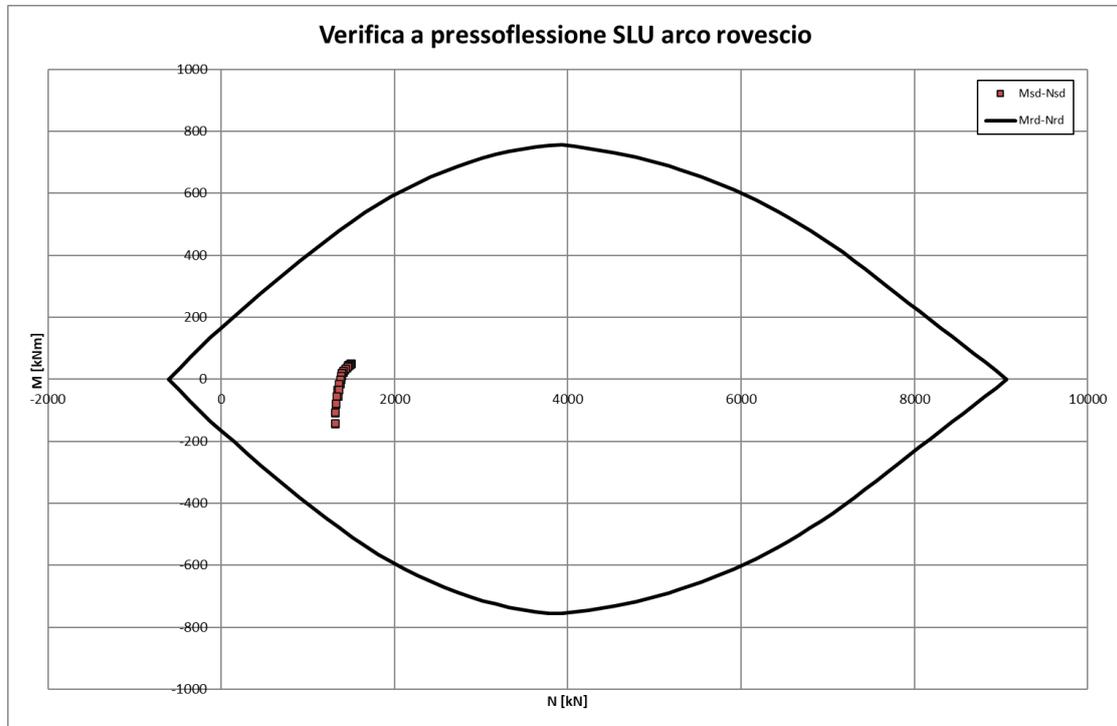


Figura 9-99 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -SX

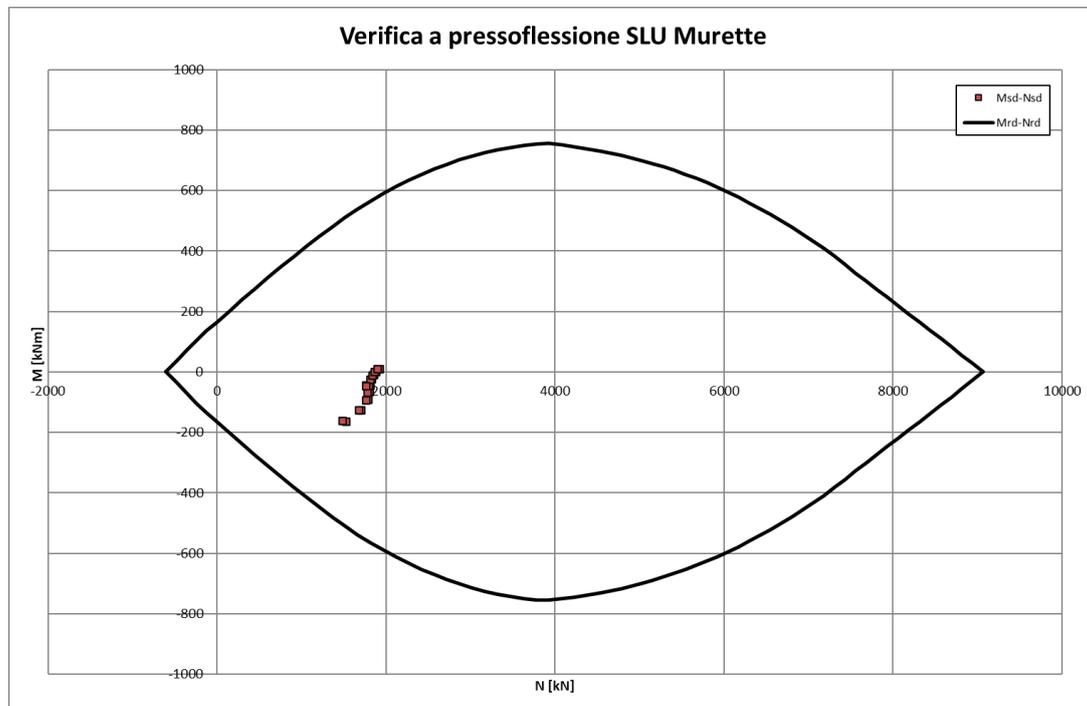


Figura 9-100 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 130 di 224

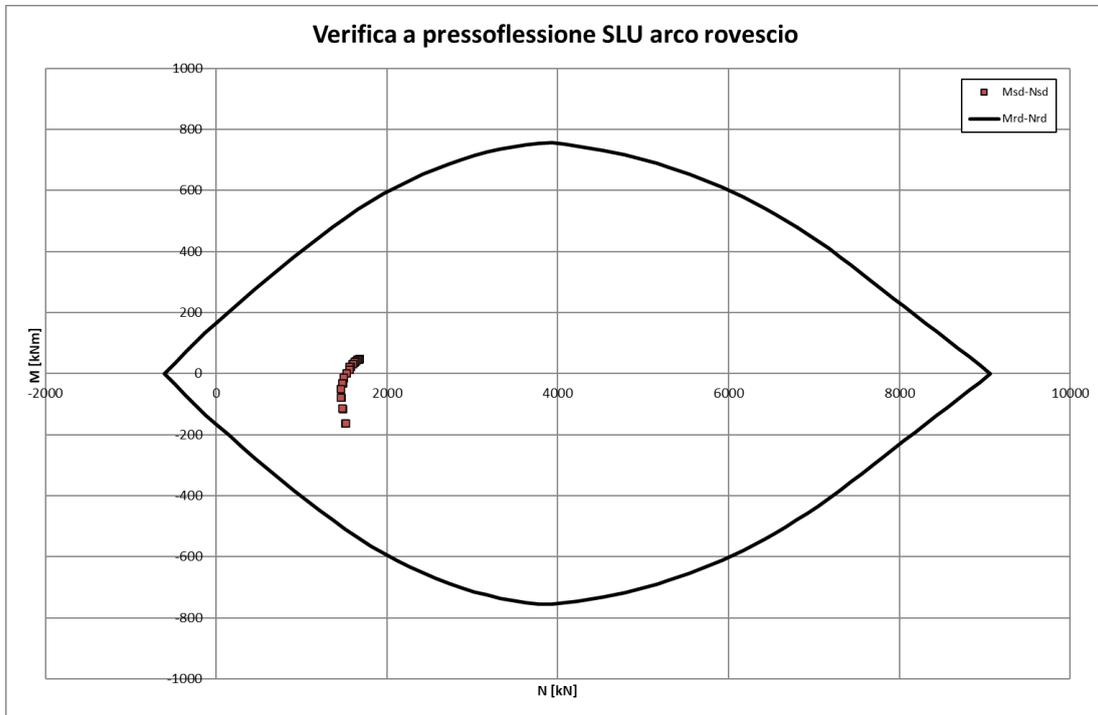


Figura 9-101 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -DX

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

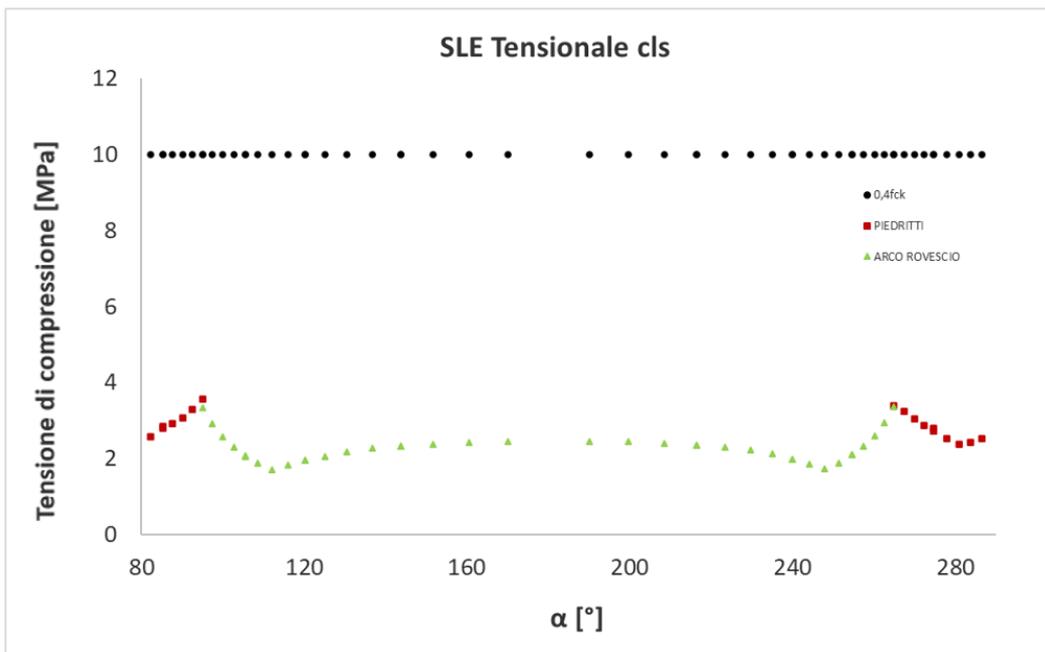


Figura 9-102 – Verifica tensioni calcestruzzo SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 131 di 224

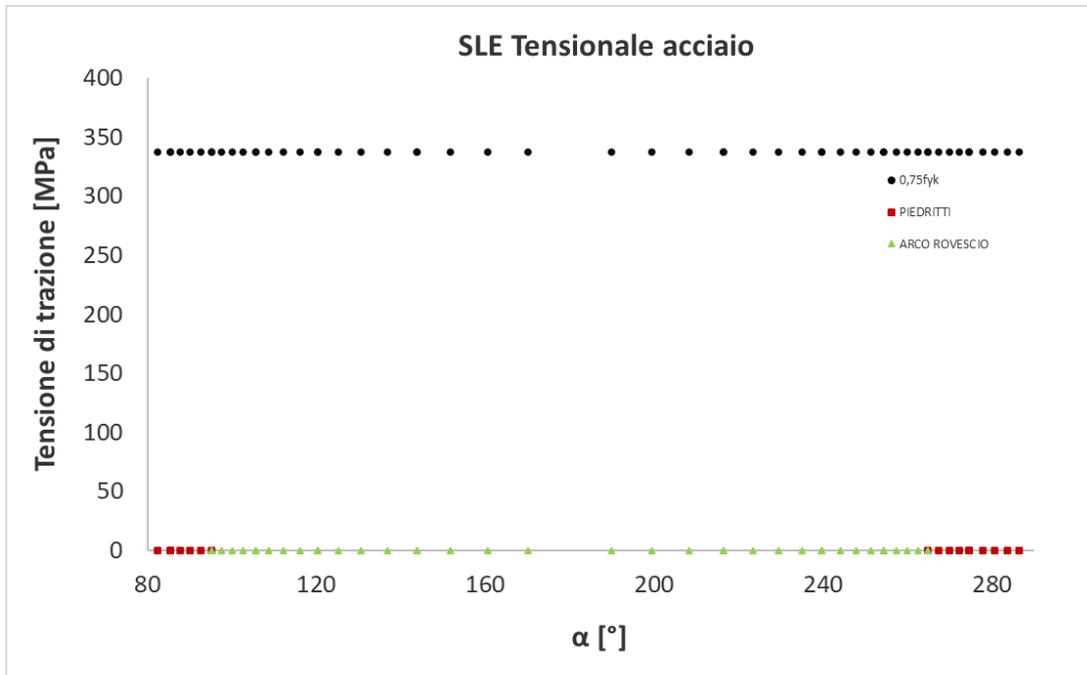


Figura 9-103 – Verifica tensioni acciaio SX

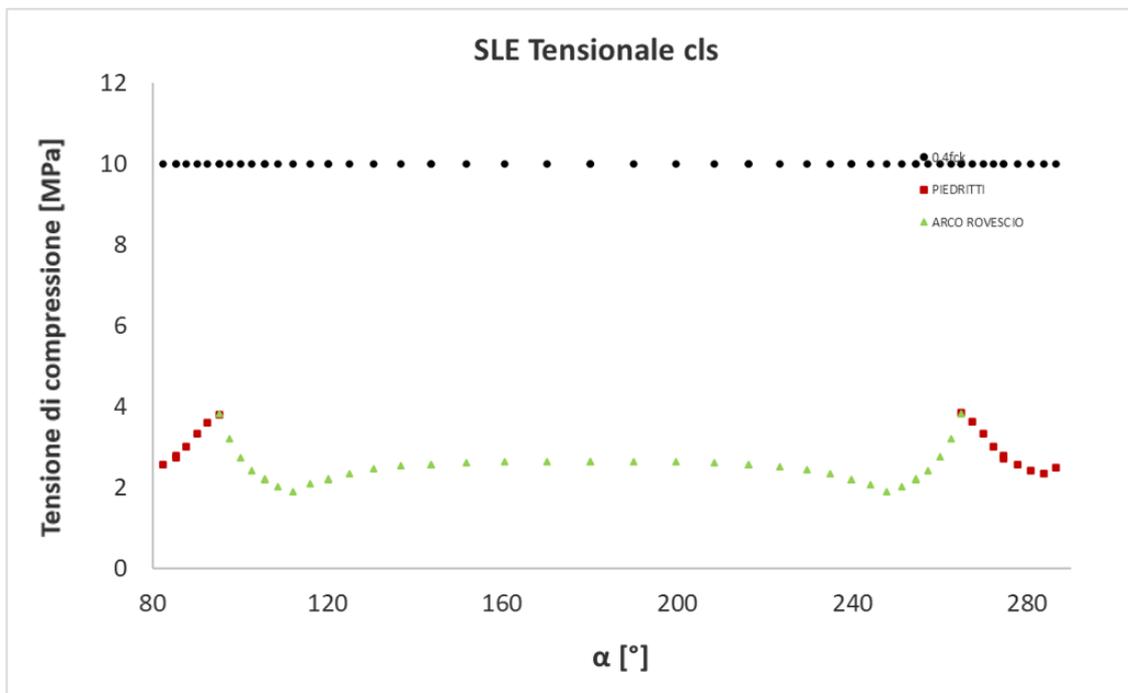


Figura 9-104 – Verifica tensioni calcestruzzo DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"
PROGETTAZIONE:		
Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa: IB0U LOTTO: 1AEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000009 REV.: C FOGLIO: 132 di 224	

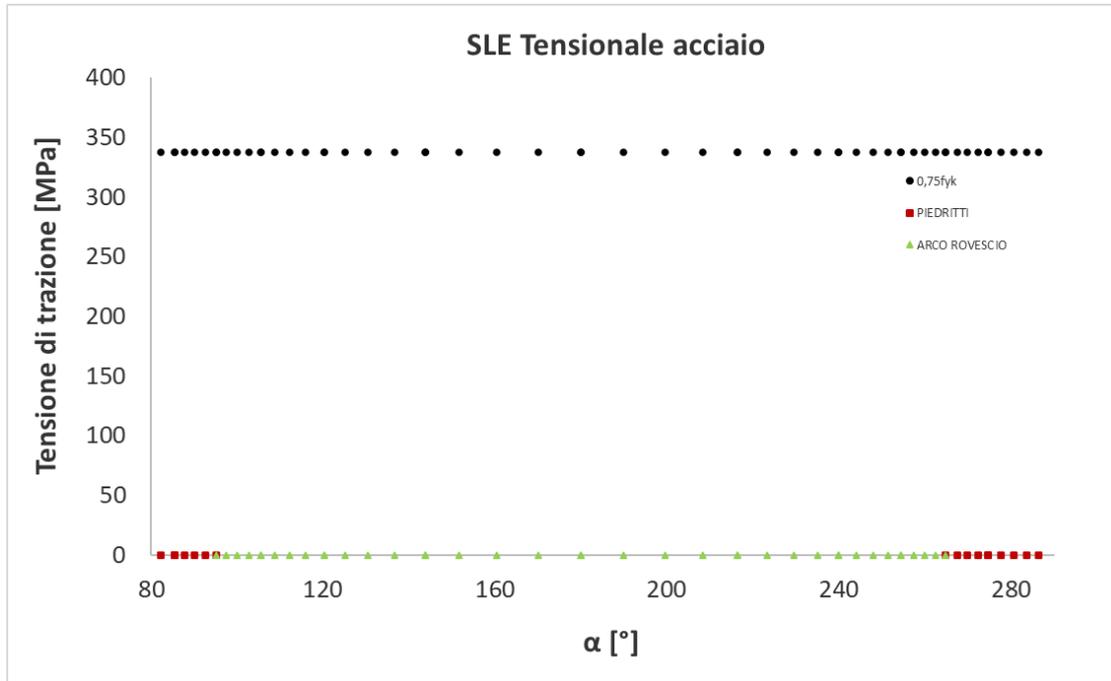


Figura 9-105 – Verifica tensioni acciaio DX

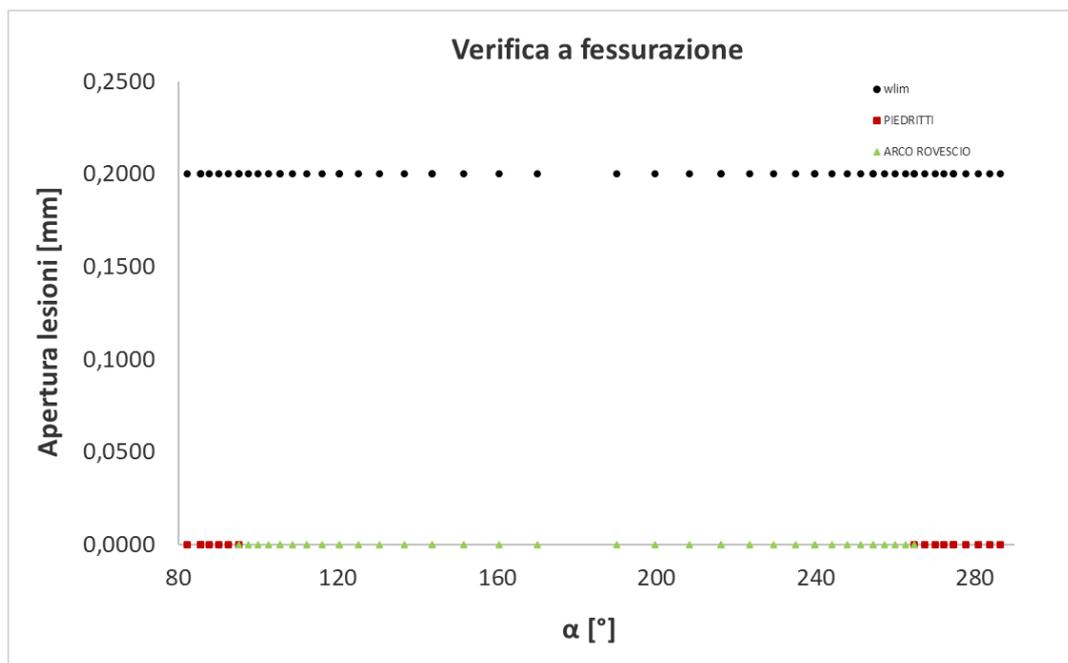


Figura 9-106 – Verifica a fessurazione SX

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 133 di 224

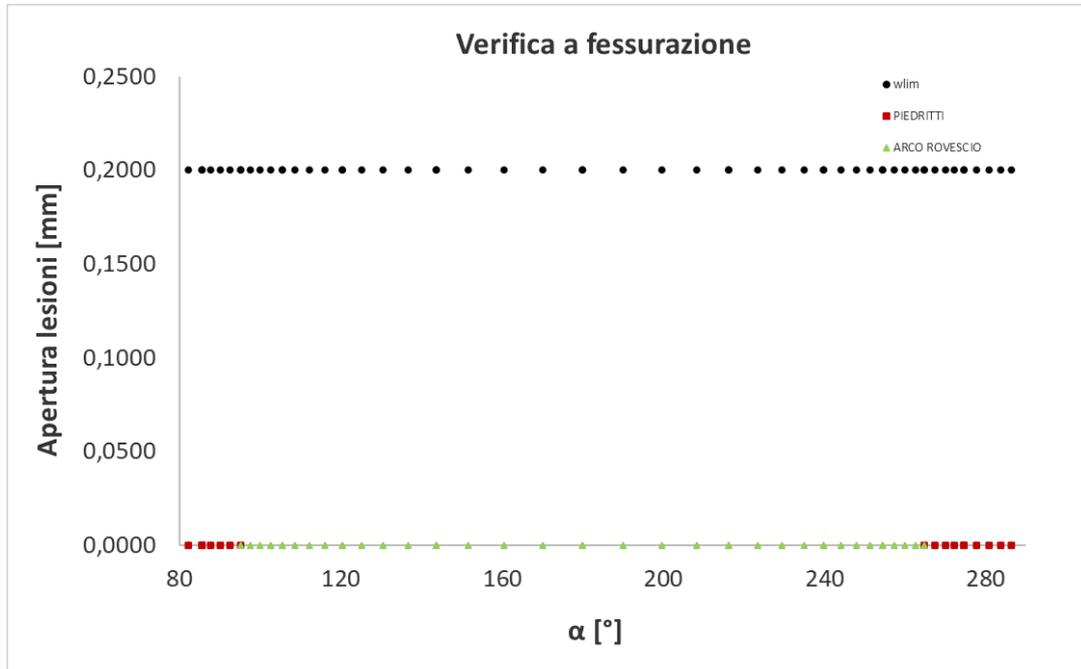


Figura 9-107 – Verifica a fessurazione DX

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 13 (Lungo termine) per entrambe le canne.

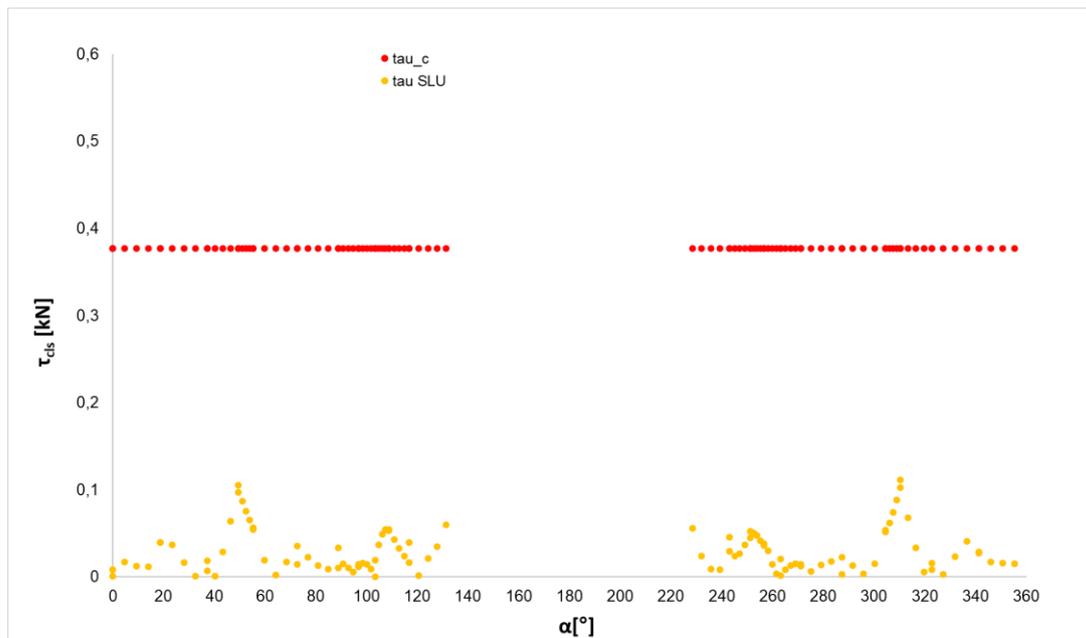


Figura 9-108 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1L-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 134 di 224

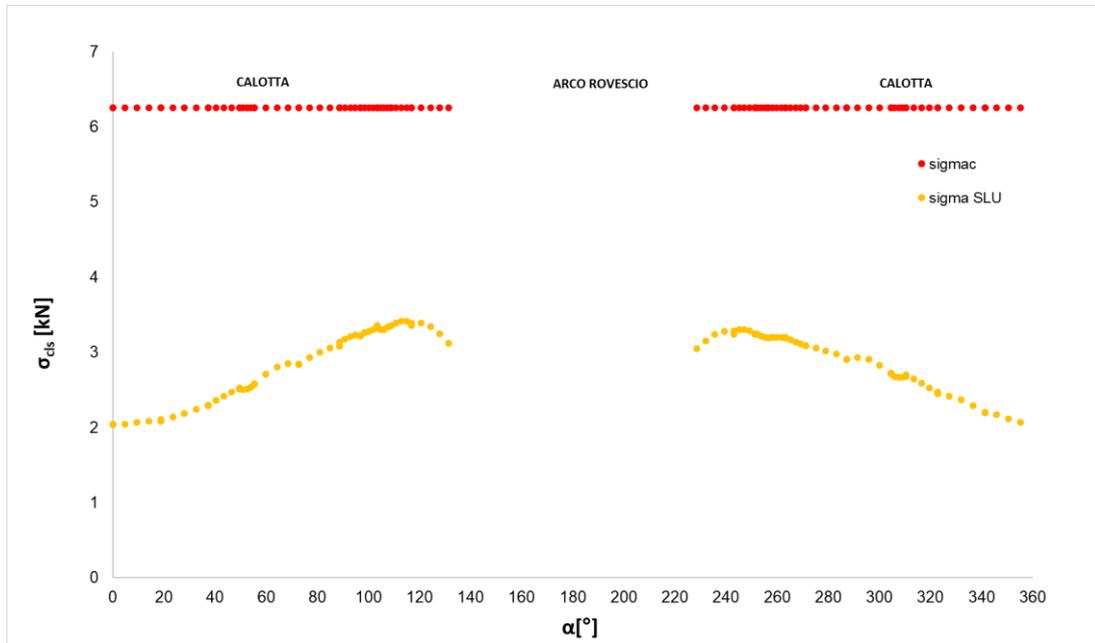


Figura 9-109 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1L-SX

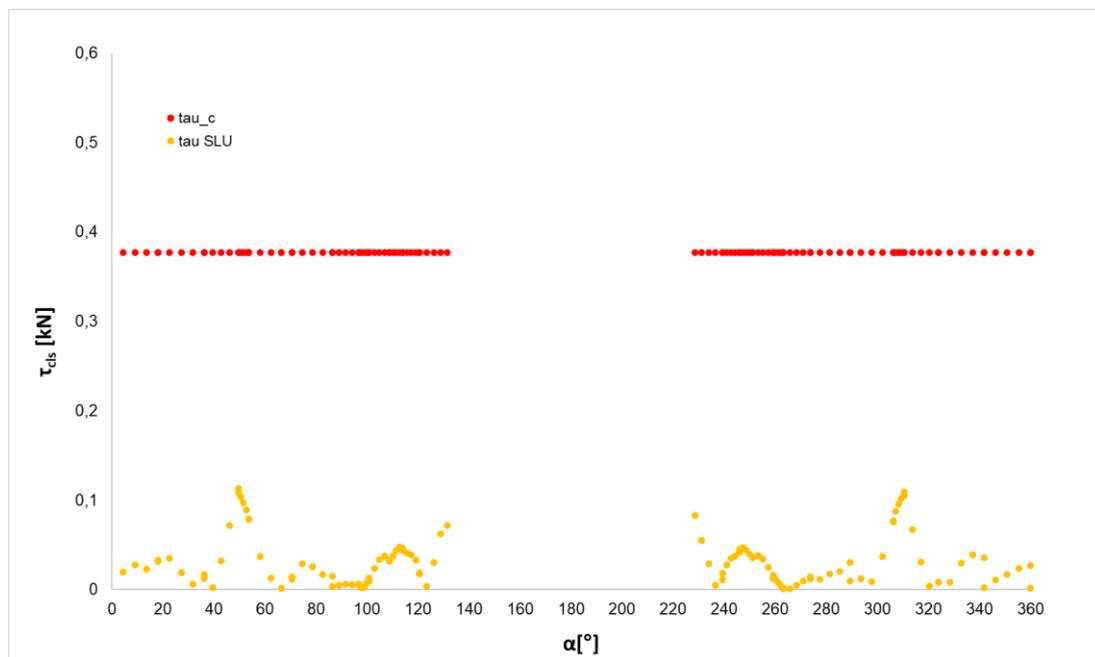


Figura 9-110 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1L- DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 135 di 224

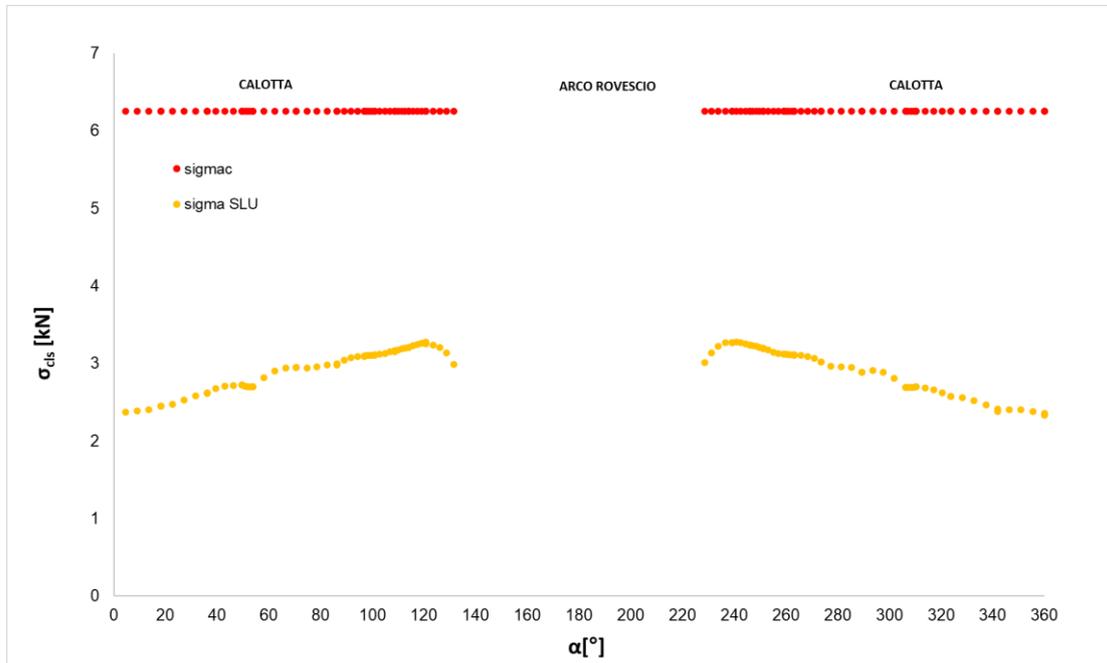


Figura 9-111 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo A1L-DX

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 136 di 224

9.7.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione A1L sono costituiti da bulloni radiali costituiti da barre $\Phi 24$ mm.

I parametri utilizzati nella verifica dei bulloni radiali sono riportati di seguito.

Elemento	D _{perf}	L	i _{long}	α	q _s	f _{tk}	f _{yk}	γ_s	γ_a	ξ_a
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
12+13 barre $\Phi 24$	51	5	1.4	1.1	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \cdot \gamma_g = 23.6 \cdot 1.4 \cdot 1.3 = 42.9 \text{ kN}$$

dove:

N = massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

γ_g = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, valutata come in §9.4, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.05 \cdot 5 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 171 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=3.98**

La **resistenza a rottura** viene valutata come:

$$F_{Nd} = F_{Nd} = \frac{f_{yk} \cdot A_s}{\gamma_s} = \frac{450 \text{ MPa} \cdot 452 \text{ mm}^2}{1.15} = 177 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=4.12**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

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						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	137 di 224

9.7.4 Sezione B1

9.7.4.1. Verifica del rivestimento provvisorio (Galleria principale)

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione B1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.3 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.0 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali, per entrambi gli elementi che costituiscono il rivestimento provvisorio.

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

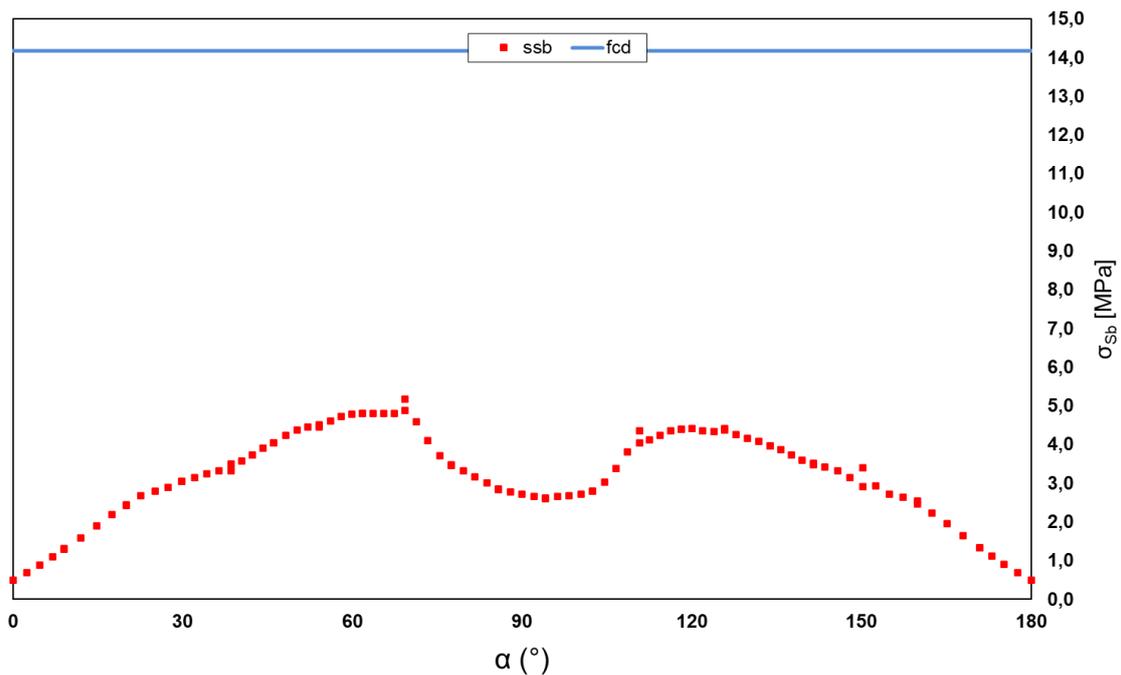


Figura 9-112 - Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo B1-SX

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:		
Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa: IB0U LOTTO: 1AEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000009 REV.: C FOGLIO: 138 di 224	

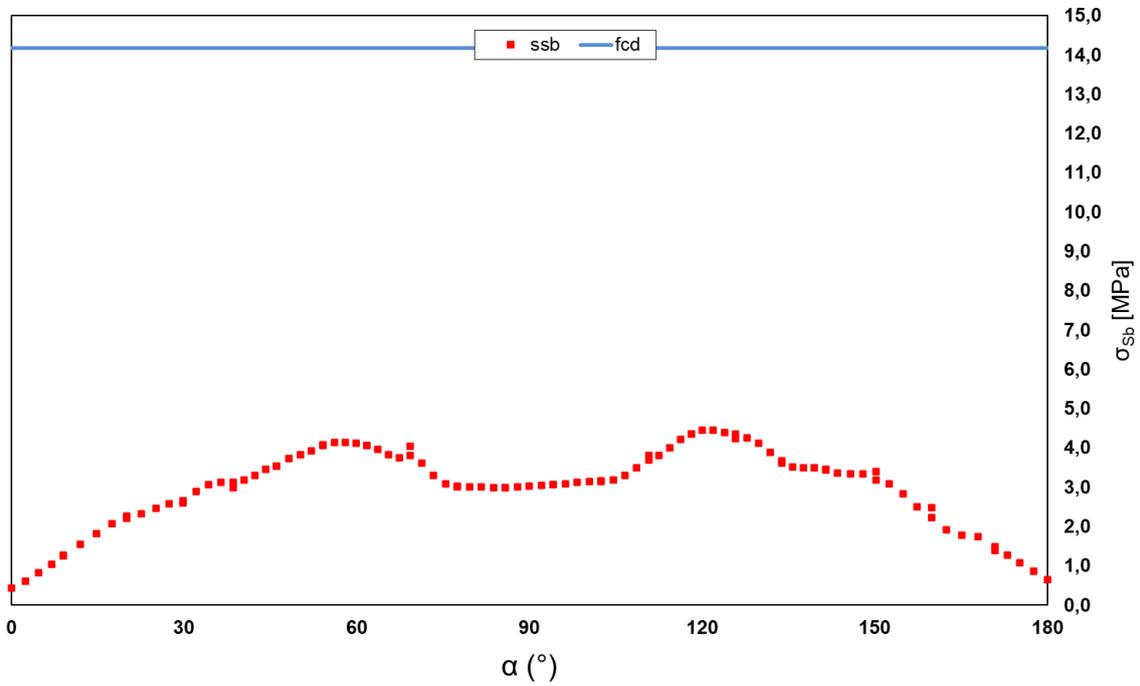


Figura 9-113-Verifica SLU per lo spritz-beton – Sezione Tipo B1-DX

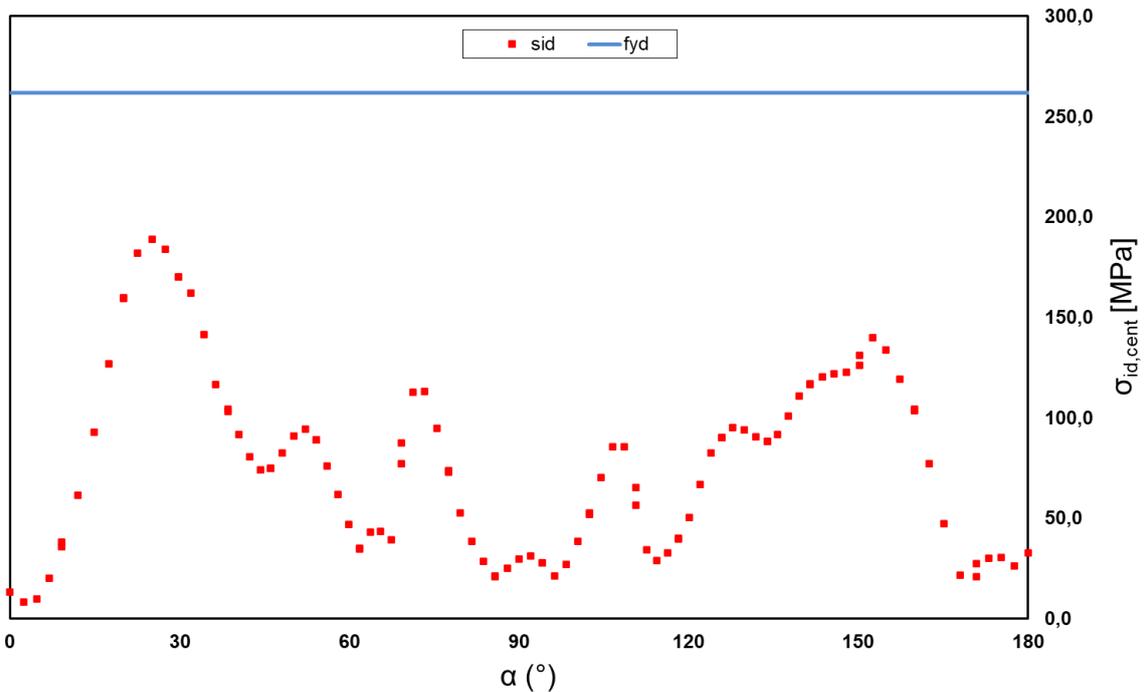


Figura 9-114-Verifica SLU per le centine – Sezione Tipo B1-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 139 di 224

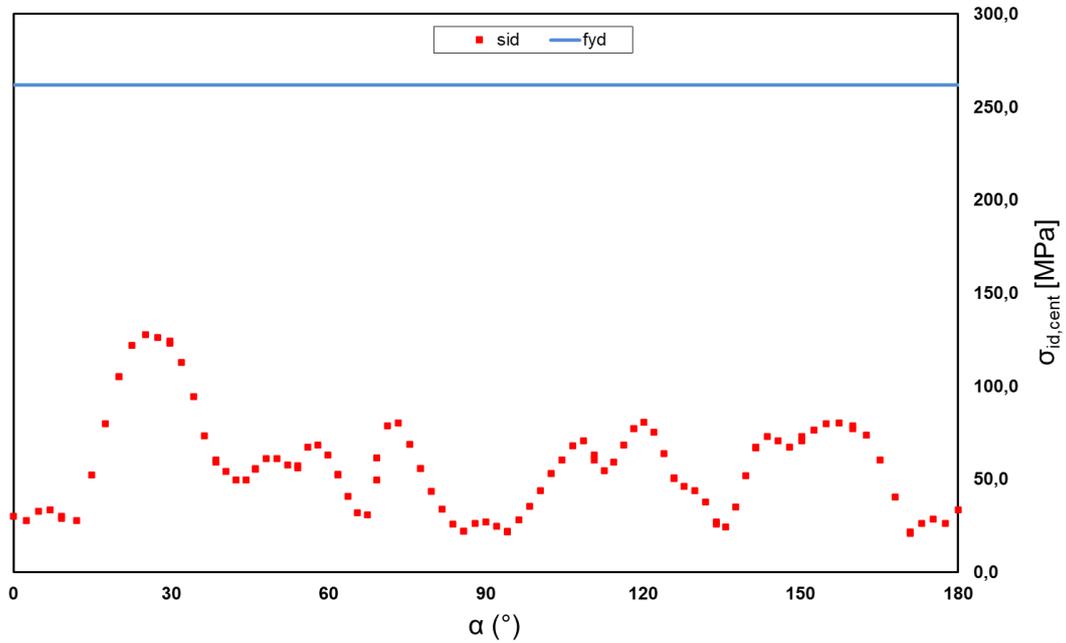


Figura 9-115 - Verifica SLU per le centine – Sezione Tipo B1-DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIA GARDENA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	140 di 224

9.7.4.2. Verifica del rivestimento provvisorio (Galleria di sfollamento)

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel centrale (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione B1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m e cinte accoppiate 2IPN160 a passo 1.0 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali dello spritz-beton.

Le figure sottostanti mostrano che tutte le sollecitazioni risultano inferiori alla resistenza offerta dallo spritz-beton; pertanto, la verifica è soddisfatta in ogni punto del rivestimento provvisorio.

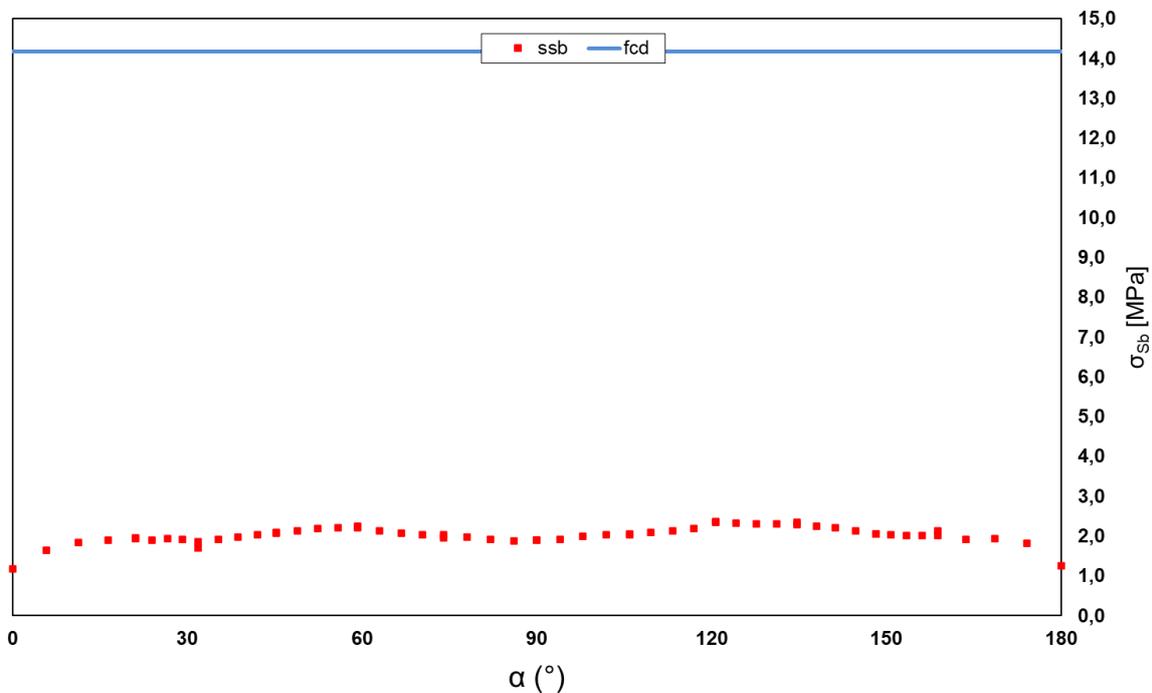


Figura 9-116-Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton

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		
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1AEZZ RH GN0000009 C 141 di 224	

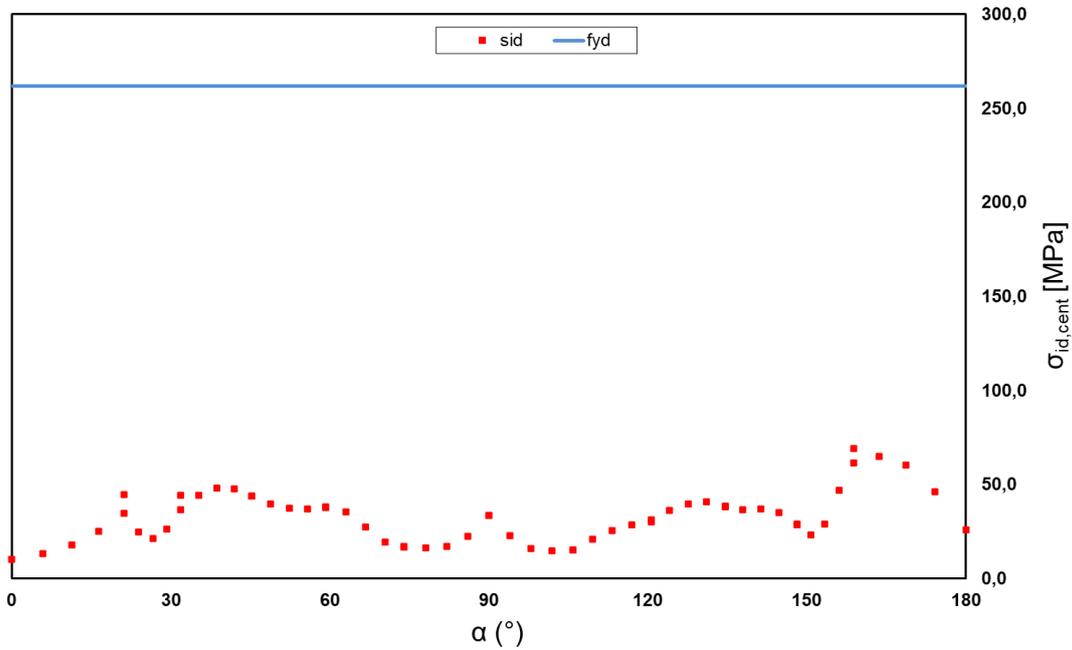


Figura 9-117 - Verifica SLU per compressione per le centine

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 142 di 224

9.7.4.3. Verifica del rivestimento definitivo (Galleria principale)

Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS ed i ferri di armatura considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.8 m	-	-	-
Murette	25/30	0.8 m	Φ14/20	Φ14/20	-
Arco rovescio	25/30	0.8 m	Φ14/20	Φ14/20	-

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 15 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento.

Le verifiche a pressoflessione vengono invece riportate in termini di dominio ultimo, mostrando come ciascuna coppia di punti (M;N) sia interna al dominio.

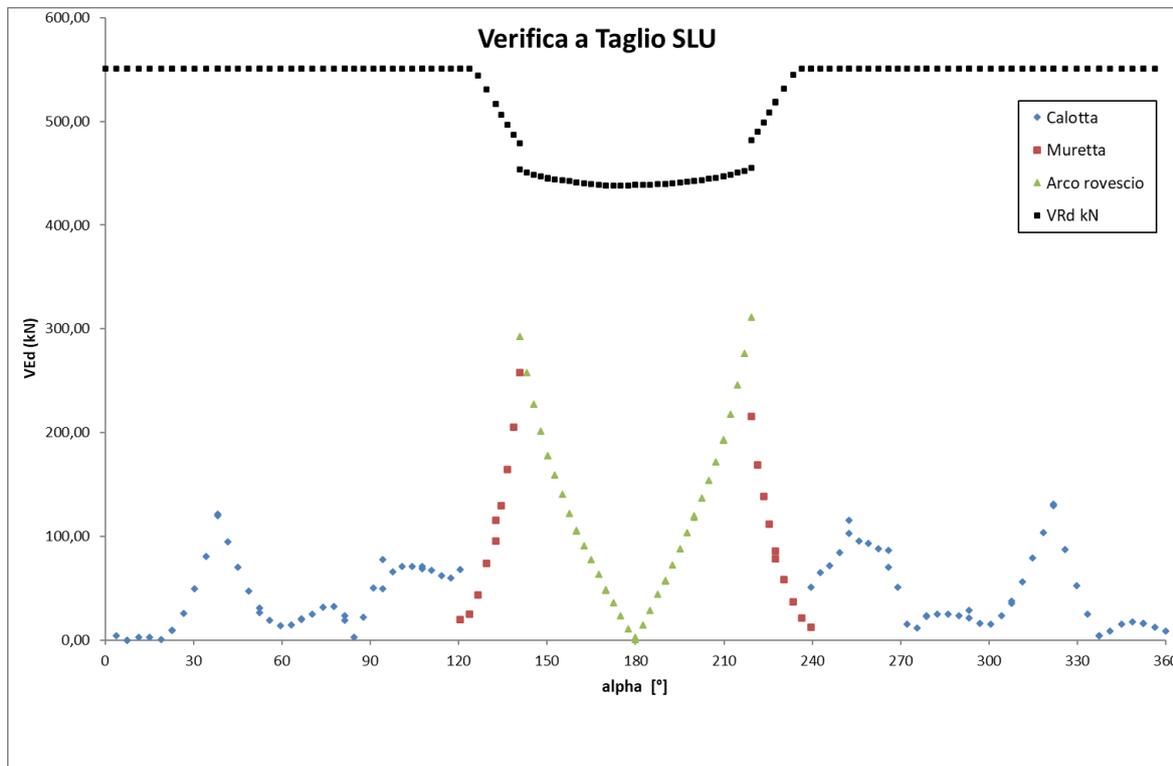


Figura 9-118 - Verifica a taglio rivestimento definitivo SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 143 di 224

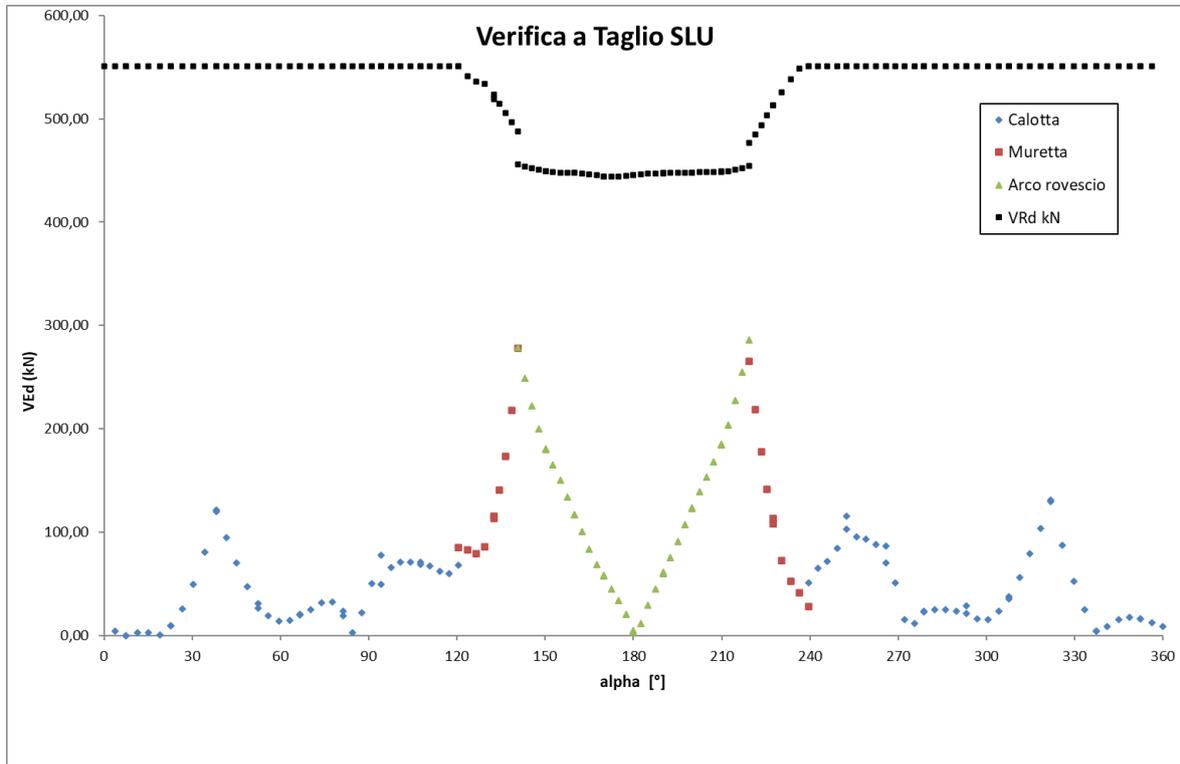


Figura 9-119-Verifica a taglio rivestimento definitivo DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 144 di 224

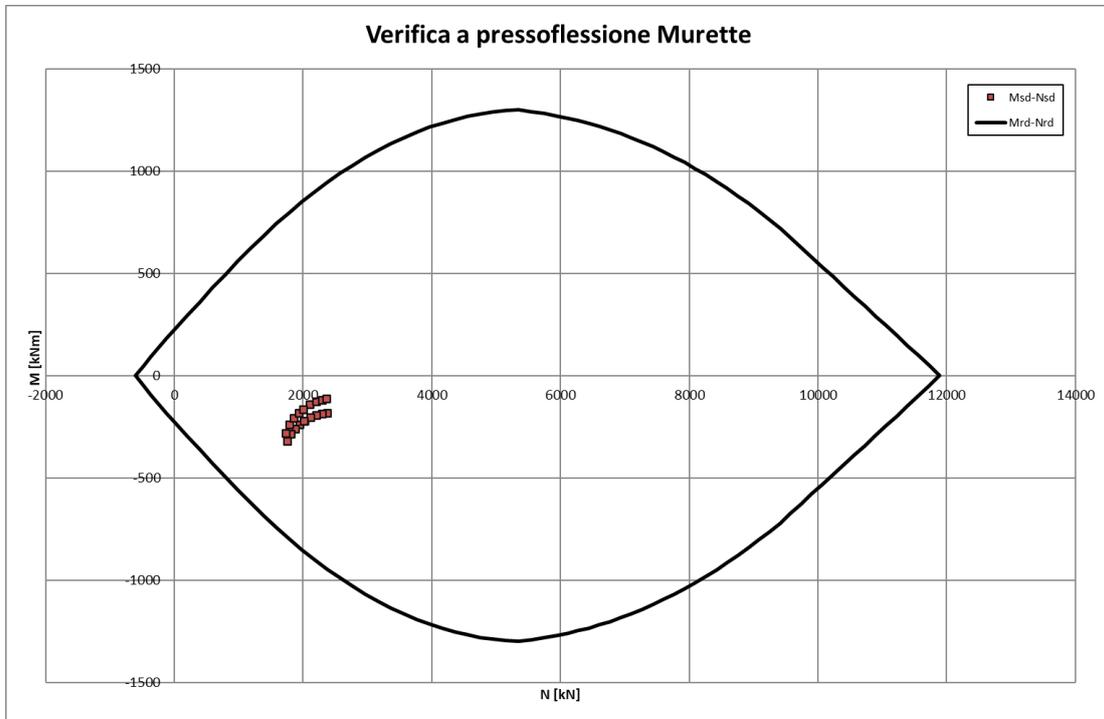


Figura 9-120 - Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-SX

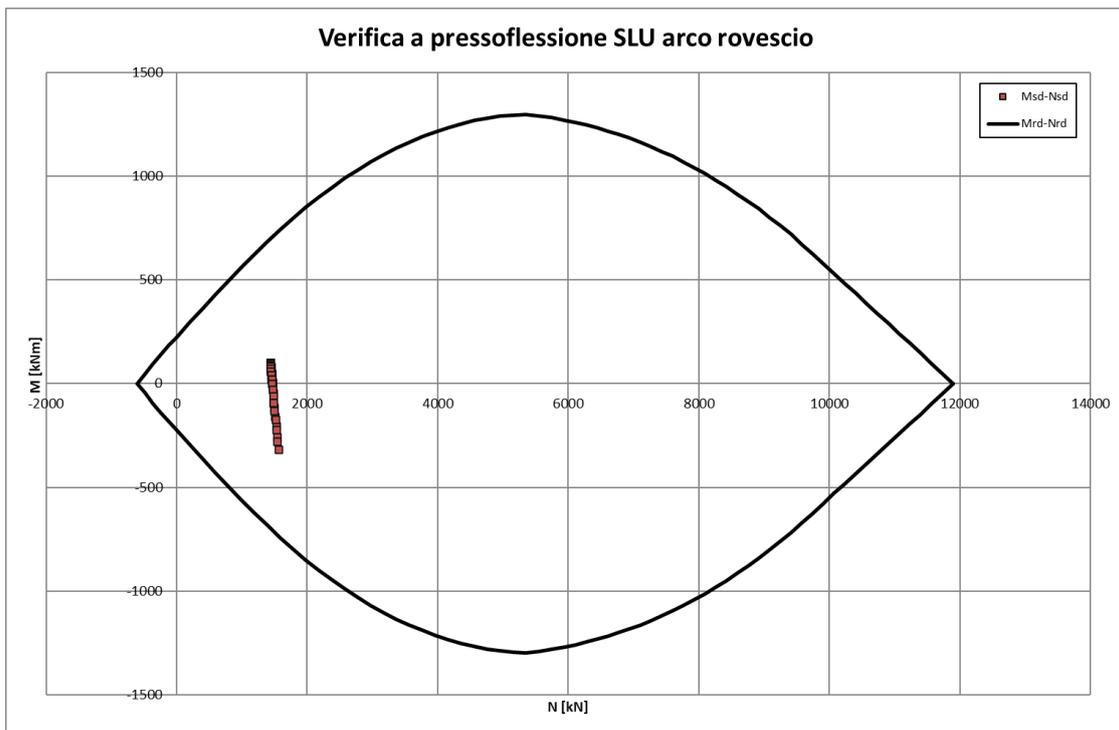


Figura 9-121 -Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 145 di 224

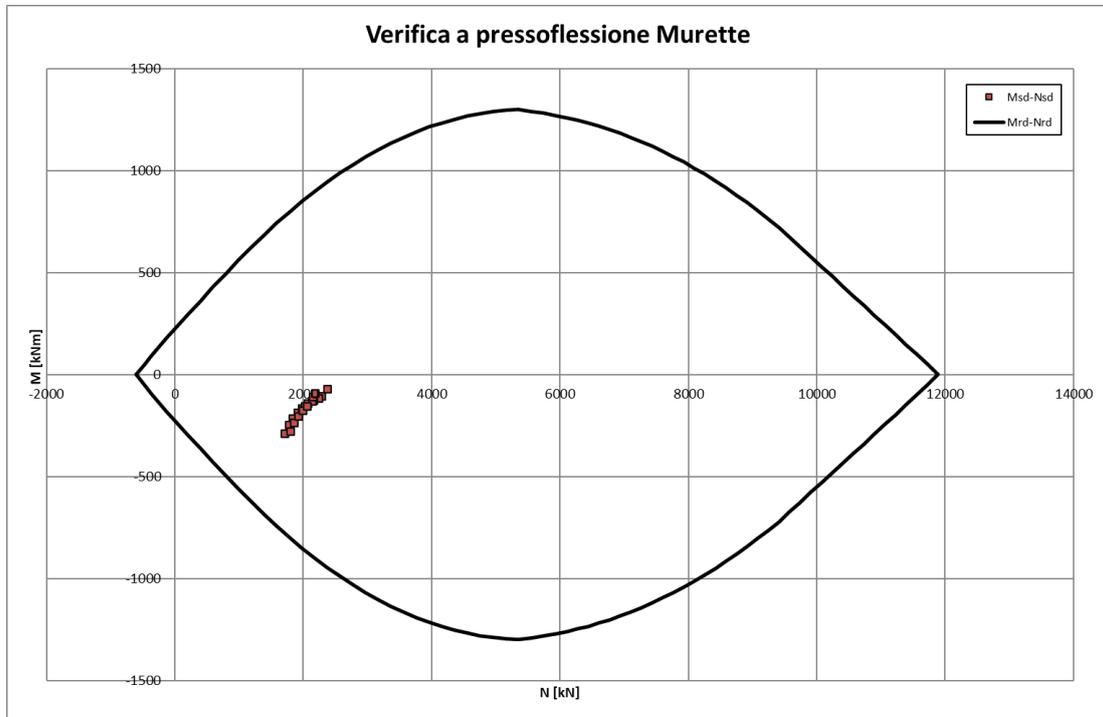


Figura 9-122-Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-DX

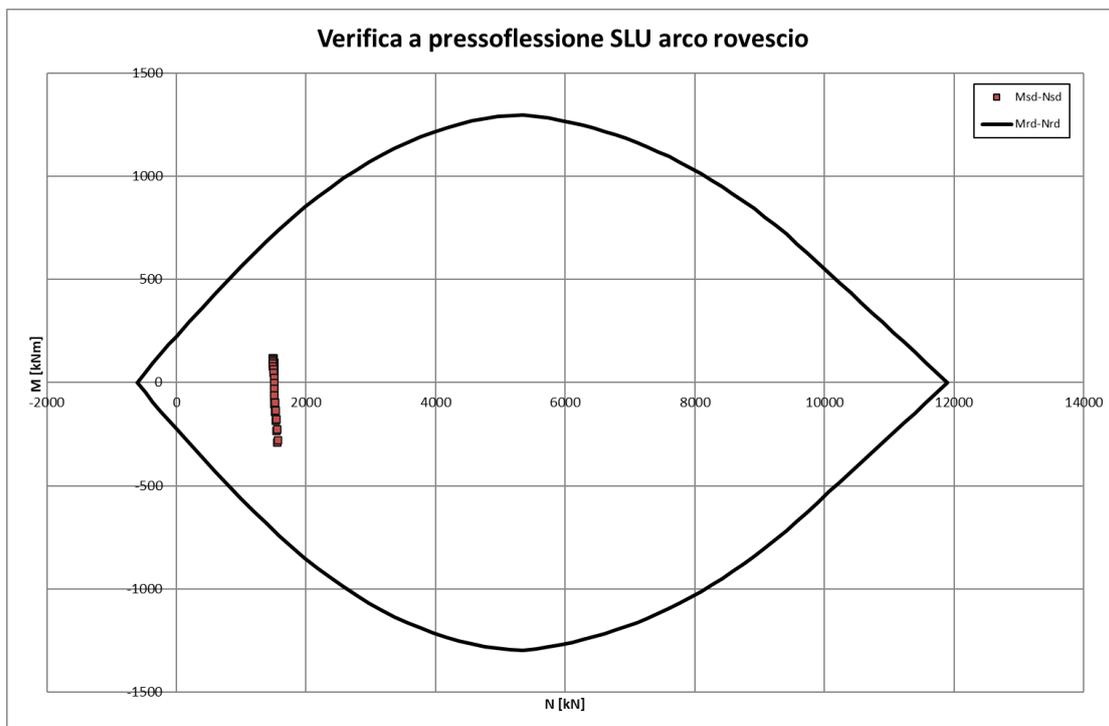


Figura 9-123 - Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 146 di 224

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

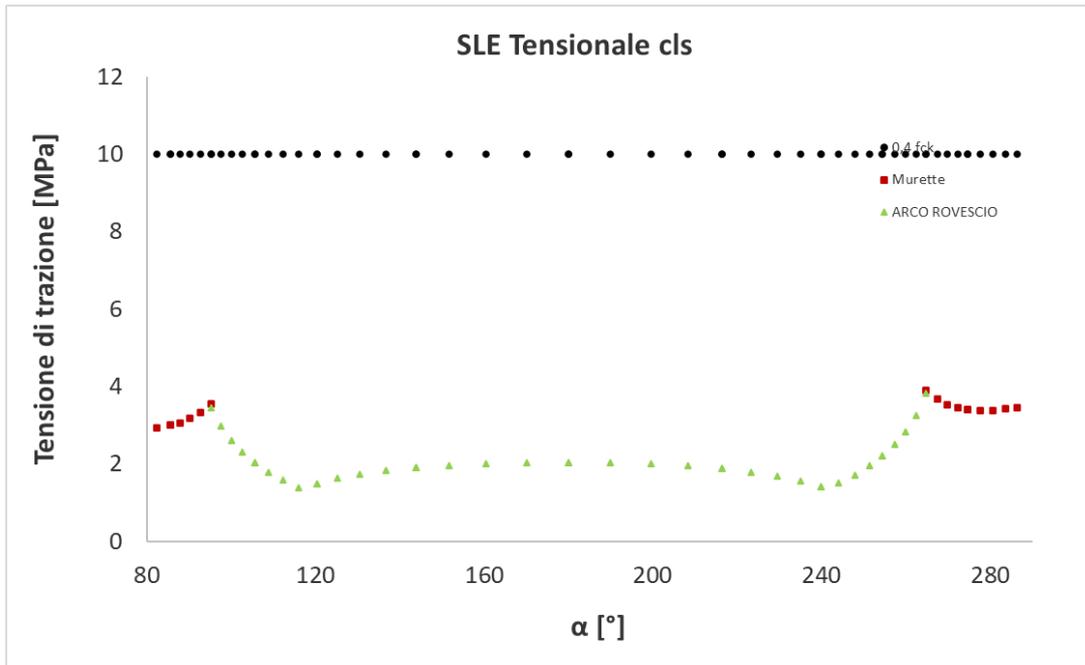


Figura 9-124 - Verifica tensioni calcestruzzo SX

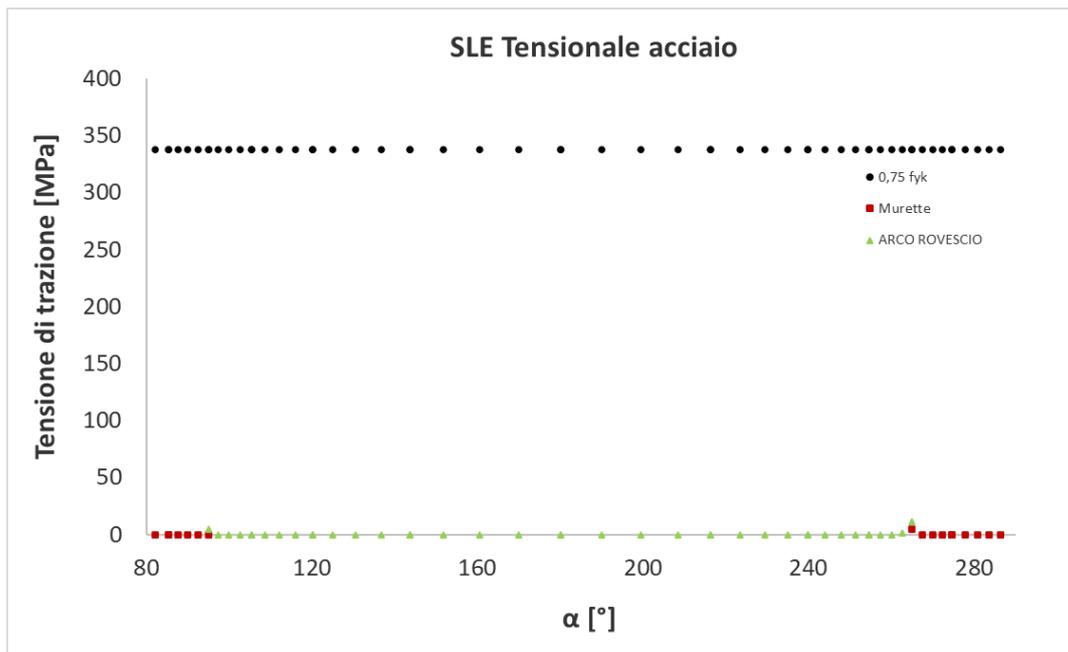


Figura 9-125 - Verifica tensioni acciaio SX

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	147 di 224

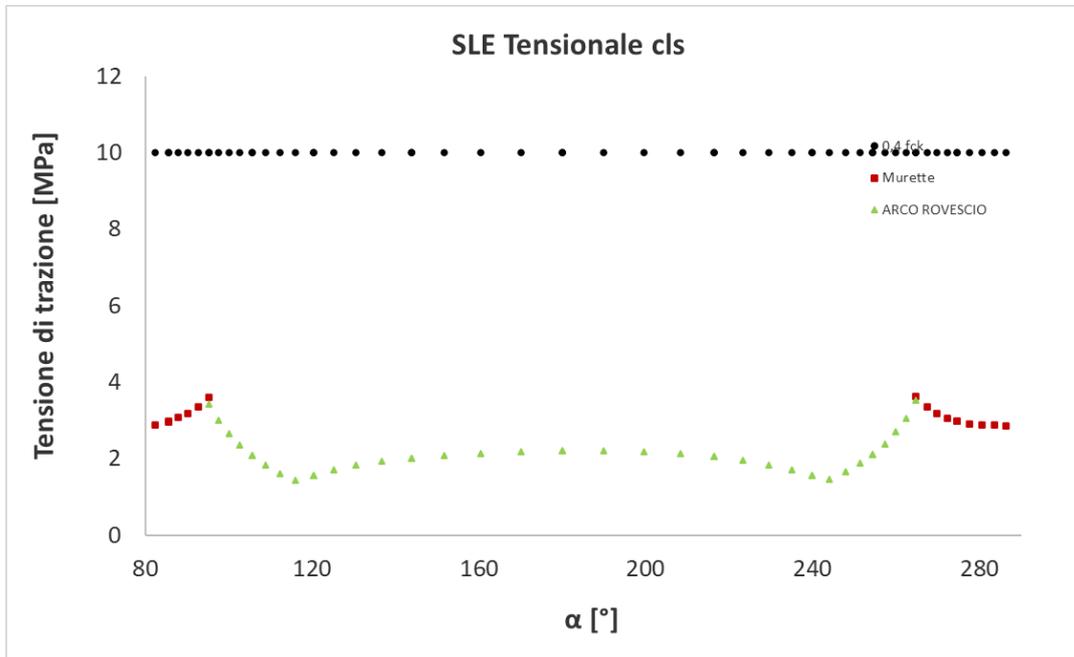


Figura 9-126-Verifica tensioni calcestruzzo DX

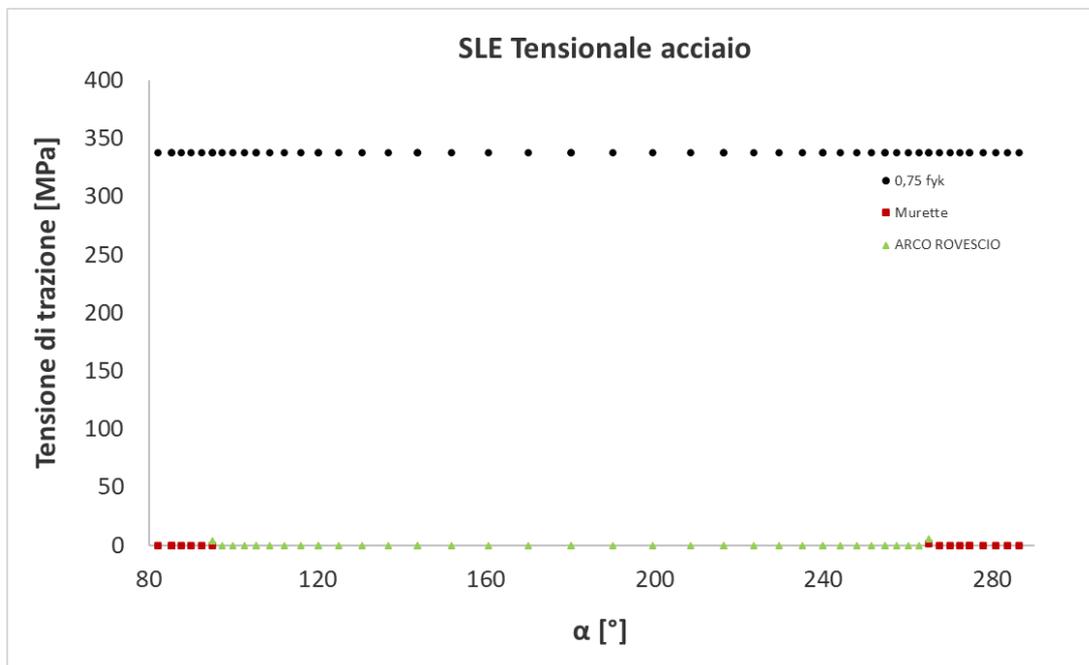


Figura 9-127-Verifica tensioni acciaio DX

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 148 di 224

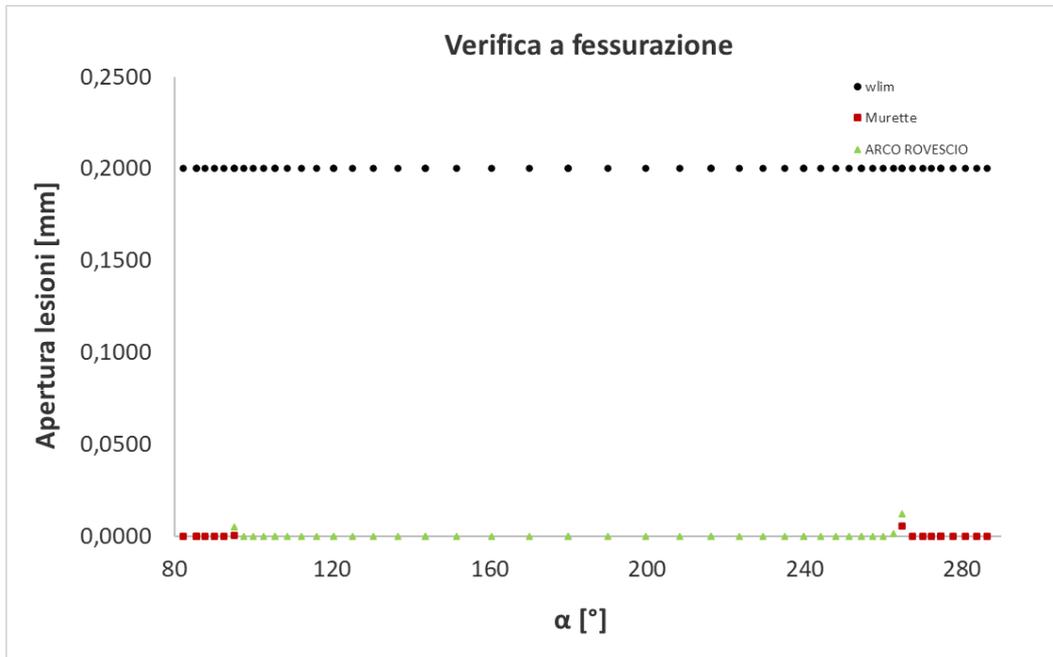


Figura 9-128 -Verifica a fessurazione SX

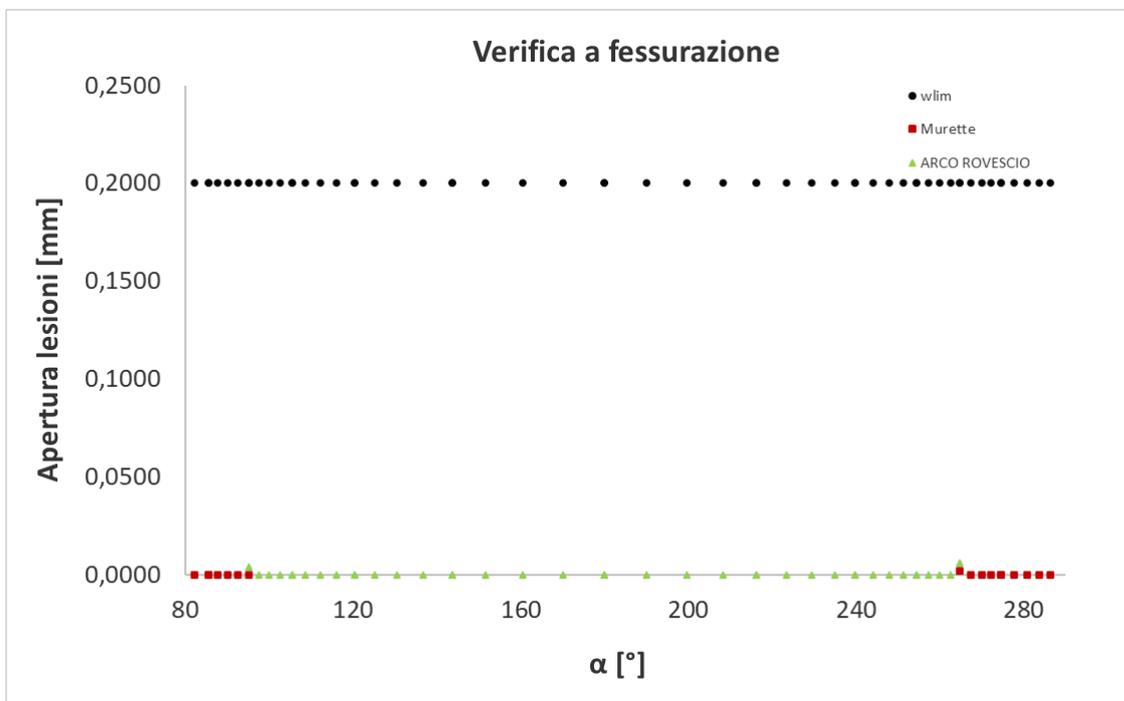


Figura 9-129 -Verifica a fessurazione DX

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 149 di 224

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 13 (Lungo termine) per entrambe le canne.

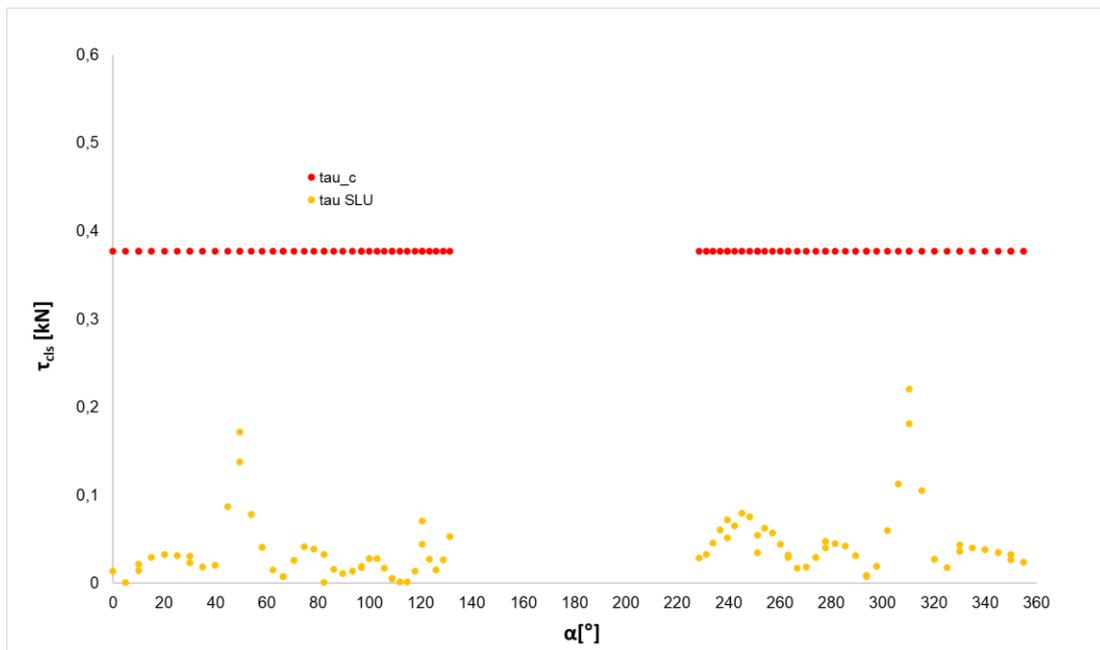


Figura 9-130 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1-SX

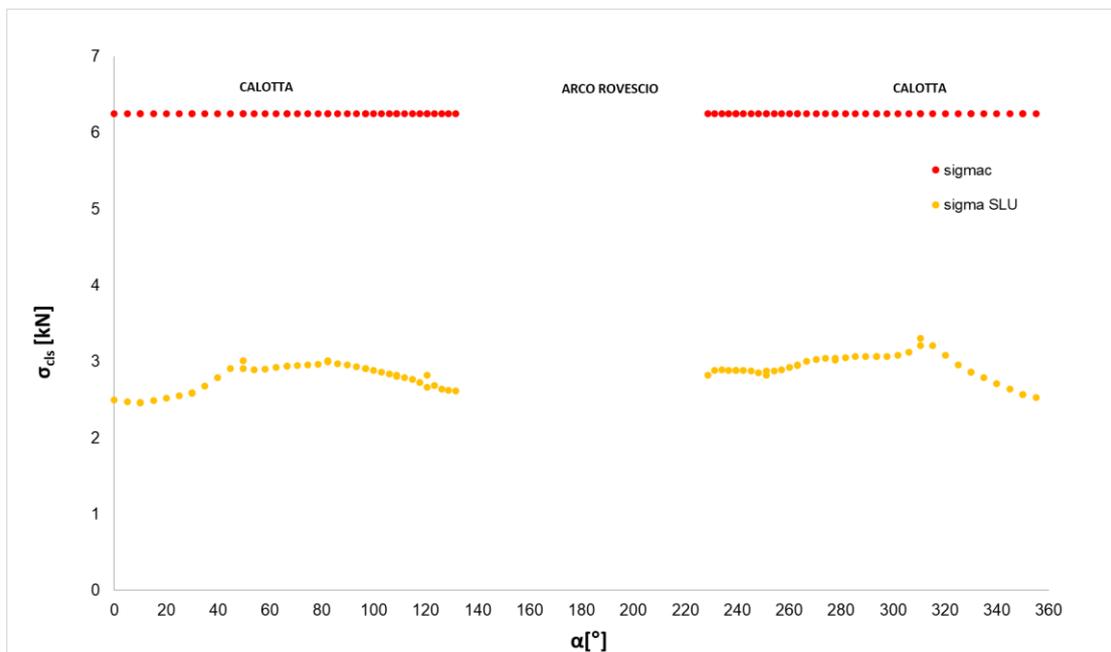


Figura 9-131 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1-SX

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	150 di 224

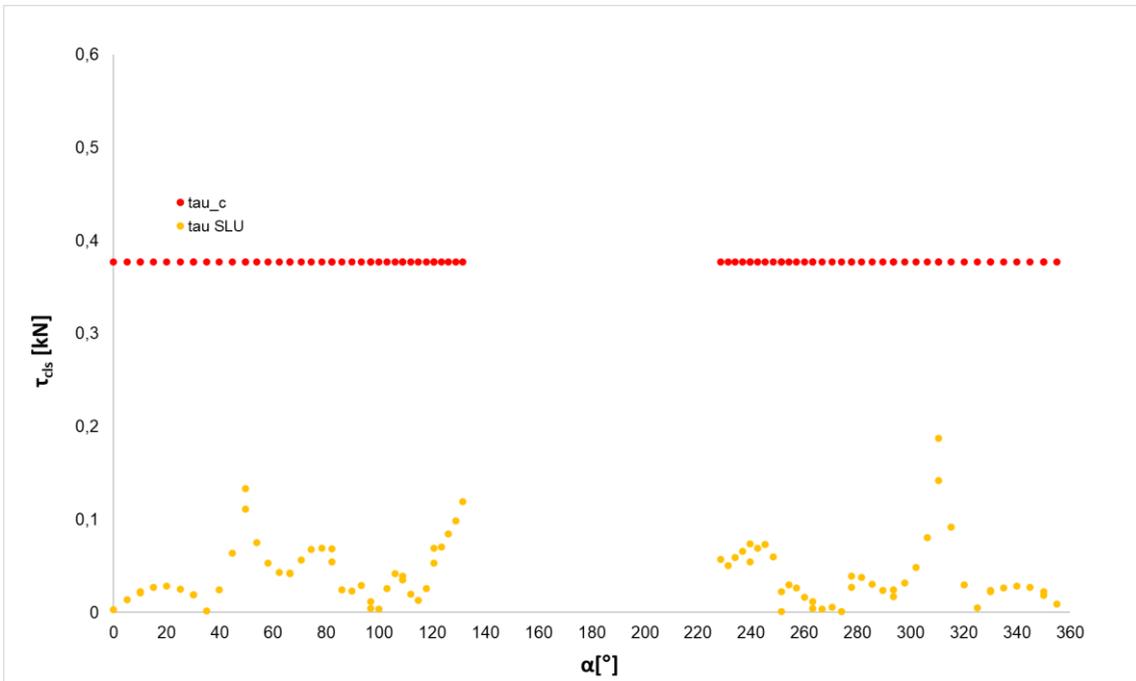


Figura 9-132 -Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1- DX

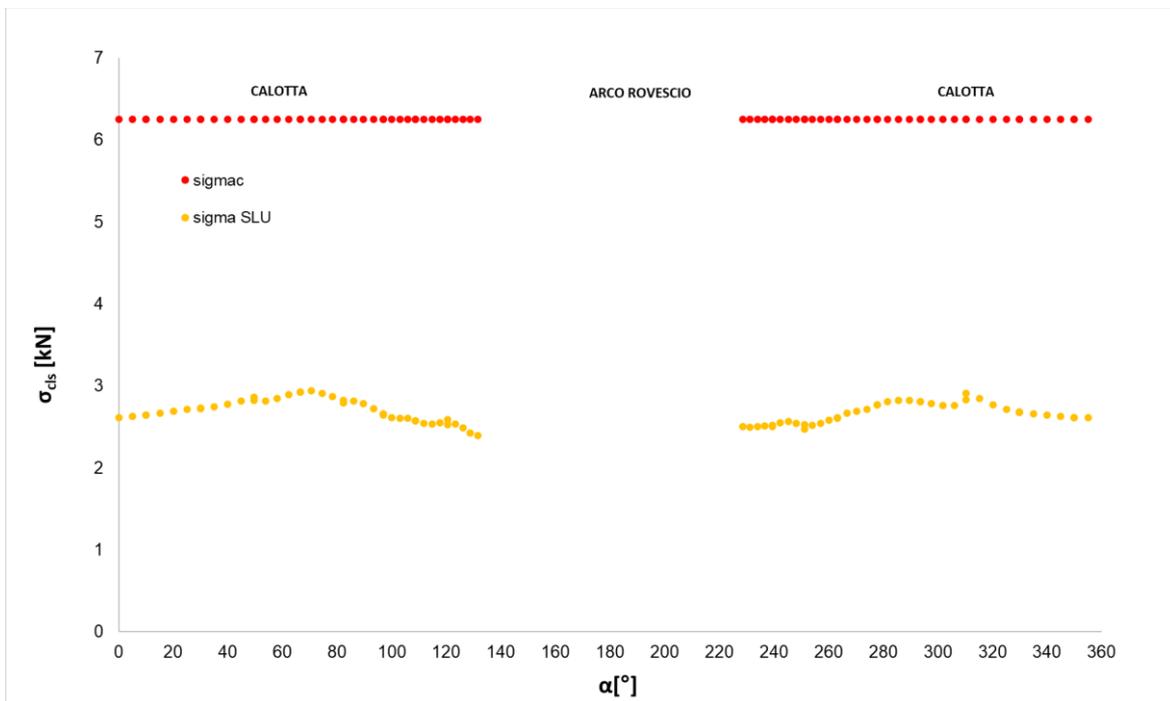


Figura 9-133 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1-DX

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 151 di 224

9.7.4.4. Verifica del rivestimento definitivo (Galleria di sfollamento)

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 13 (Lungo termine) per entrambe le canne.

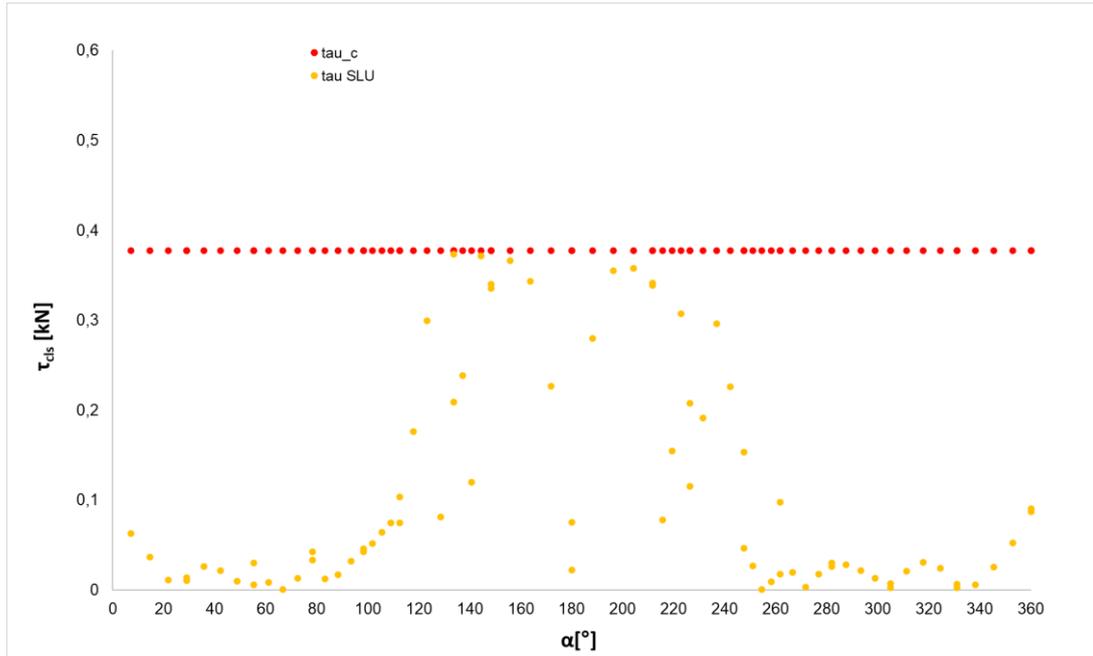


Figura 9-134 - Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08

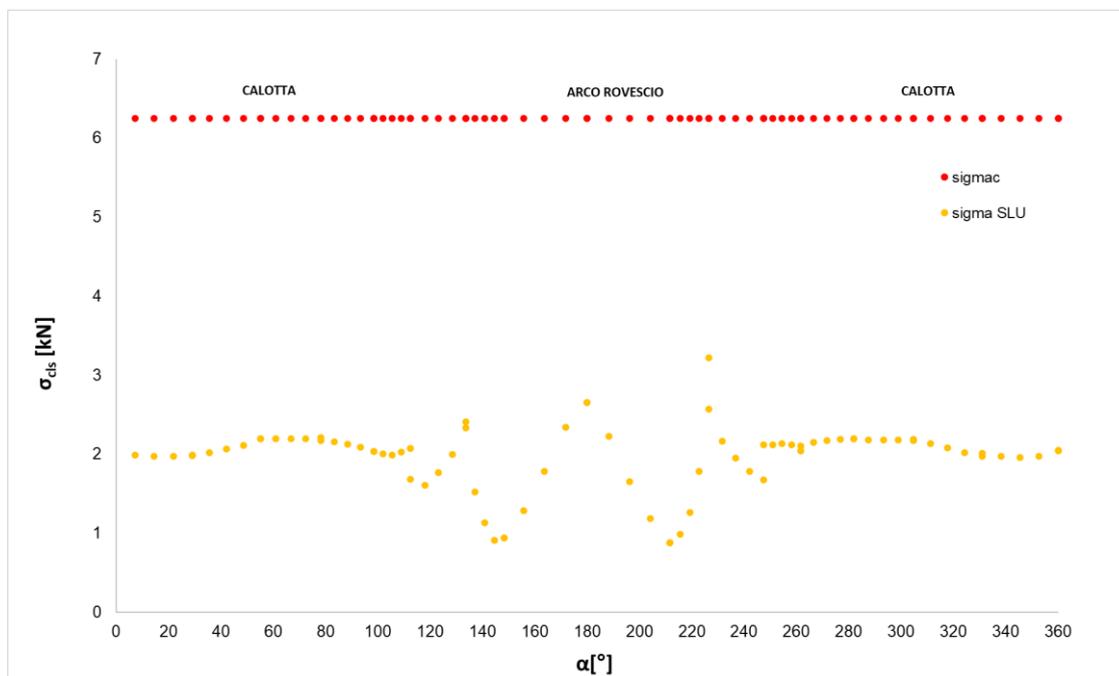


Figura 9-135 - Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 152 di 224

9.7.5 Sezione B1L

9.7.5.1. Verifica del rivestimento provvisorio

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla maturazione completa provvisorio e avanzamento tunnel DX (fase 11).

Il rivestimento di prima fase della sezione B1L è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.3m e centine accoppiate 2 IPN180 passo 1.20 m.

Si riporta di seguito, al crescere della coordinata angolare che identifica le diverse porzioni del rivestimento, il confronto tra azione e resistenza in termini tensionali, per entrambi gli elementi che costituiscono il rivestimento provvisorio.

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

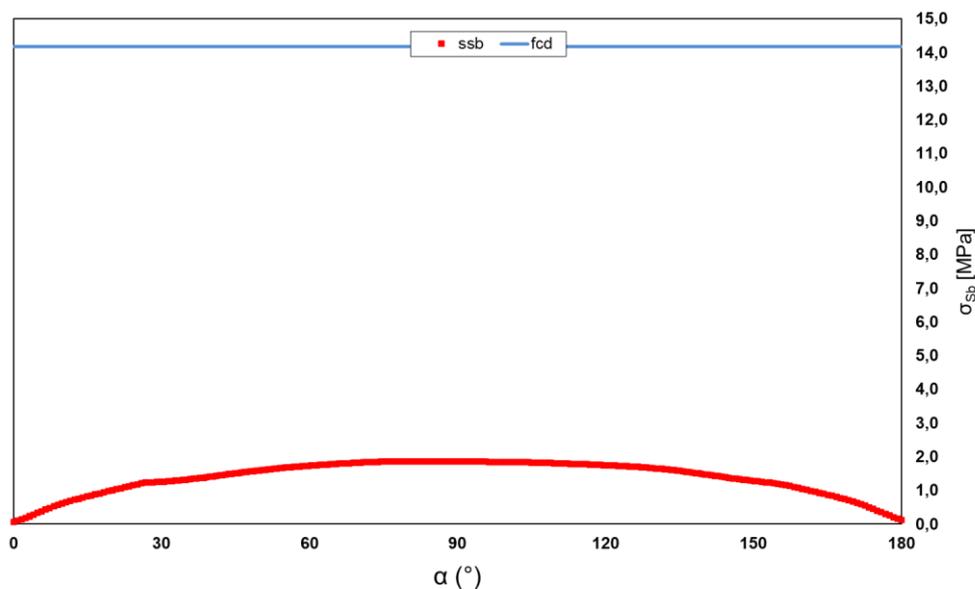


Figura 9-136 – Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton – Sezione Tipo B1L-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 153 di 224

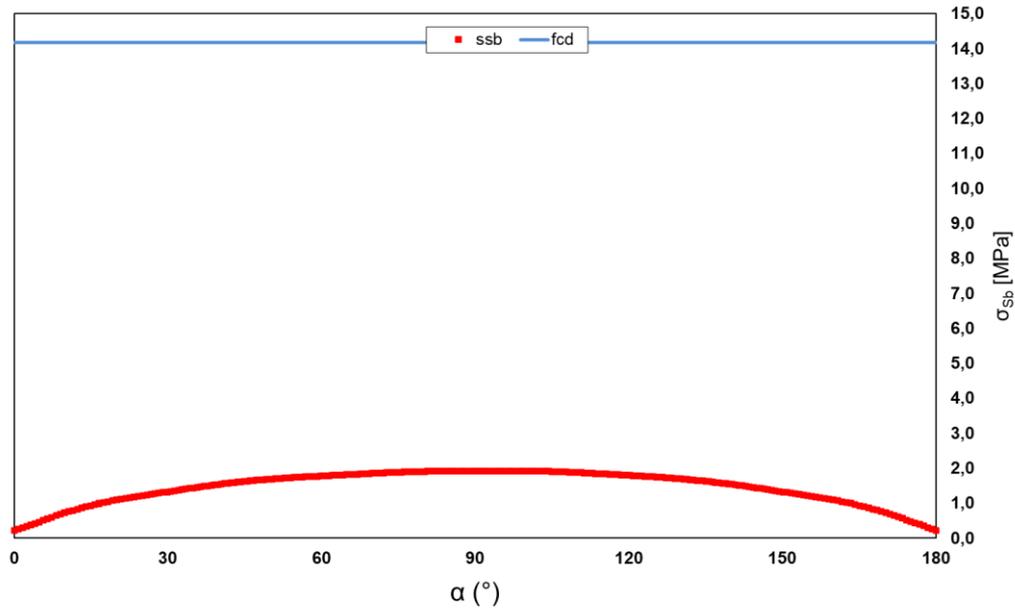


Figura 9-137 – Verifica SLU per compressione per lo spritz-beton – Sezione Tipo B1L-DX

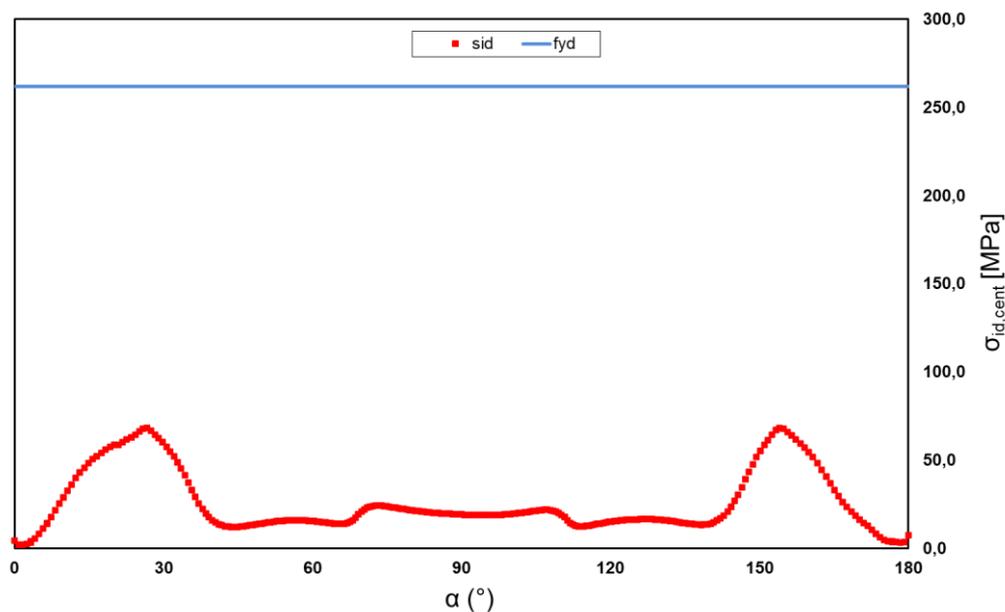


Figura 9-138 – Verifica SLU per compressione per lo centine – Sezione Tipo B1L-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 154 di 224

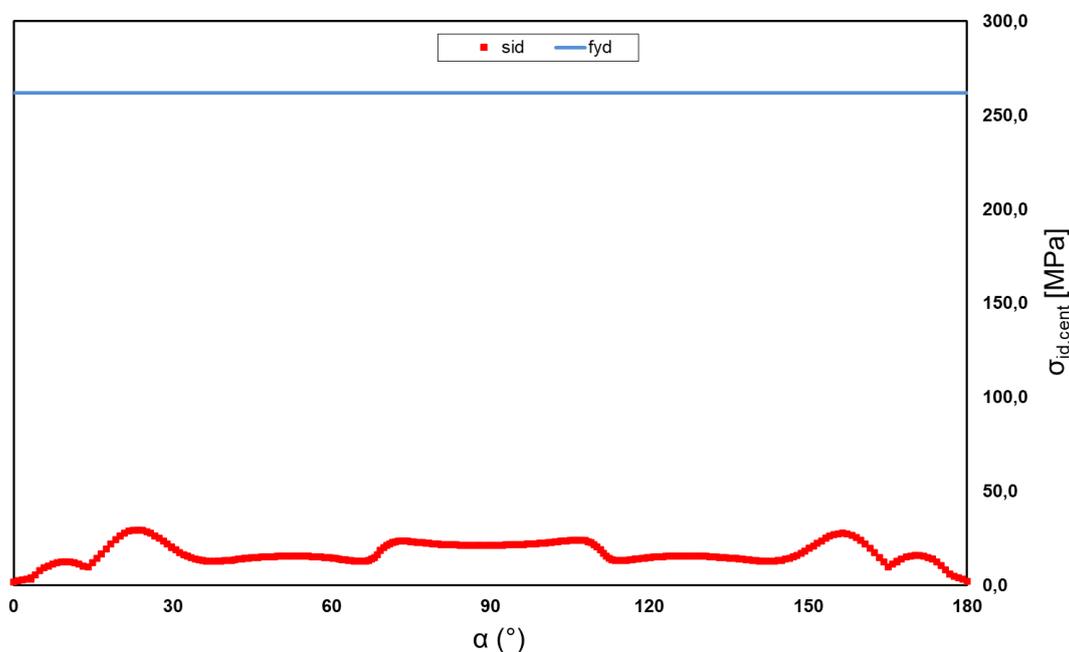


Figura 9-139 – Verifica SLU per compressione per lo centine – Sezione Tipo B1L-DX

9.7.5.2. Verifica del rivestimento definitivo

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §9.3.1 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

Nella tabella seguente si riportano gli spessori del CLS ed i ferri di armatura considerati nelle verifiche per la calotta e l'arco rovescio:

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio
Calotta	25/30	0.7m	-	-	-
Murette	25/30	0.8m	Φ14/20	Φ14/20	-
Arco rovescio	25/30	0.8 m	Φ14/20	Φ14/20	-

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

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento.

Le verifiche a pressoflessione vengono invece riportate in termini di dominio ultimo, mostrando come ciascuna coppia di punti (M;N) sia interna al dominio.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 155 di 224

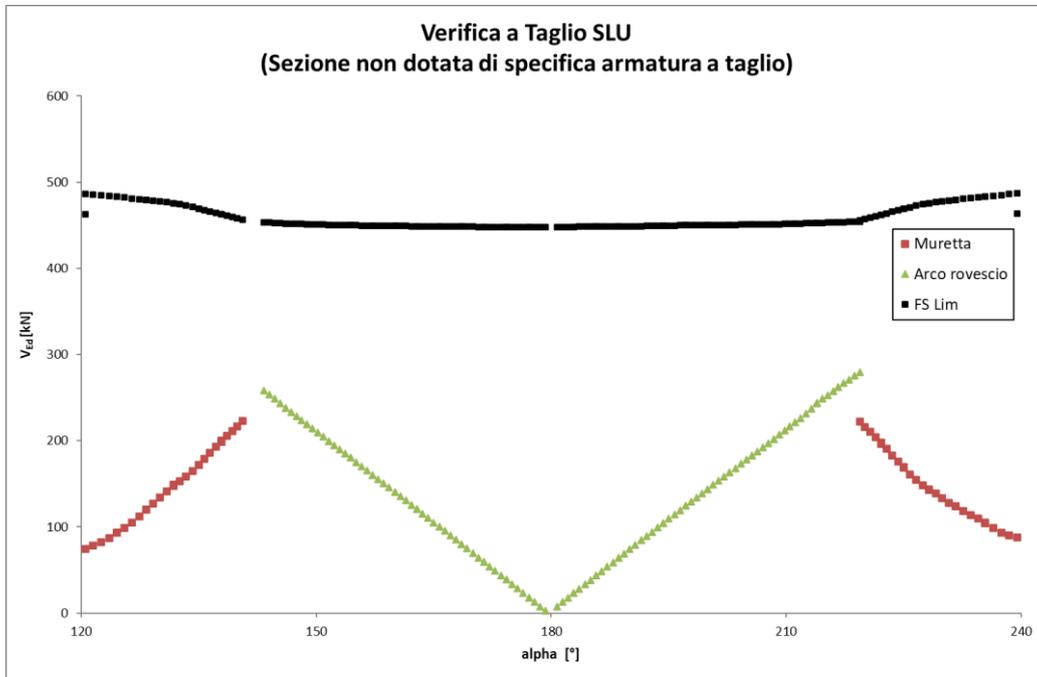


Figura 9-140 – Verifica a taglio rivestimento definitivo SX

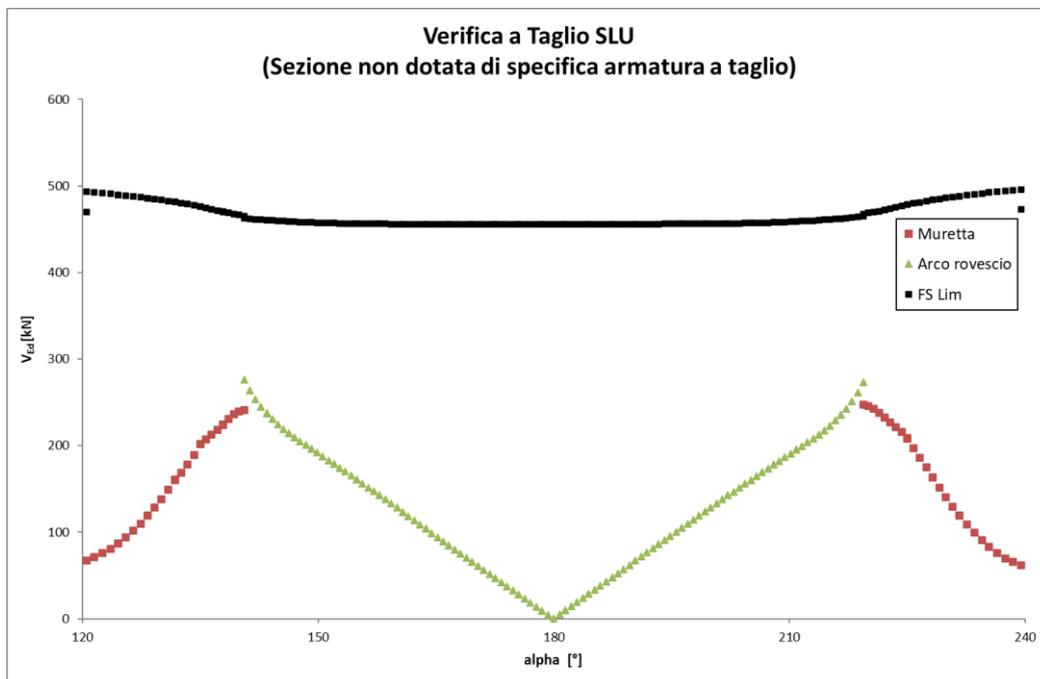


Figura 9-141 – Verifica a taglio rivestimento definitivo DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 156 di 224

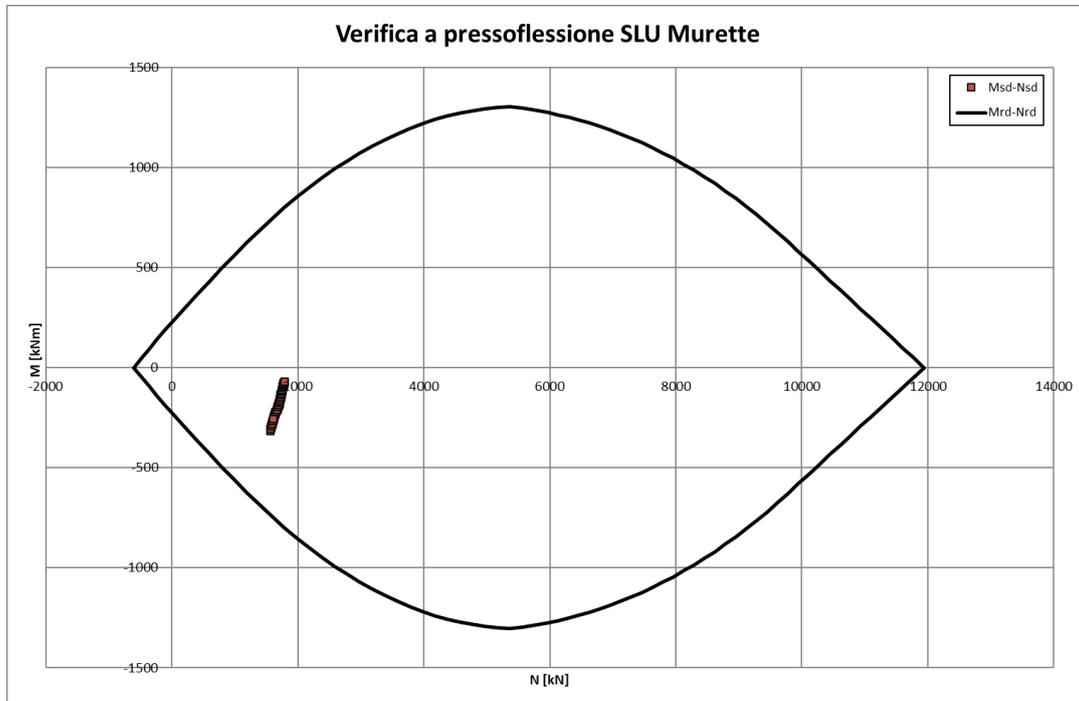


Figura 9-142 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-SX

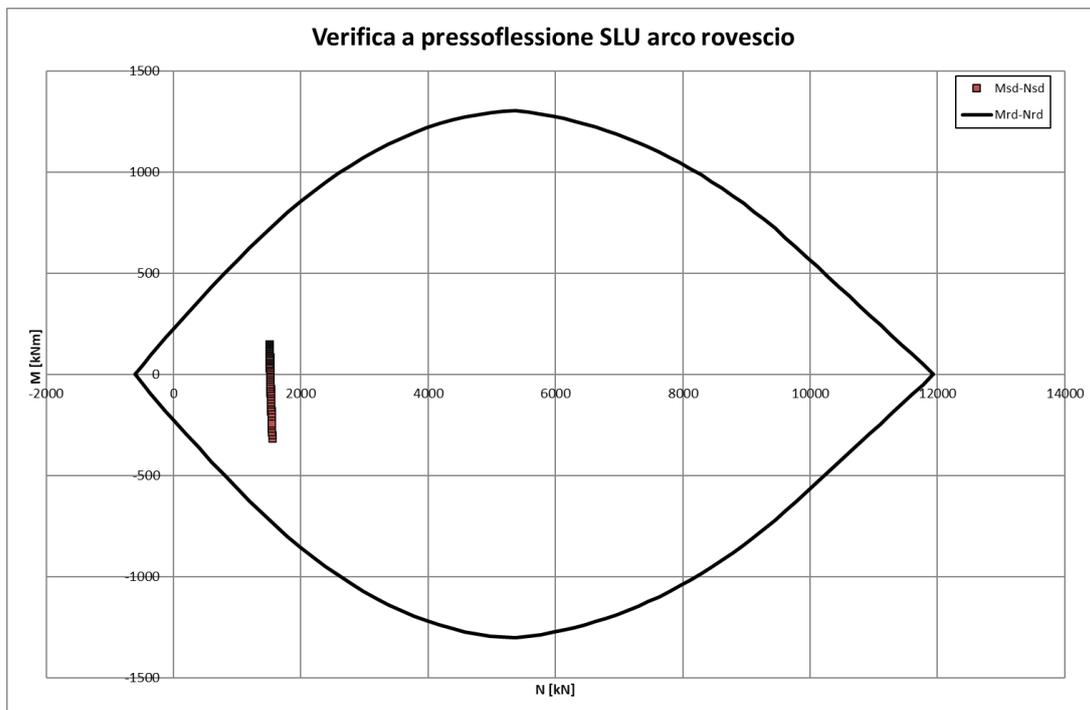


Figura 9-143 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 157 di 224

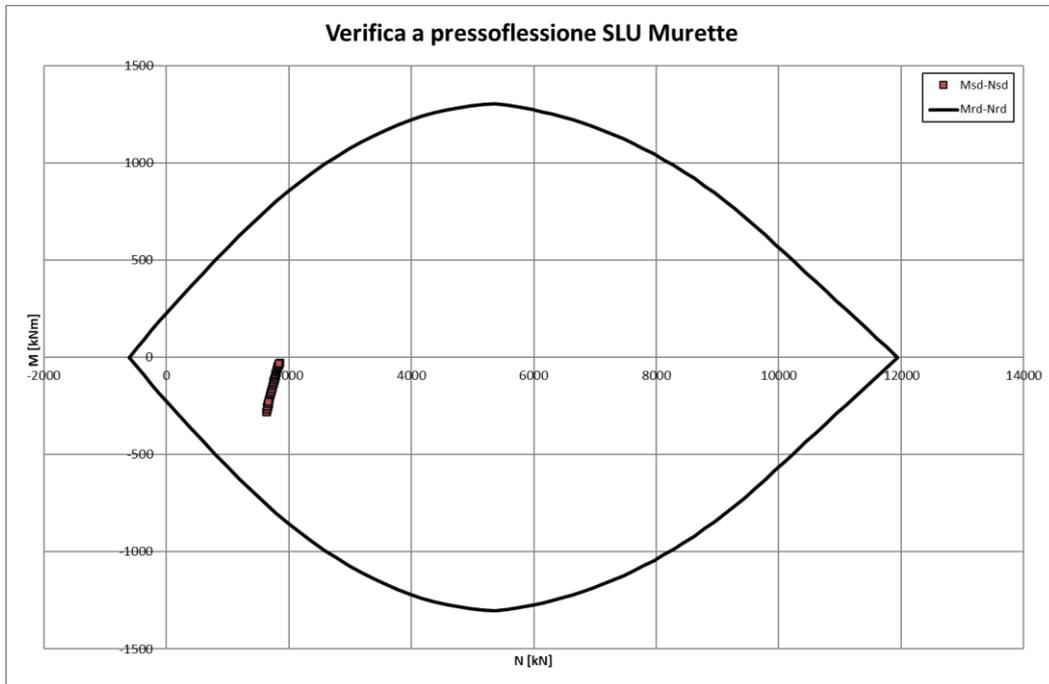


Figura 9-144 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N)-DX

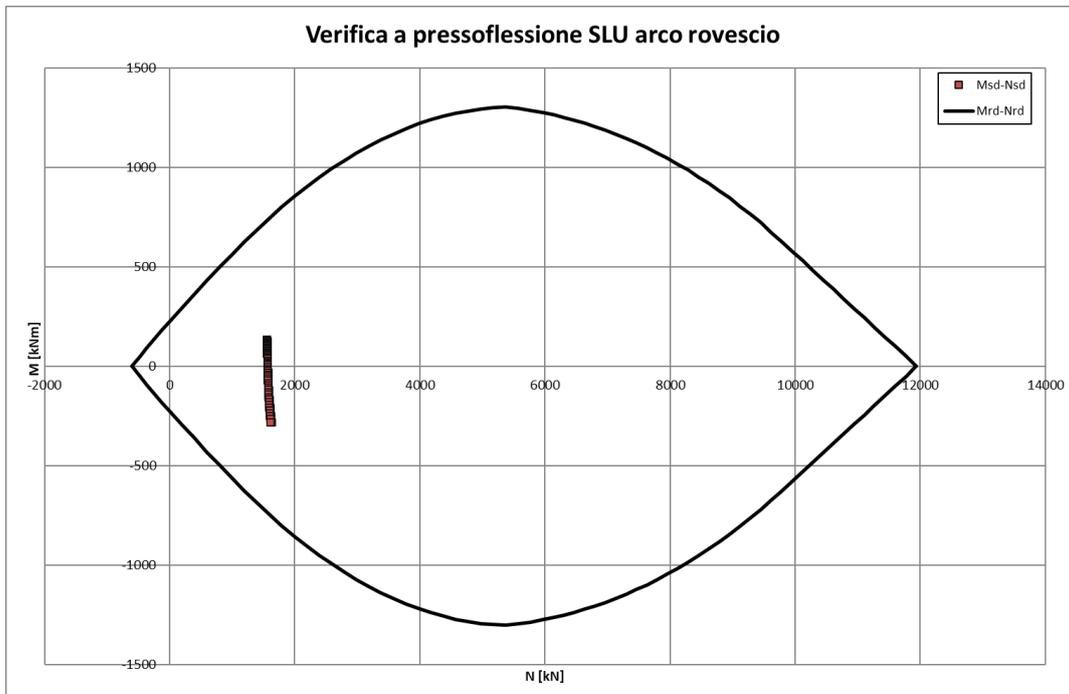


Figura 9-145 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) -DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 158 di 224

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

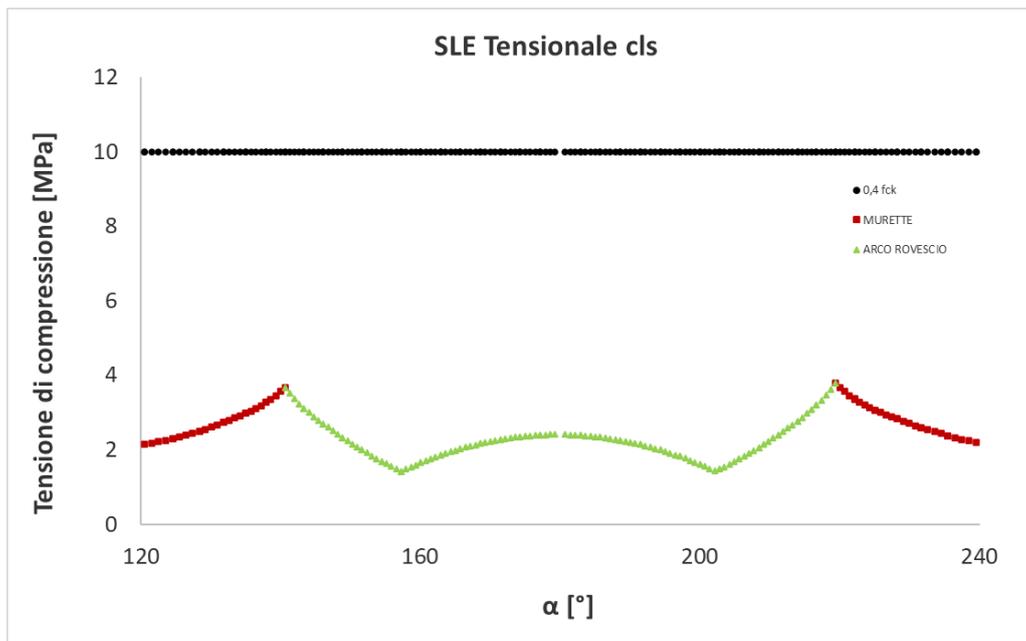


Figura 9-146 – Verifica tensioni calcestruzzo SX

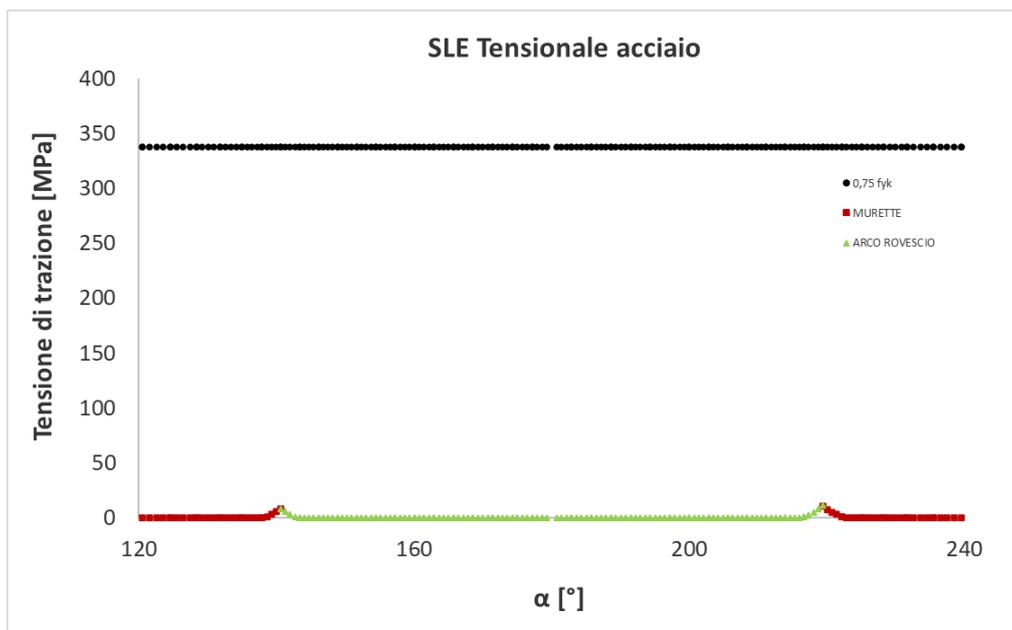


Figura 9-147 – Verifica tensioni acciaio SX

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	
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa: IB0U LOTTO: 1AEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000009 REV.: C FOGLIO: 159 di 224	

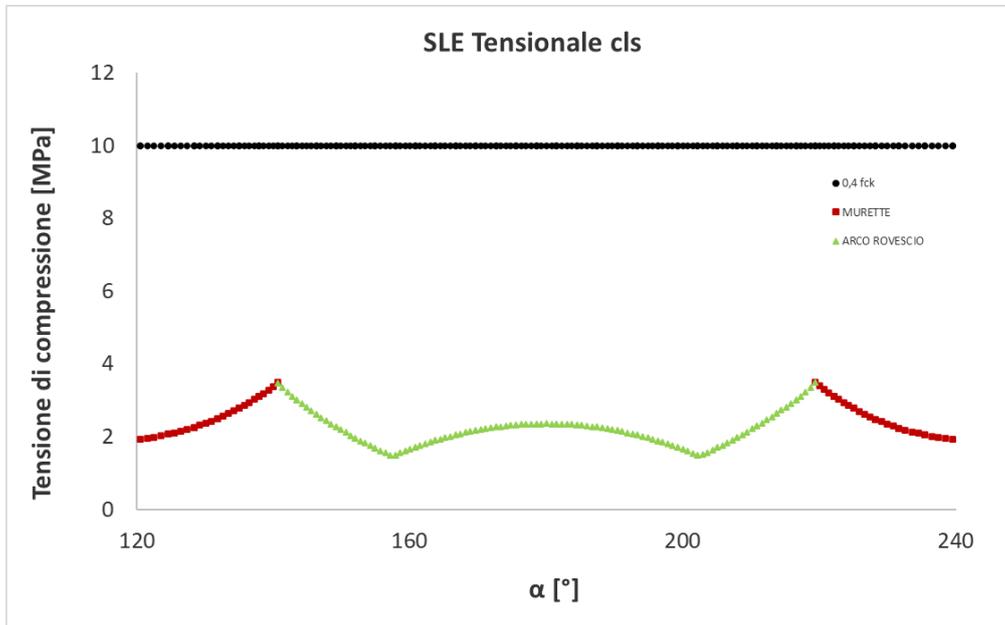


Figura 9-148 – Verifica tensioni calcestruzzo DX

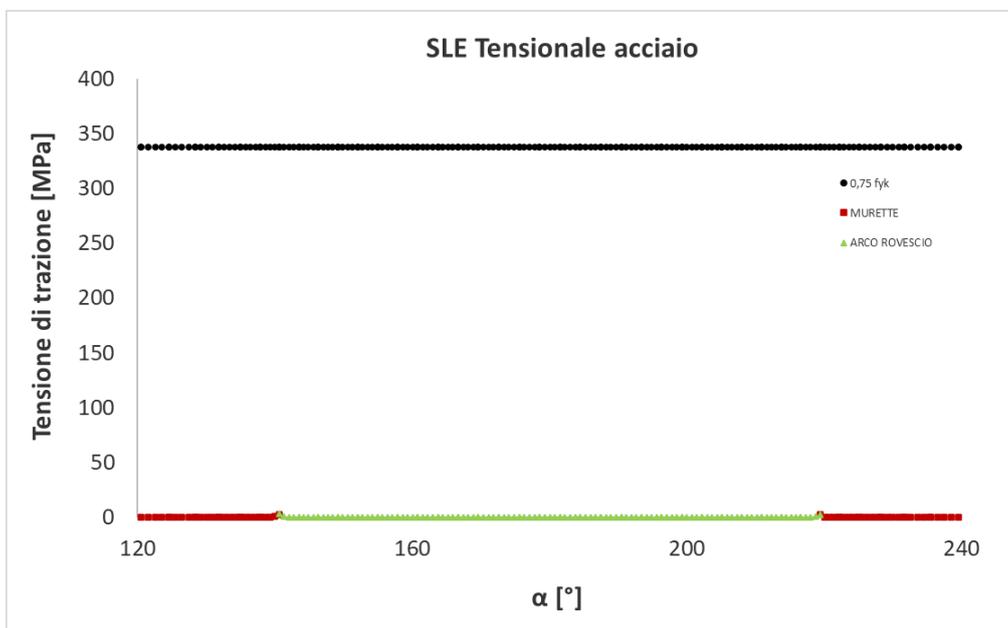


Figura 9-149 – Verifica tensioni acciaio DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 160 di 224

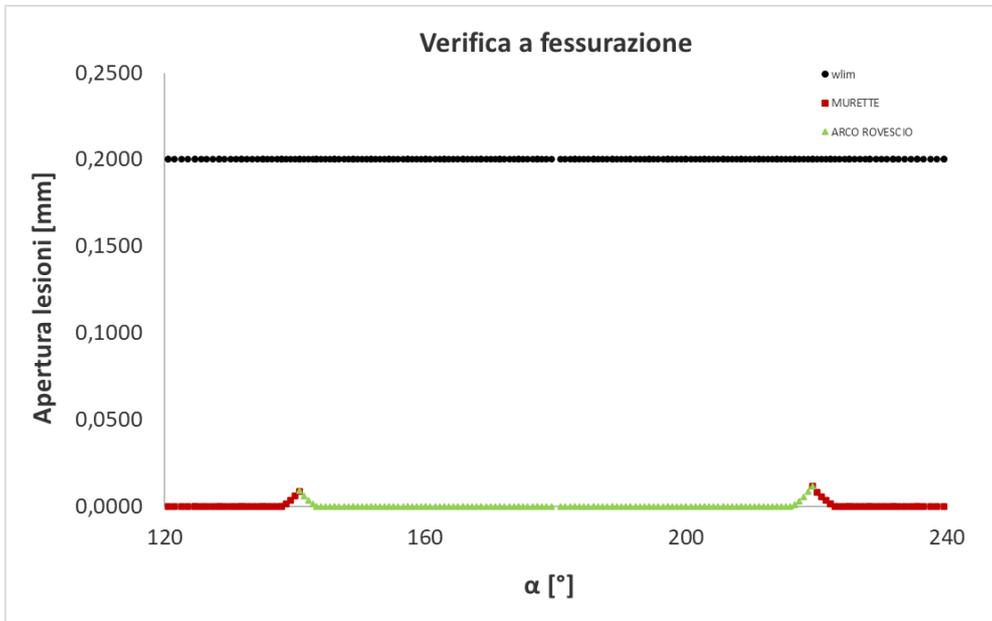


Figura 9-150 – Verifica a fessurazione SX

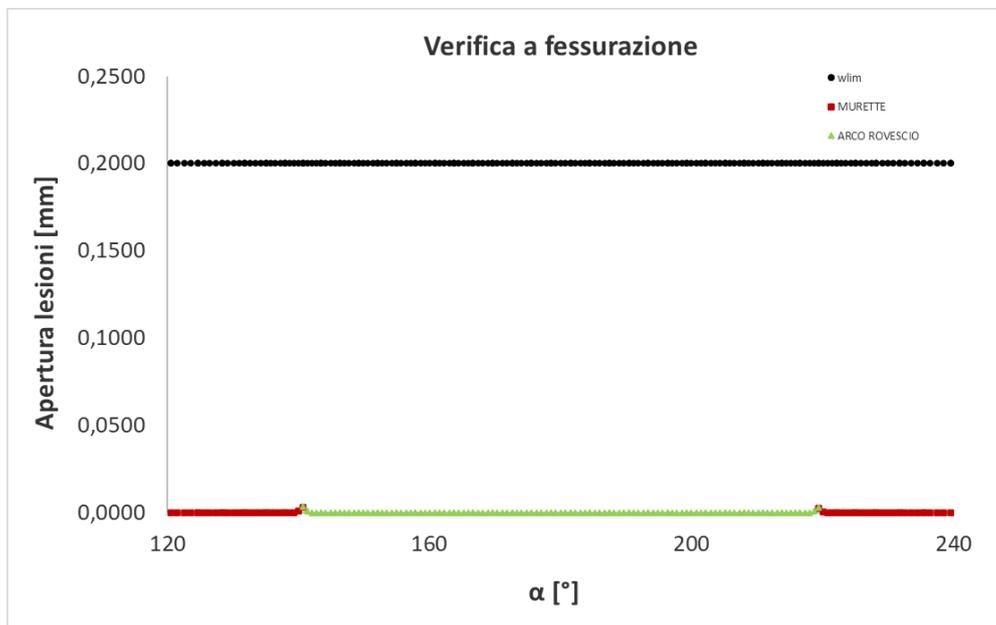


Figura 9-151 – Verifica a fessurazione DX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 161 di 224

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche previste per rivestimenti non armati secondo NTC2008 relative alla fase 13 (Lungo termine) per entrambe le canne.

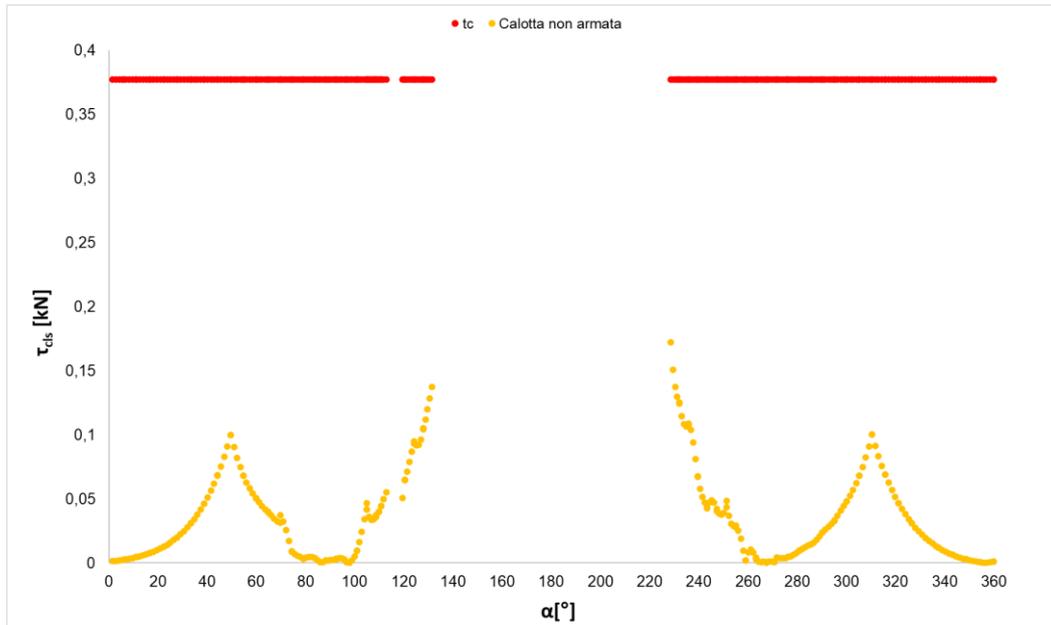


Figura 9-152 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1L-SX

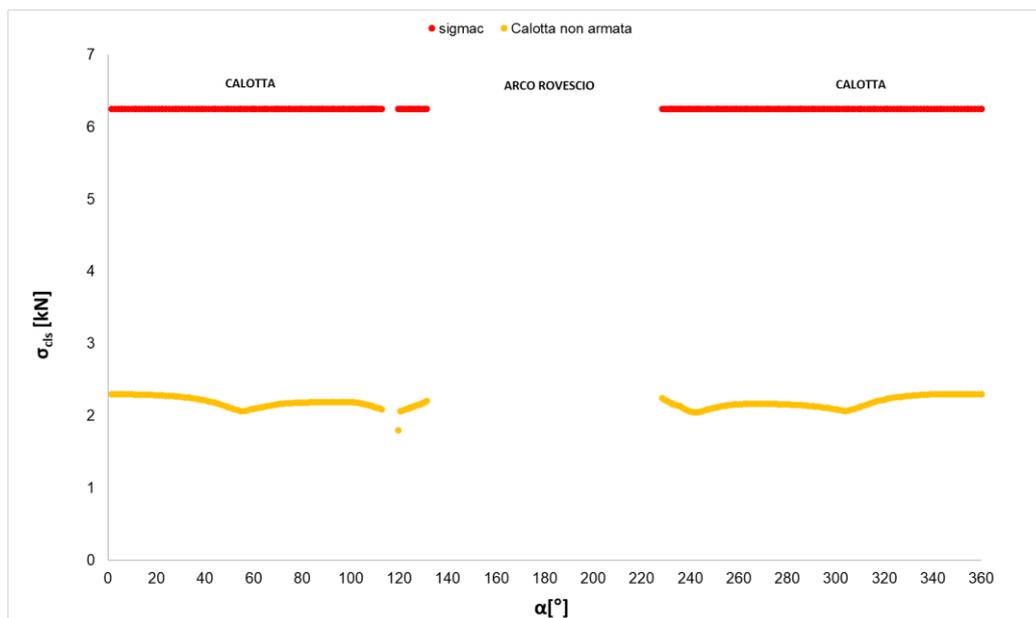


Figura 9-153 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1L-SX

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 162 di 224

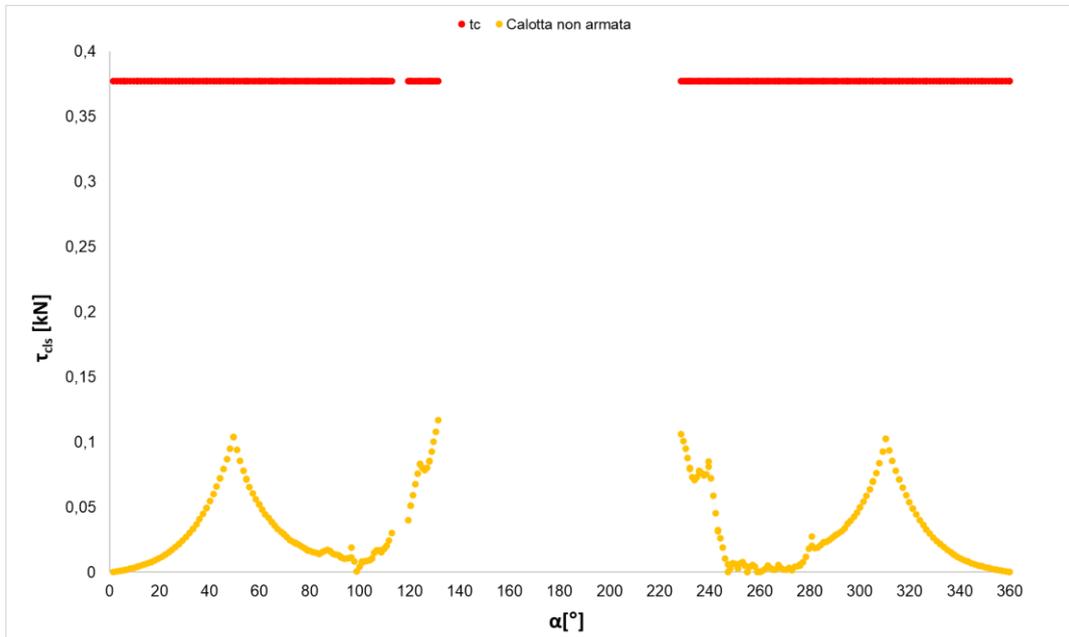


Figura 9-154 – Verifica a taglio ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1L-SX

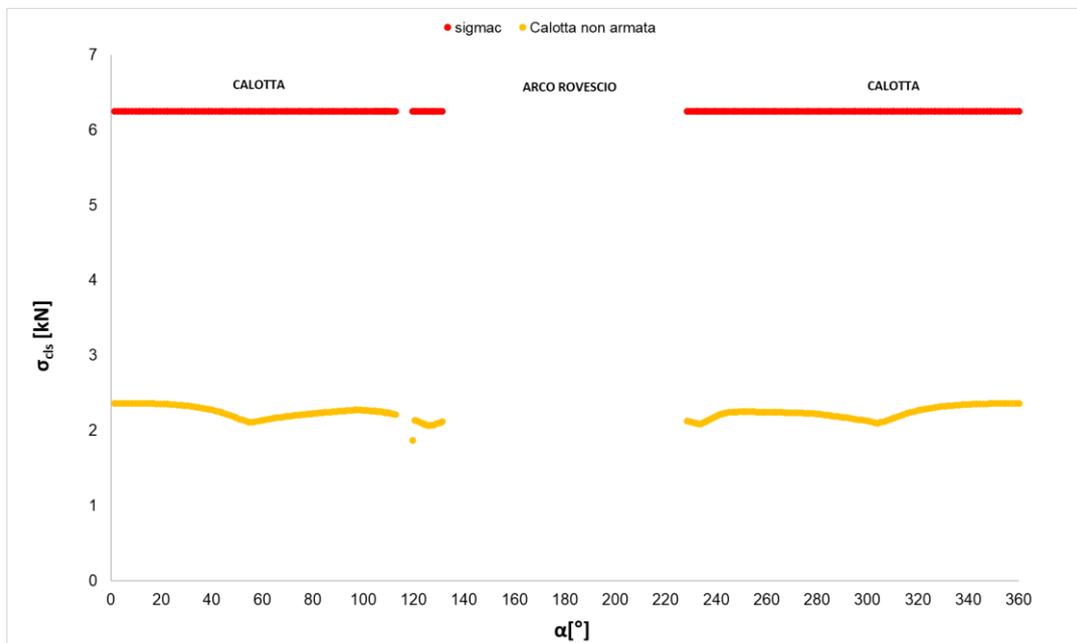


Figura 9-155 – Verifica sforzi normali ai sensi del paragrafo 4.1.11.1 delle NTC08 Sezione Tipo B1L-SX

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	163 di 224

10. VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO SEZIONE TIPO

Nel seguente capitolo vengono presentati i risultati di verifica di resistenza al fuoco per le diverse sezioni significative della galleria naturale della galleria di linea.

Metodologia di calcolo

Le verifiche al fuoco sono state condotte utilizzando il software SAFIR, un programma basato sul Metodo degli Elementi Finiti (FEM) che può essere utilizzato per lo studio di strutture mono-, bi- e tridimensionali sottoposte a incendio attraverso la discretizzazione della struttura, delle sezioni e del tempo. Il codice include elementi finiti piani a 3 e 4 nodi (SOLID 2D), elementi finiti tridimensionali a 6 e 8 nodi (SOLID 3D), elementi di trave (BEAM) e elementi di piastra (SHELL); i materiali a disposizione nelle librerie del programma permettono di considerare comportamenti non lineari in funzione della temperatura. L'analisi di una struttura esposta al fuoco è generalmente svolta per fasi successive: il primo passo consiste nell'analisi termica, cioè nella valutazione della distribuzione di temperatura all'interno degli elementi strutturali; a questa segue, nel caso di strutture di travi, l'analisi torsionale per la determinazione delle proprietà torsionali delle sezioni trasversali delle travi. L'ultima analisi che viene svolta è l'analisi strutturale per l'ottenimento della risposta della struttura soggetta a carichi statici e carichi termici. In letteratura sono disponibili diversi articoli inerenti la validazione del software. Per quanto concerne la validazione attraverso le norme EN 1992 1-2 si fa riferimento al sito del produttore:

https://www.uee.uliege.be/upload/docs/application/pdf/201803/validation_of_safir_through_the_din_en_1992-1-2_na.pdf.

La verifica è stata articolata nelle fasi descritte di seguito ed è stata sviluppata sia in presenza che in assenza del fenomeno di spalling.

FASE1: ANALISI TERMICA DELLA SEZIONE

L'analisi termica è svolta suddividendo la struttura in molteplici sottostrutture, per ciascuna delle quali è quindi determinata la distribuzione delle temperature nel tempo. La suddivisione in sotto-strutture è resa necessaria dalla presenza di elementi strutturali aventi o differenti sezioni o differenti condizioni di esposizione al fuoco. Tipicamente, la discretizzazione delle sezioni degli elementi di trave e degli elementi di piastra è effettuata con elementi finiti piani SOLID 2D mentre la discretizzazione di elementi tridimensionali (ad esempio un nodo trave-pilastro) è svolta con elementi finiti SOLID 3D. La gravità d' incendio può essere rappresentata mediante curve standard temperatura-tempo predefinite nel programma (ISO 834, ASTM E119, curva da idrocarburi, etc.) o tramite curve definite dall' utente (RWS nel caso in esame). In questo caso è possibile considerare anche la fase di raffreddamento. SAFIR non considera il trasferimento di calore lungo l'asse di una trave: l'analisi termica è svolta unicamente nella sezione trasversale e, di conseguenza, la distribuzione (non uniforme) di temperatura che si ottiene da tale analisi è la medesima in ogni generica sezione trasversale lungo l'asse. Nel caso delle sezioni in calcestruzzo armato, l'armatura longitudinale deve essere discretizzata con il calcestruzzo perché il file di output ottenuto dall'analisi termica viene utilizzato a sua volta come file di input per l'analisi strutturale e quindi deve contenere tutte le informazioni sulla sezione, compreso il quantitativo di armatura presente. SAFIR determina la distribuzione delle temperature che si

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 164 di 224

sviluppano all'interno della struttura mediante un'integrazione delle equazioni differenziali che governano i fenomeni di trasmissione del calore. In particolare, all'interno della struttura il trasferimento di calore avviene per conduzione mentre sulle superfici esposte il calore è scambiato con l'ambiente mediante convezione e irraggiamento. L'analisi termica è basata anche su queste ulteriori ipotesi:

- viene tenuta in considerazione la presenza di acqua evaporabile all'interno dei materiali, così come l'energia consumata per la sua evaporazione;
- non viene considerata la migrazione del vapore all'interno del materiale;
- non sono considerati gli effetti dell'analisi strutturale sulla distribuzione di temperatura, come il calore sviluppato dalla plasticizzazione, l'ortotropia delle proprietà termiche per effetto della fessurazione o lo spalling.

Si può quindi osservare che le analisi termica e meccanica sono sequenzialmente accoppiate.

Per le gallerie ferroviarie, salvo indicazione specifiche, si adotterà la curva nominale RWS (DM 28 ottobre 2005).

La curva in questione è caratterizzata da un rapido incremento delle temperature fino a 1200°C a 10 minuti, un massimo di 1350 °C a 60 minuti e un ritorno a 1200°C a 120 minuti.

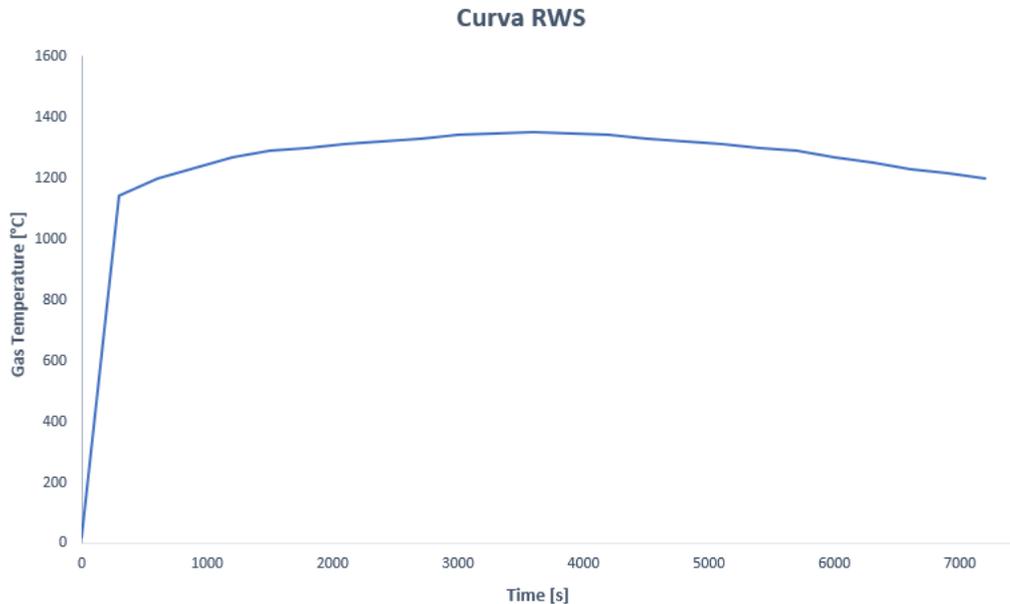


Figura 10-1 – Curva RWS

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					
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	165 di 224

FASE2: DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI STRUTTURALI E VERIFICA DI RESISTENZA

L'analisi strutturale è eseguita a valle dell'analisi termica e, in determinati casi, dopo l'analisi torsionale. Una struttura può essere discretizzata con elementi BEAM, TRUSS e SHELL. La risposta della struttura è valutata considerando i carichi statici applicati e l'evoluzione del campo termico, il comportamento dei materiali dipendente dalla temperatura, gli effetti delle deformazioni termiche e la presenza di effetti del secondo ordine. Il meccanismo di danno del calcestruzzo durante la fase di scarico elastico può eventualmente essere tenuto in conto adottando un opportuno modello costitutivo. Dal punto di vista computazionale, l'analisi è svolta in maniera incrementale, cioè per incrementi successivi di tempo; pertanto, per ogni istante in cui la convergenza è raggiunta, è possibile ottenere le seguenti informazioni (output):

- gli spostamenti in ogni nodo della struttura;
- le azioni assiali, le forze di taglio e i momenti flettenti nei punti di integrazione di ogni elemento finito;
- gli sforzi, le deformazioni e il modulo tangente nei punti di integrazione di ogni elemento finito.

L'analisi termina al raggiungimento del tempo prefissato (2 ore) o in caso di divergenza dell'analisi, ovvero quando le sollecitazioni/deformazioni eccedono il limite del materiale. Le condizioni al contorno e i carichi statici permanenti dovuti al peso proprio e ai carichi portati sono determinati assumendo considerazioni analoghe a quelle assunte per il calcolo statico delle WBS in oggetto, e pertanto per ulteriori dettagli si rimanda alle relative relazioni di calcolo. Per la modellazione del distacco esplosivo del calcestruzzo (spalling) si è deciso di decurtare la sezione del tratto interessato dal fenomeno; quindi, esse risulteranno più corte e prive dello strato di armatura adiacente al lembo esposto all'incendio.

Proprietà termiche

Per la determinazione delle distribuzioni di temperatura nelle sezioni è necessario definire le proprietà meccaniche e termiche dei materiali.

Calcestruzzo

Il materiale utilizzato è il SILCONC_EN, tale denominazione fa riferimento al modello costitutivo uniassiale ad aggregati silicei definito nell'UNI EN 1992-1-2 (2005), i parametri utilizzati sono i seguenti:

- massa specifica: 2400 kg/m³
- contenuto di umidità: 46 kg/m³
- coefficiente convettivo su profili caldi: 25 W/m²K
- coefficiente convettivo su profili freddi: 4 W/m²K
- emissività relativa: 0.7
- parametro per la conduttività termica α : 0.5

In accordo col paragrafo 3.3.3 delle EN-1992-1-2, la conduttività termica viene determinata all'interno di un intervallo attraverso il parametro α tramite la relazione:

$$k(T) = k_{lower}(T) + \alpha \left(k_{upper}(T) - k_{lower}(T) \right) \text{ con } \alpha \text{ compreso tra } [0,1]$$

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 166 di 224

Il parametro α , inoltre, varia con la temperatura secondo le espressioni:

- $\alpha (\theta) = (-1.80 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \times \theta + 2.3 \times 10^{-11} \times \theta^3) / \theta$ per $20^\circ \text{C} \leq \theta \leq 700^\circ \text{C}$
- $\alpha (\theta) = (140 \times 10^{-3}) / \theta$ per $700^\circ \text{C} < \theta \leq 1200^\circ \text{C}$

Acciaio per armatura

Il materiale utilizzato è lo STEELEC2EN, ovvero acciaio al carbonio le cui proprietà termiche seguono le equazioni presenti nell' Eurocodice EN 1993-1-2, i parametri utilizzati sono:

- coefficiente convettivo su profili caldi: 25 W/m²K
- coefficiente convettivo su profili freddi: 4 W/m²K
- emissività relativa: 0.7

Spalling

Il procedimento sopra esposto andrà percorso anche valutando l'influenza del fenomeno dello spalling sulla risposta strutturale. A tal proposito, infatti, l' Eurocodice 2 [2] (UNI EN 1992-1-2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2 - Regole generali - Progettazione strutturale contro l' incendio, Sezione 4 Procedure di progettazione, p.to 4.1 Generalità) richiede che "...il distacco del calcestruzzo deve essere evitato per mezzo di misure appropriate oppure si deve tenere conto della sua influenza sui requisiti prestazionali (R e/o E I)...".

Pertanto, al fine di quantificare l' entità dello spalling da considerare nelle analisi, si potrà far riferimento al criterio sviluppato, per conto di RFI, nel documento "Considerazioni sul fenomeno dello spalling ai fini dell'esecuzione delle verifiche in condizioni di incendio delle strutture di rivestimento di opere in sotterraneo" (E. Cartapati – maggio 2012).

Tale criterio, basato su evidenze sperimentali e di incendi realmente avvenuti, che hanno coinvolto strutture prive di accorgimenti nei riguardi dei fenomeni dello spalling, definisce che:

- per le strutture non armate la riduzione media di spessore da utilizzare nelle analisi e verifiche può essere valutata pari a 15 cm;
- per le strutture armate la riduzione media di spessore da utilizzare nelle analisi e verifiche è ricavabile dalla formula:

$$s = c + \varnothing_r + \varnothing_f + i/10;$$

dove c è il copriferro e i l'interasse delle armature di forza; \varnothing_r e \varnothing_f sono rispettivamente i diametri delle armature di ripartizione (r) e di forza (f).

Tale valore è determinato dalla somma di diversi contributi:

- distacco del calcestruzzo per tutto lo spessore del copriferro;

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	167 di 224

- distacco del calcestruzzo per tutto lo spessore corrispondente all' ingombro delle armature (somma dei diametri dei due ordini di armature: principali e trasversali);
- spessore medio aggiuntivo che tiene conto del possibile distacco di schegge di calcestruzzo non contrastato dalla presenza delle barre di armatura; tale spessore aggiuntivo può essere valutato mediamente dell' ordine di 1/10 dell' interasse fra le armature principali, La profondità massima non può essere superiore a quella di sezioni non armate ($s \leq 150$ mm).

L'applicazione del criterio presuppone che l'armatura principale abbia un comportamento favorevole, ovvero armatura sufficientemente ripartita ed efficacemente trattenuta da staffe e spillature dirette verso l'interno della sezione. La validità del criterio è riferita ad un intervallo di variabilità dell' interasse fra le armature dell' ordine di $100 \div 250$ mm; per interassi superiori a 200 mm è opportuno incrementare (fino al 50%) il contributo dello spessore medio aggiuntivo.

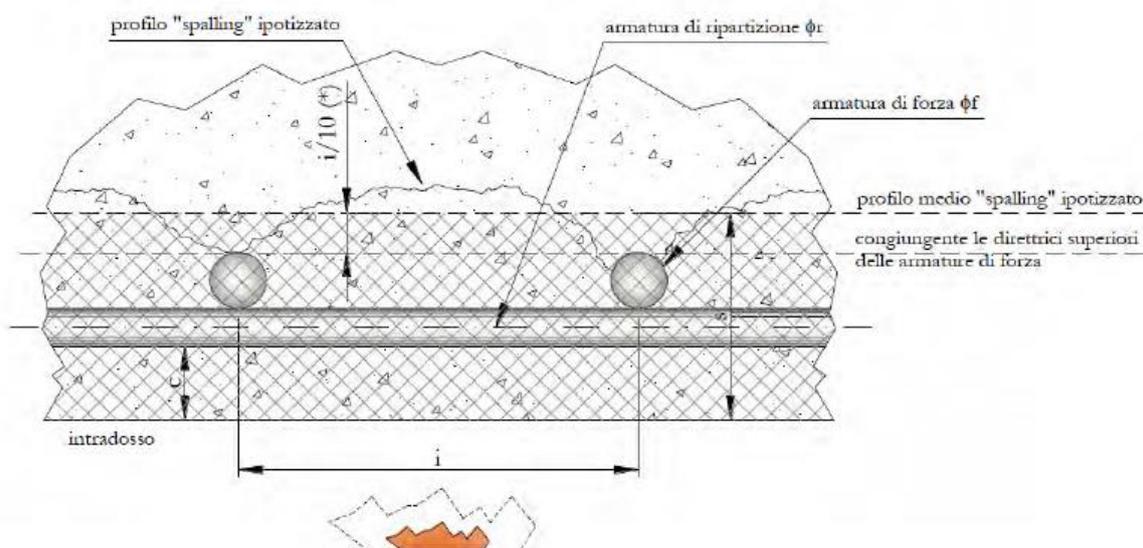


Figura 10-2 – Schema per la valutazione della profondità di 'spalling' per sezioni armate

Essendo presenti diverse tipologie di armature con diametri e interassi variabili, è stato considerato un valore conservativo e uniformato della profondità di spalling pari a 10 cm.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 168 di 224

Proprietà meccaniche

Per quanto riguarda le proprietà meccaniche a caldo dei materiali, si fa riferimento ai paragrafi 3.2.2 e 3.2.3 dell' UNI EN 1992-1-2 (2005). Nelle tabelle e figure sottostanti sono riportati i principali valori dei parametri meccanici del calcestruzzo compresso e dell' acciaio, in funzione della variazione della temperatura del materiale stesso.

Calcestruzzo (aggregati silicei)

Il materiale utilizzato è il SILCON_ETC, un modello costitutivo uniassiale in grado di determinare ed esplicitare la componente di deformazione viscosa (transient creep) dalle deformazioni meccaniche. La variazione di resistenza a trazione e compressione con la temperatura, così come le proprietà termiche dipendono invece da quanto stabilito in EN1992-1-2.

T [°C]	$f_{c,T}/f_{ck}$	$f_{t,T}/f_{tk}$	$\epsilon_{ps1,ETC}$	$\epsilon_{ps0,ETC}$	$E_{0,ETC}/f_{ck}$	Φ
20	1.00	1.00	0.0025	0.0200	800.0	0
100	1.00	1.00	0.0030	0.0215	666.7	0.00100
200	0.95	0.80	0.0038	0.0233	495.7	0.00175
300	0.85	0.60	0.0050	0.0255	340.0	0.00235
400	0.75	0.40	0.0063	0.0263	236.8	0.00489
500	0.60	0.20	0.0087	0.0262	138.5	0.01056
600	0.45	0	0.0127	0.0227	71.1	0.02741
700	0.30		0.0133	0.0258	45.0	0.03889
800	0.15		0.0140	0.0290	21.4	0.07333
900	0.08		0.0150	0.0325	10.7	0.12500
1000	0.04		0.0150	0.0350	5.3	0.25000
1100	0.01		0.0150	0.0375	1.3	1.00000
1200	0		-	-	-	-

Figura 10-3 – evoluzione delle proprietà del materiale con la temperatura

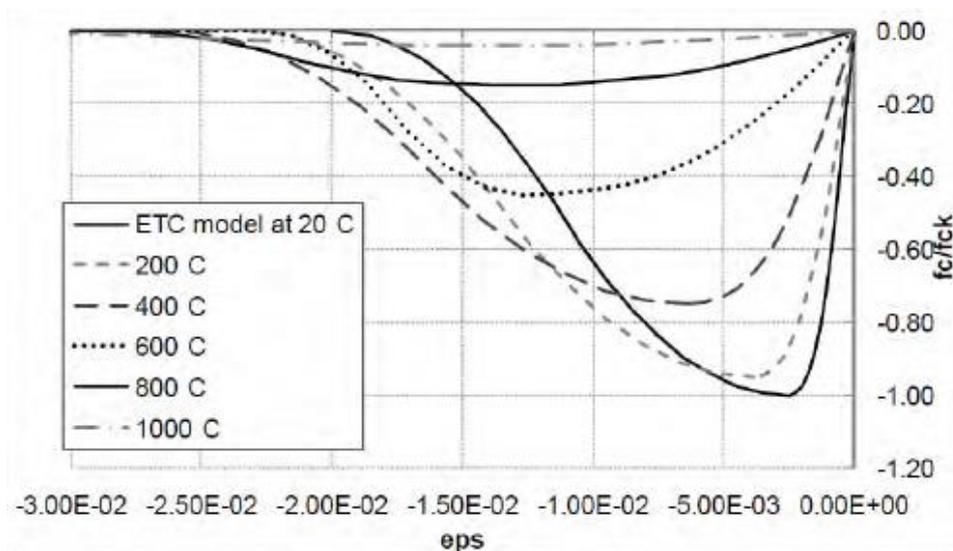


Figura 10-4 – Modello costitutivo per il calcestruzzo in funzione della temperatura

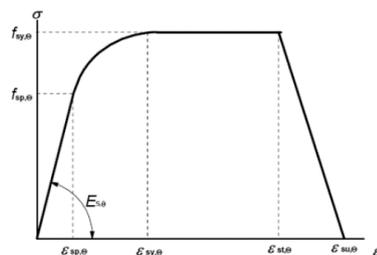
APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 169 di 224

Acciaio per armatura

La variazione delle caratteristiche meccaniche dell' acciaio in funzione della temperatura dipendono dal tipo di acciaio e dal tipo di lavorazione. Facendo riferimento al paragrafo 3.2.3 dell' EN 1992-1-2 e considerando un acciaio di tipo N laminato a caldo, nella figura seguente è illustrato il legame costitutivo del materiale mentre i rapporti riduttivi del modulo di elasticità, del limite di proporzionalità e della resistenza massima sono presentati in Figura 10-5:

Steel Temperature θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	hot rolled	cold worked	hot rolled	cold worked	hot rolled	cold worked
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 10-5 – Rapporti riduttivi del modulo di elasticità



Range	Stress $\sigma(\theta)$	Tangent modulus
$\varepsilon \leq \varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0.5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sp,\theta} - \varepsilon)}{a[\frac{a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sp,\theta})^2}{a^2}]^{0.5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta}) / (\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	0,00	-
Parameter *)	$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ $\varepsilon_{sy,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{st,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,20$ Class A reinforcement: $\varepsilon_{st,\theta} = 0,05$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,10$	
Functions	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

Figura 10-6 – Legame costitutivo dell'acciaio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 170 di 224

CRITERI DI CALCOLO

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle NTC.

Per la verifica delle azioni eccezionali, si applica la sola “Combinazione eccezionale”

Ai fini delle verifiche degli stati limiti ultimi per condizioni eccezionali di carico, si definisce la seguente combinazione delle azioni:

Combinazione eccezionale:

$$G1+G2 + Ad + \sum i \psi 2i \cdot Qki$$

- Con Ad azione eccezionale di progetto indotta dall'incendio di progetto.

I carichi statici applicati alle sezioni risultano:

- Peso proprio strutture
- Carichi permanenti portati (Spinta del terreno)

Nel caso delle verifiche in caso di incendio, trattandosi di uno stato limite ultimo della struttura, non vengono prese in considerazione combinazioni agli SLE.

A seguire si riportano i principali parametri geotecnici caratteristici utilizzati nella verifica dello stato limite eccezionale d'incendio:

Sezione	E [MPa]	v [-]	K ₀ [-]	γ [kN/m ³]
A0bis	5'000	0,3	0,9	27
B1	1'000	0,3	0,9	27

Figura 10-7– Parametri geotecnici

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 171 di 224

GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

A seguire si riporta, con riferimento ad ogni sezione analizzata, una vista del rivestimento definitivo discretizzato in relazione agli spessori impiegati nella definizione del modello meccanico e termico del problema.

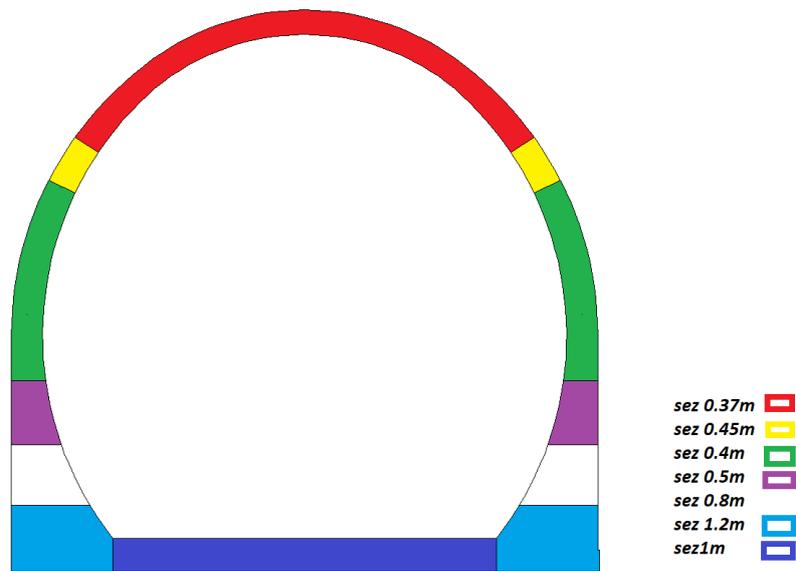


Figura 10-8 – Sezione A0L

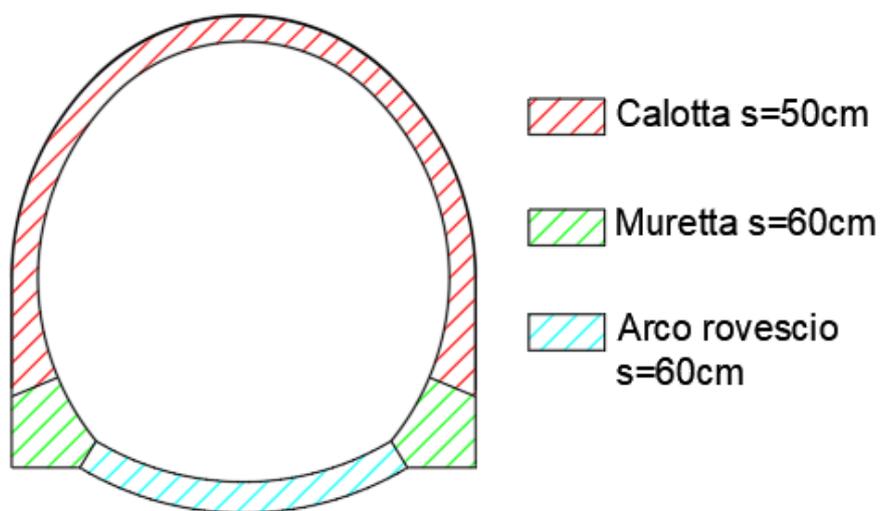


Figura 10-9 – Sezione A0bis

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 172 di 224

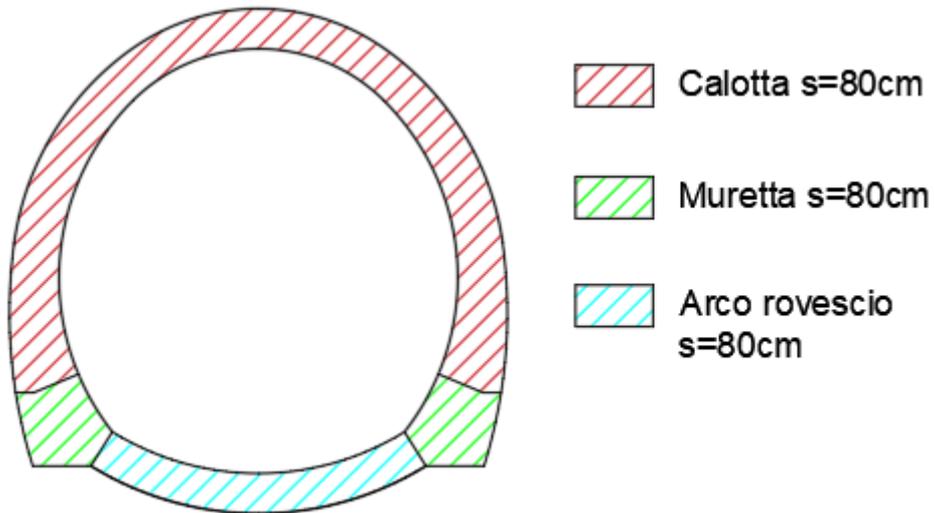


Figura 10-10 – Sezione B1

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				
<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 173 di 224

MODELLAZIONE STRUTTURALE

La geometria definita degli elementi beam è la medesima utilizzata nella relazione di calcolo strutturale.

Per il calcolo termico delle sezioni e delle loro proprietà meccaniche all'i-esimo istante t_i , anche le sezioni in calcestruzzo armato sono state modellate attraverso elementi finiti piani.

Nelle verifiche in presenza di spalling la sezione è stata ridotta di 10 cm in prossimità del lembo esposto ad incendio. È importante sottolineare che il programma calcola ad ogni step di analisi nel tempo la variazione delle proprietà meccaniche e di resistenza delle sezioni. Individuando conseguentemente in maniera automatica la formazione di un'eventuale cerniera plastica sulla base delle effettive condizioni all'istante i-esimo della sezione. La convergenza della soluzione fino all'ultimo istante considerato (in questo caso 120min) è garanzia della resistenza del concio sottoposto all'incendio di progetto.

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 174 di 224

Modello strutturale

Sezione A0bis:

A seguire si riporta una vista della linea baricentrica della galleria.

Per la sezione tipologica della galleria sono state modellate 3 sezioni in calcestruzzo armato associate agli elementi beam componenti il modello. Nello specifico, è stata modellata la sezione in arco rovescio, calotta e piedritto.

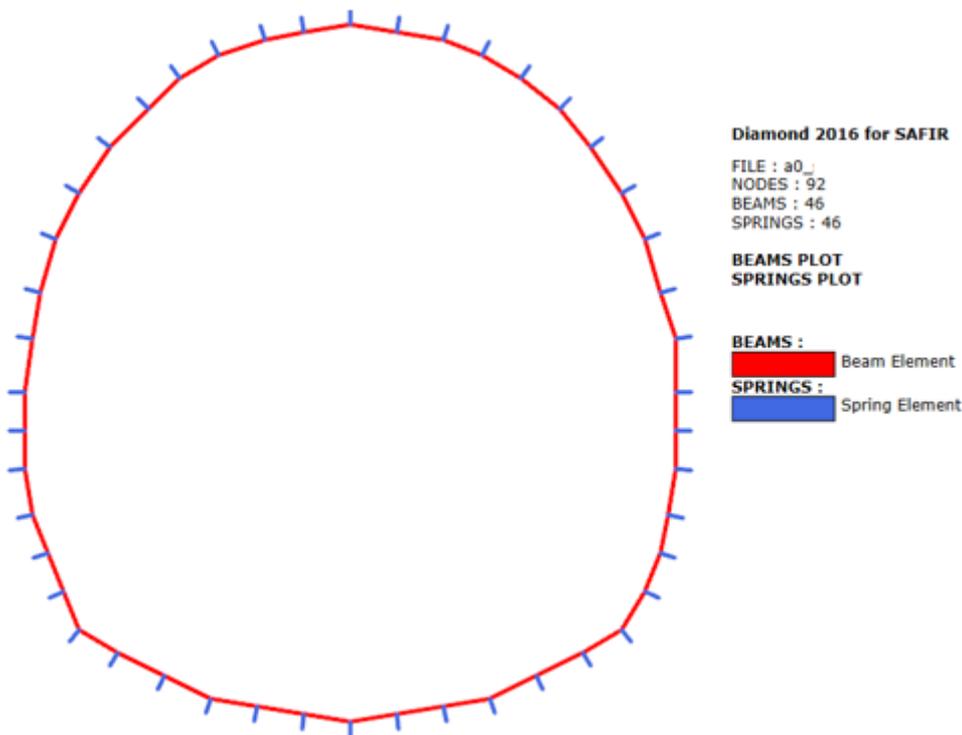


Figura 10-11 – Sezione A0 rappresentata tramite elementi 'beam'

Si evidenzia come la sezione dell'arco rovescio (e parte delle murette) non sia soggetto a riscaldamento: il ricoprimento generato dall'armamento, dal ballast e dal marciapiede impedisce il raggiungimento di temperature tali per cui avvengano sensibili deformazioni nel materiale o riduzione delle proprietà meccaniche.

L'interazione col terreno circostante è stata simulata a mezzo di molle elastico-lineari reagenti solo a compressione di rigidità variabile a seconda del raggio R dei diversi archi di circonferenza costituenti la sezione trasversale, trattandosi di una galleria policentrica.

A seguire si riporta la formulazione adoperata ed i valori impiegati nell'analisi:

$$k = \frac{a \cdot E}{[(1 + \nu) \cdot R]}$$

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 175 di 224

			K	A
			[N/m]	[m]
AR	ELEM	1	7,43E+08	0,58425
	ELEM	2	6,69E+08	0,6207
	ELEM	3	6,69E+08	0,6207
	ELEM	4	6,69E+08	0,6207
	ELEM	5	6,69E+08	0,6207
	ELEM	6	6,69E+08	0,6207
	ELEM	7	6,69E+08	0,6207
	ELEM	8	6,69E+08	0,6207
	ELEM	9	6,69E+08	0,6207
	ELEM	10	6,69E+08	0,6207
	ELEM	11	6,69E+08	0,6207
	ELEM	12	6,69E+08	0,6207
	ELEM	13	7,43E+08	0,58425
MURETT_DX	ELEM	14	8,35E+08	0,5478
	ELEM	15	8,35E+08	0,5478
	ELEM	16	8,35E+08	0,5478
	ELEM	17	6,10E+08	0,52895
CAL	ELEM	18	4,80E+08	0,5101
	ELEM	19	5,80E+08	0,59945
	ELEM	20	7,33E+08	0,6888
	ELEM	21	7,33E+08	0,6888
	ELEM	22	7,33E+08	0,6888
	ELEM	23	7,33E+08	0,6888
	ELEM	24	7,33E+08	0,6888
	ELEM	25	8,55E+08	0,64045
	ELEM	26	1,03E+09	0,5921
	ELEM	27	1,03E+09	0,5921
	ELEM	28	1,03E+09	0,5921
	ELEM	29	1,03E+09	0,5921
	ELEM	30	1,03E+09	0,5921
	ELEM	31	1,03E+09	0,5921
	ELEM	32	1,03E+09	0,5921
	ELEM	33	1,03E+09	0,5921
	ELEM	34	1,03E+09	0,5921
	ELEM	35	8,55E+08	0,64045
	ELEM	36	7,33E+08	0,6888
	ELEM	37	7,33E+08	0,6888
ELEM	38	7,33E+08	0,6888	
ELEM	39	7,33E+08	0,6888	
ELEM	40	7,33E+08	0,6888	
ELEM	41	5,80E+08	0,59945	
ELEM	42	4,80E+08	0,5101	
murett_SX	ELEM	43	6,10E+08	0,52895
	ELEM	44	8,35E+08	0,5478
	ELEM	45	8,35E+08	0,5478
	ELEM	46	8,35E+08	0,5478

Figura 10-12 – Rigidezza molle

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 176 di 224

Sezione B1:

A seguire si riporta una vista della linea baricentrica della galleria.

Per la sezione tipologica della galleria sono state modellate 3 sezioni in calcestruzzo armato associate agli elementi beam componenti il modello. Nello specifico, è stata modellata la sezione in arco rovescio, calotta e piedritto.

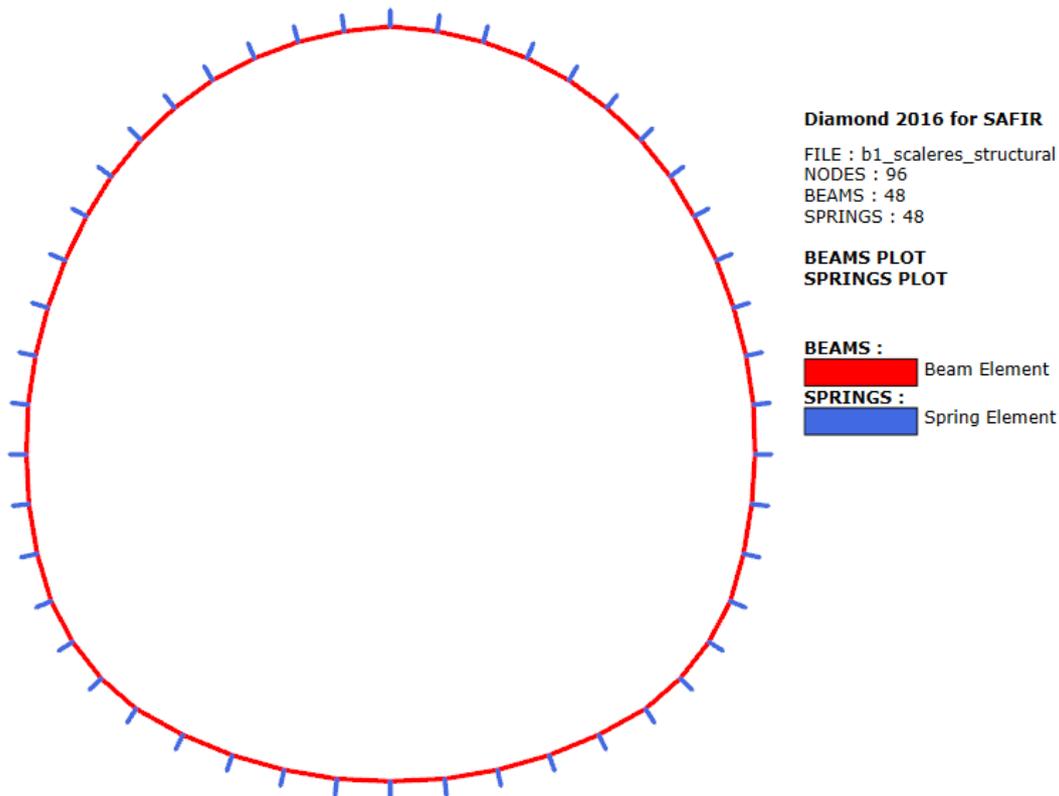


Figura 10-13 – Sezione B1 rappresentata tramite elementi 'beam'

Si evidenzia come la sezione dell'arco rovescio e le murette non siano soggette a riscaldamento: il ricoprimento generato dall'armamento, dal ballast e dal marciapiede impedisce il raggiungimento di temperature tali per cui avvengono sensibili deformazioni nel materiale o riduzione delle proprietà meccaniche.

L'interazione col terreno circostante è stata simulata a mezzo di molle elastico-lineari reagenti solo a compressione di rigidità variabile a seconda del raggio R dei diversi archi di circonferenza costituenti la sezione trasversale, trattandosi di una galleria policentrica.

A seguire si riporta la formulazione adoperata ed i valori impiegati nell'analisi:

$$k = \frac{a \cdot E}{[(1 + \nu) \cdot R]}$$

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 177 di 224

			K	A	
			[N/m]	[m]	
AR	ELEM	1	1,70E+08	0,608	
	ELEM	2	1,31E+08	0,653	
	ELEM	3	1,31E+08	0,653	
	ELEM	4	1,31E+08	0,653	
	ELEM	5	1,31E+08	0,653	
	ELEM	6	1,31E+08	0,653	
	ELEM	7	1,31E+08	0,653	
	ELEM	8	1,31E+08	0,653	
	ELEM	9	1,31E+08	0,653	
	ELEM	10	1,31E+08	0,653	
	ELEM	11	1,70E+08	0,608	
MURETT_DX	ELEM	12	2,40E+08	0,5635	
	ELEM	13	2,40E+08	0,5635	
	ELEM	14	1,68E+08	0,587	
CAL	ELEM	15	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	16	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	17	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	18	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	19	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	20	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	21	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	22	1,50E+08	0,59155	
	ELEM	23	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	24	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	25	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	26	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	27	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	28	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	29	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	30	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	31	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	32	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	33	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	34	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	35	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	36	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	37	1,79E+08	0,5717	
	ELEM	38	1,50E+08	0,592	
	ELEM	39	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	40	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	41	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	42	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	43	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	44	1,30E+08	0,6114	
	ELEM	45	1,30E+08	0,611	
	murett_SX	ELEM	46	1,68E+08	0,587
		ELEM	47	2,40E+08	0,5635
		ELEM	48	2,40E+08	0,564

Figura 10-14 – Rigidezza molle

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 178 di 224

10.1 SEZIONE AOBIS

ANALISI DELLA TEMPERATURA NEL TEMPO

- Calotta

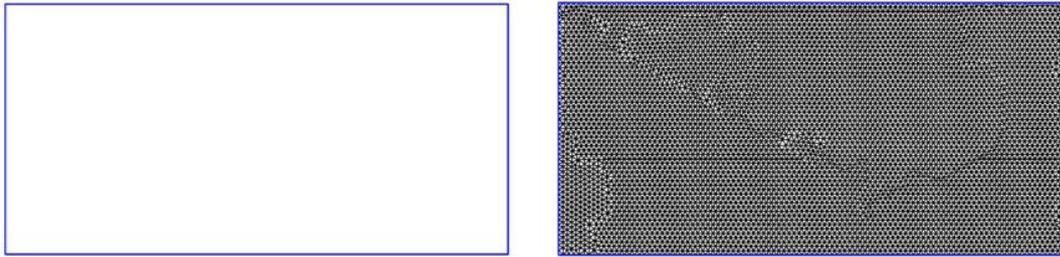


Figura 10-15 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

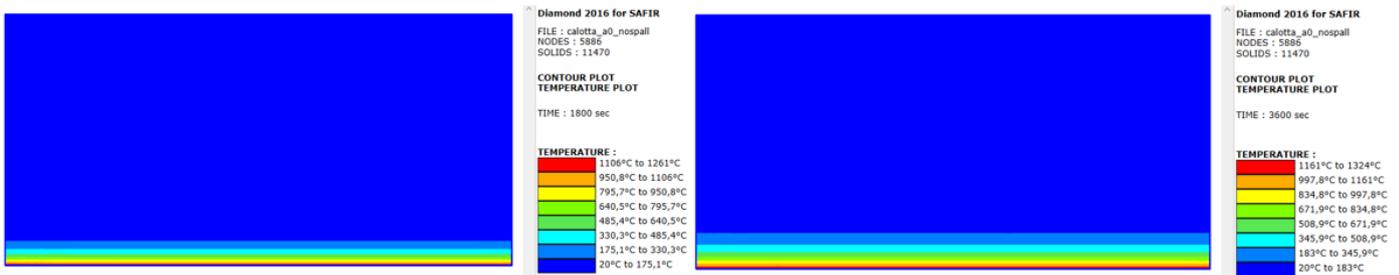


Figura 10-16 – Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

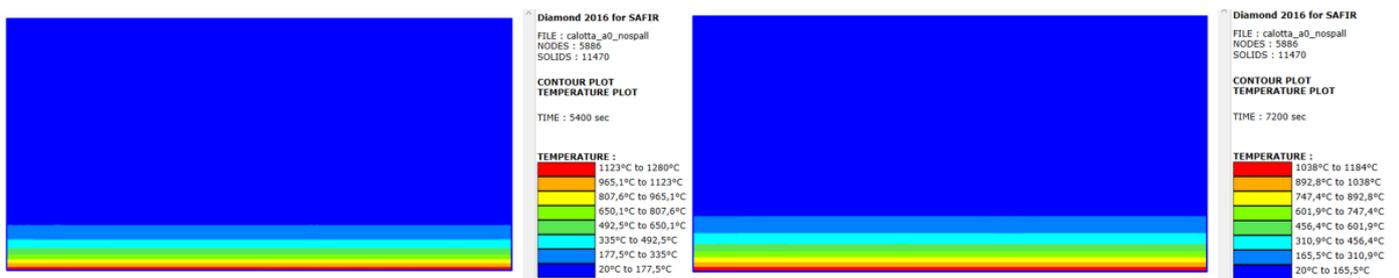


Figura 10-17 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 179 di 224

- Muretta

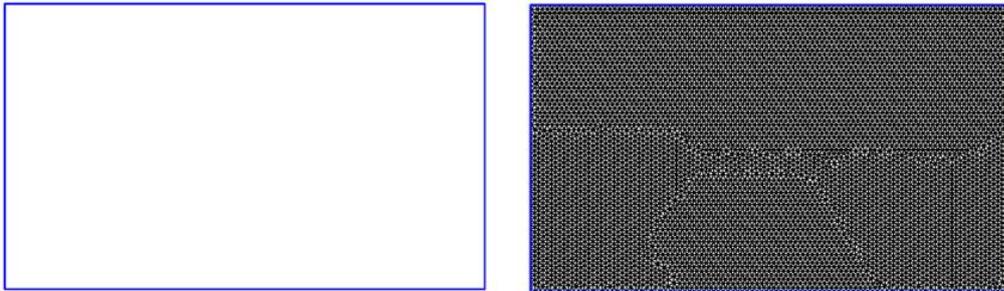


Figura 10-18 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

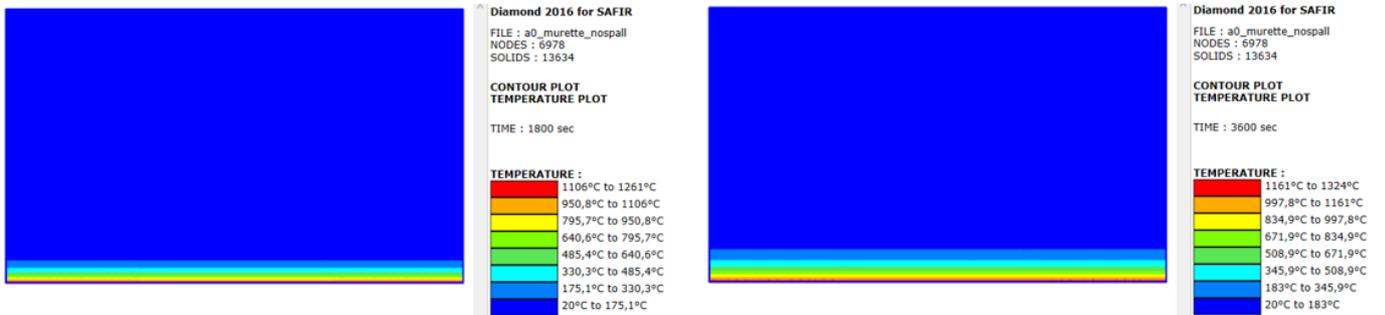


Figura 10-19 – Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

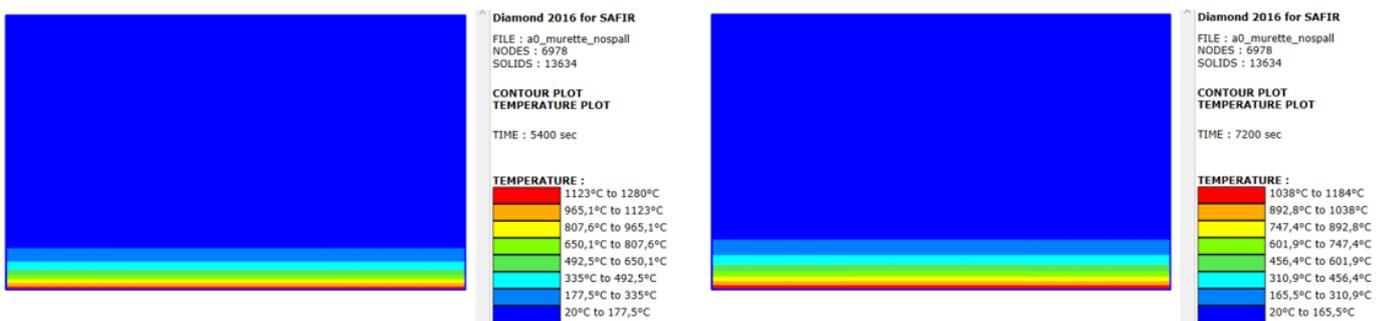


Figura 10-20 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 180 di 224

RISULTATI DELL' ANALISI MECCANICA

Risultati al tempo t = 0

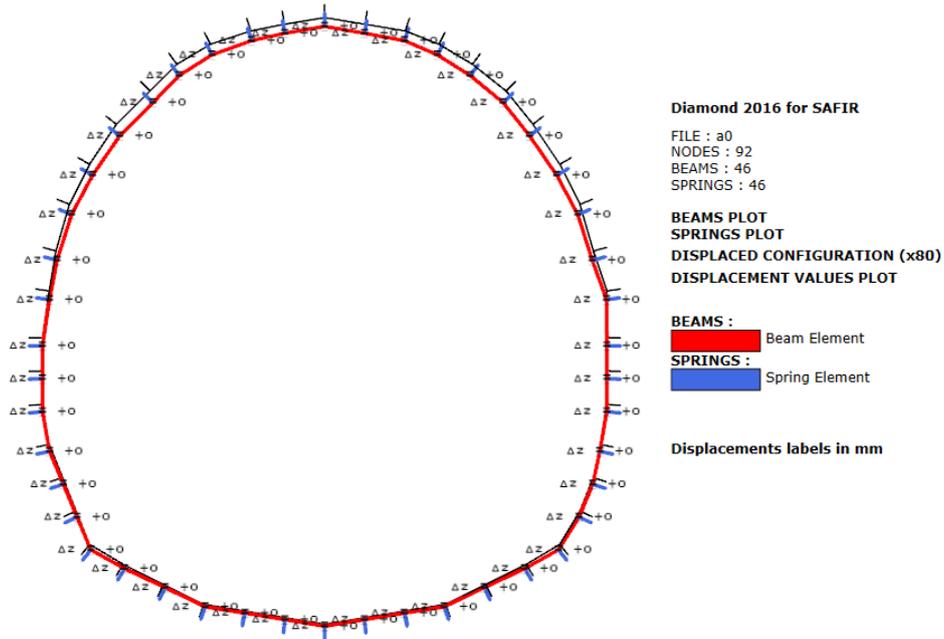


Figura 10-21 – Configurazione deformata

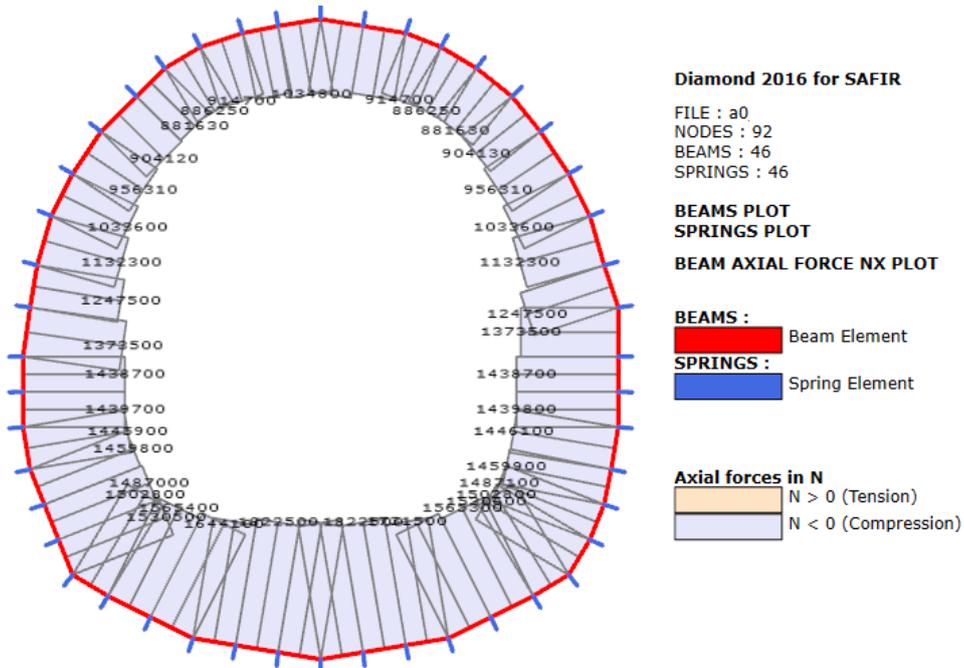


Figura 10-22 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 181 di 224

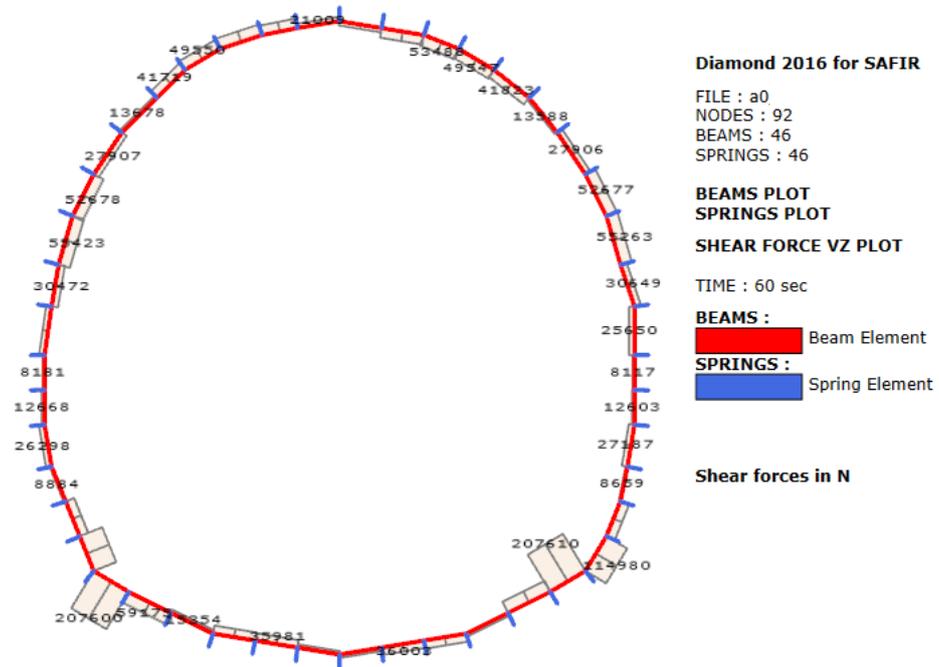


Figura 10-23 – Sforzo di taglio

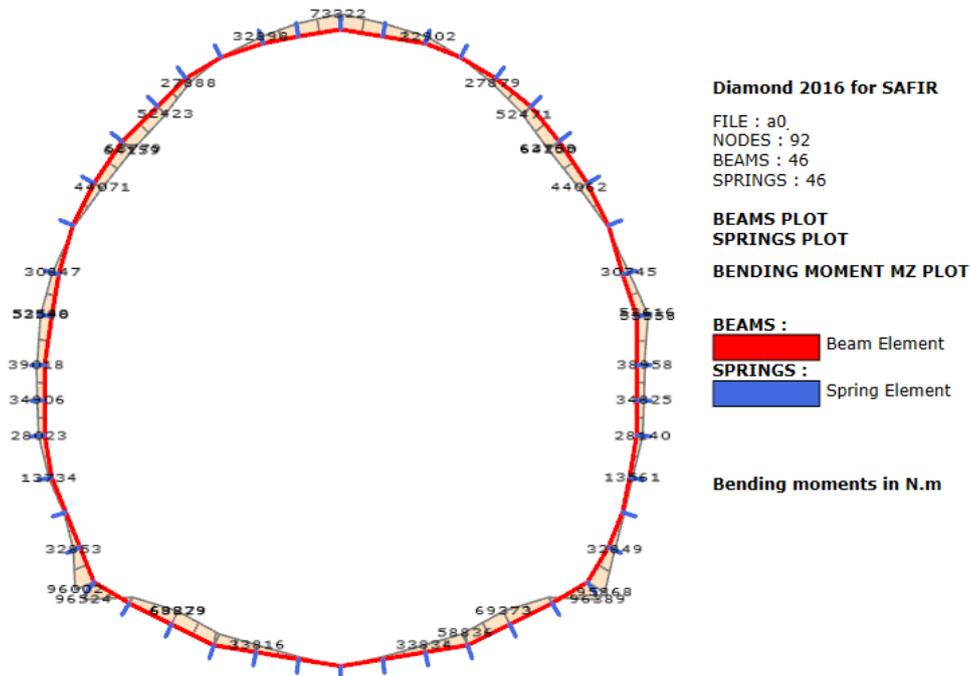


Figura 10-24 – Momento flettente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 182 di 224

Risultati al tempo t = 30 min

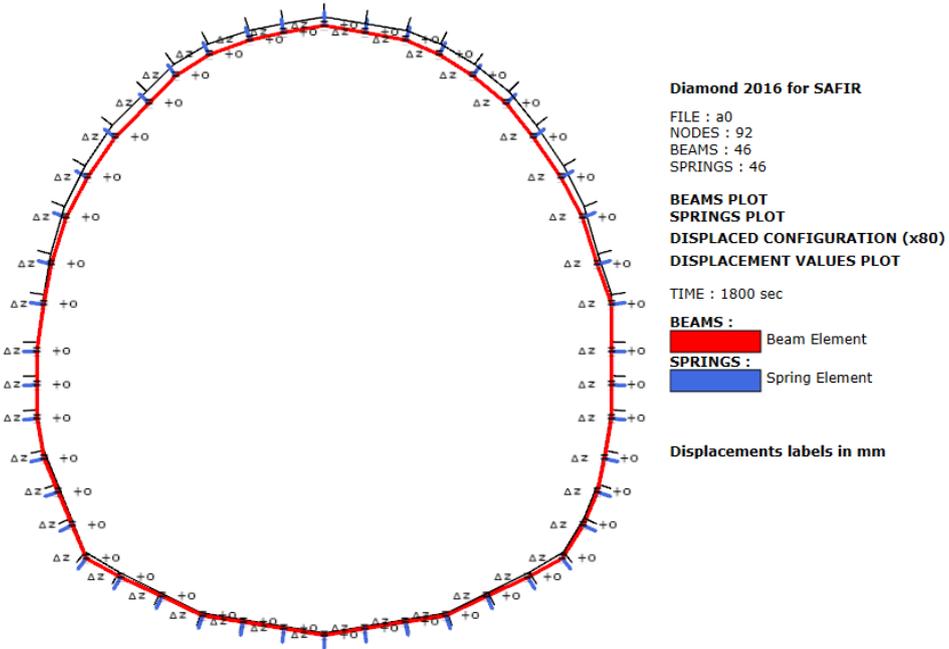


Figura 10-25 – Configurazione deformata

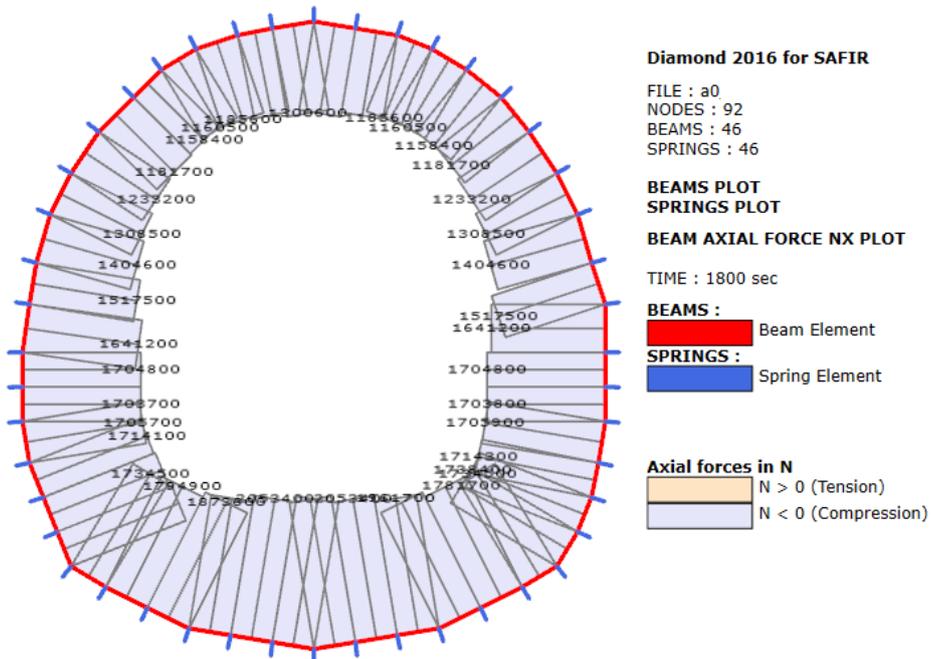


Figura 10-26 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 183 di 224

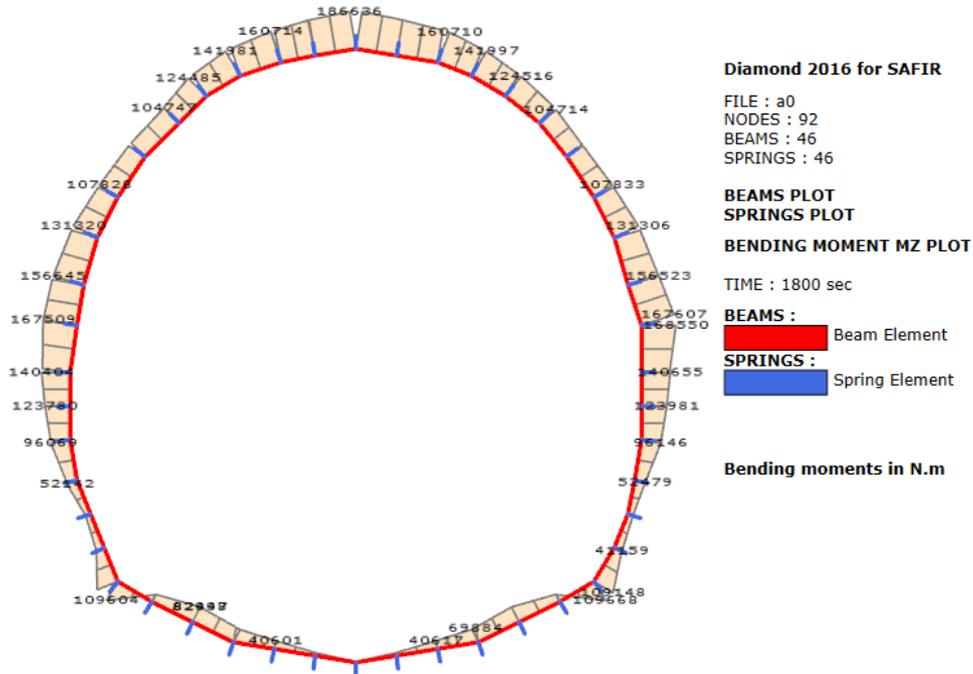


Figura 10-27 – Momento flettente

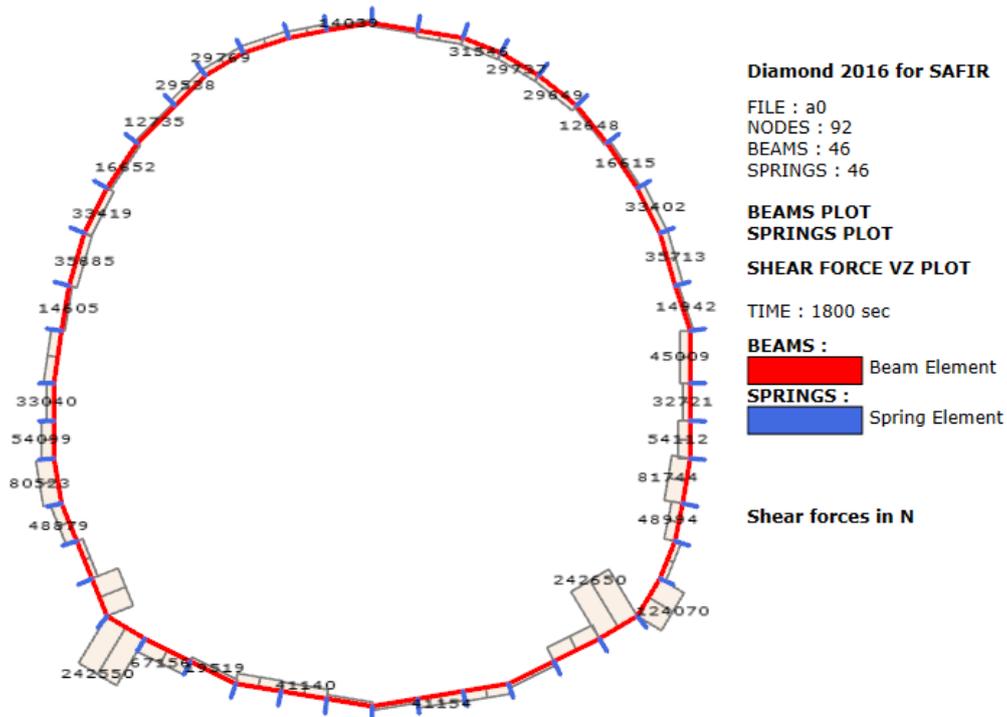


Figura 10-28 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 184 di 224

Risultati al tempo t = 60 min

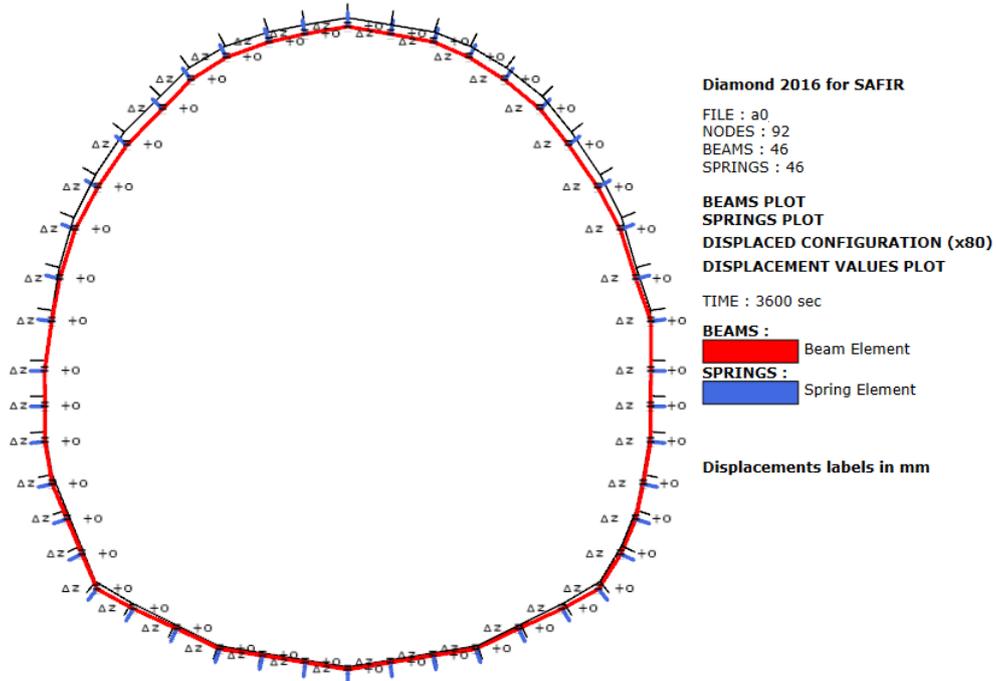


Figura 10-29 – Configurazione deformata

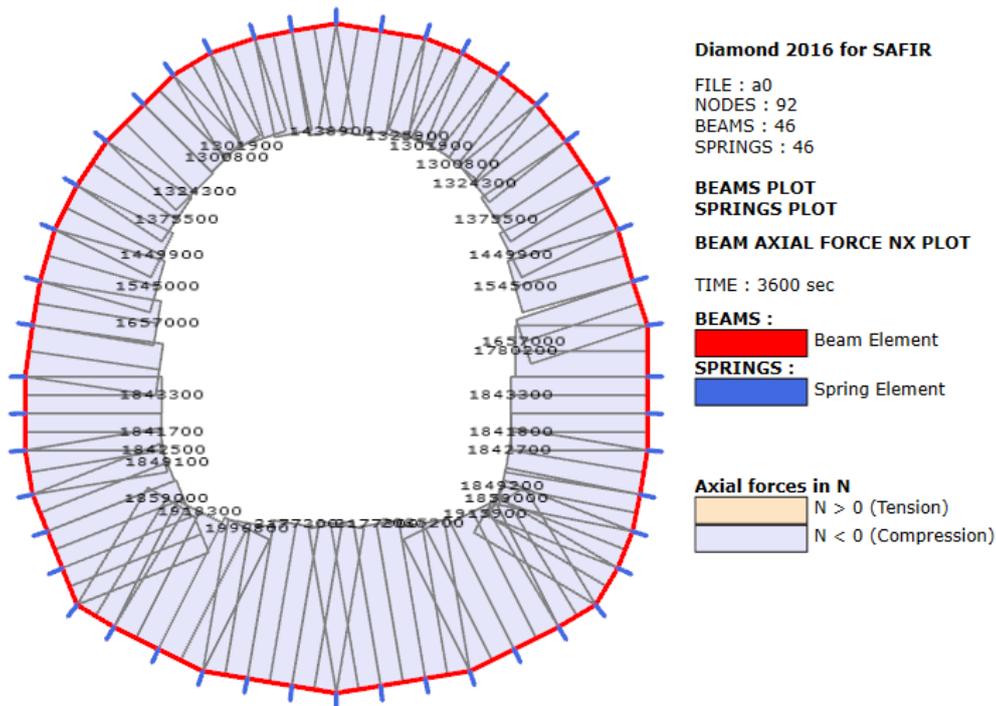


Figura 10-30 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 185 di 224

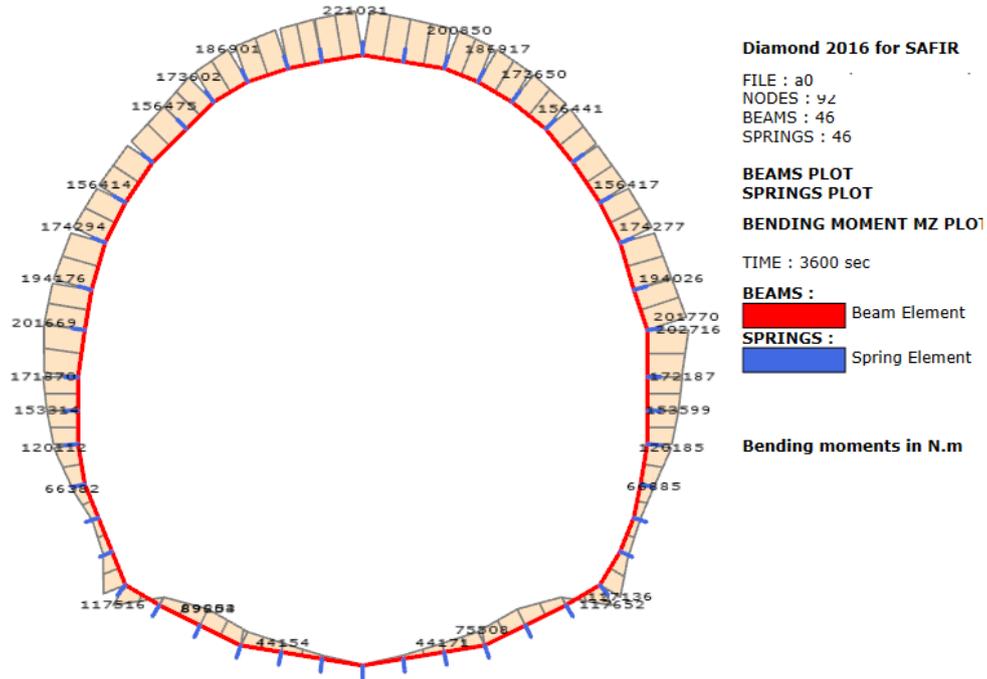


Figura 10-31 – Momento flettente

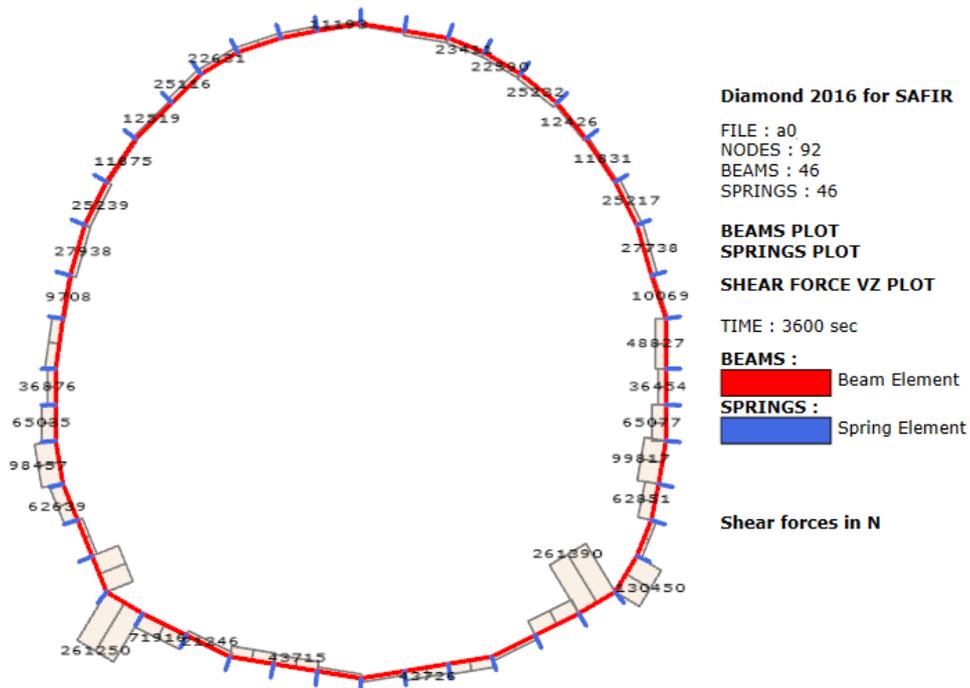


Figura 10-32 – Sforzo di taglio

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				
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 186 di 224

Risultati al tempo t = 90 min

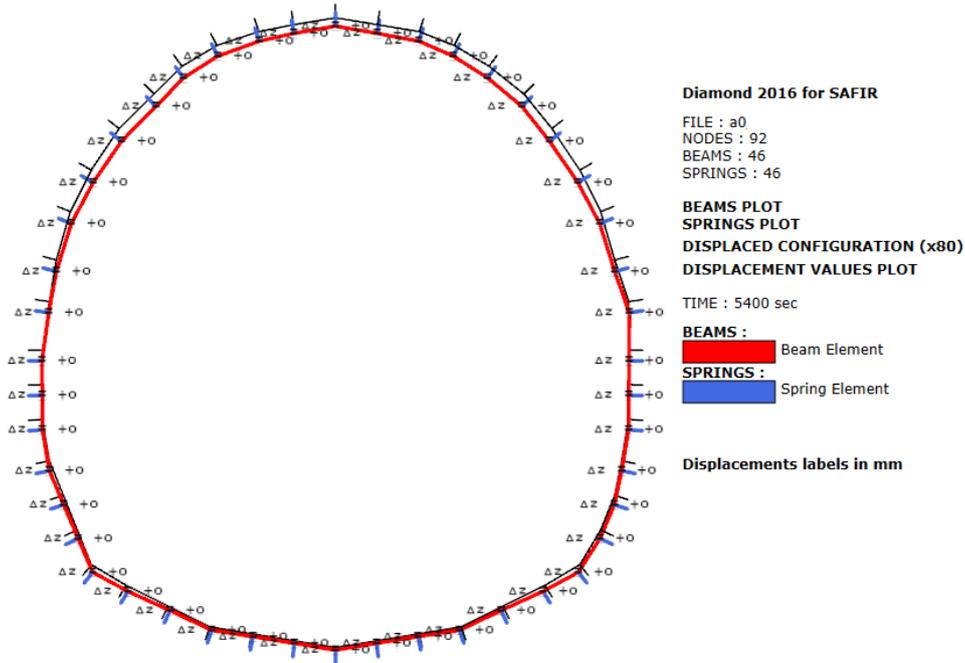


Figura 10-33 – Configurazione deformata

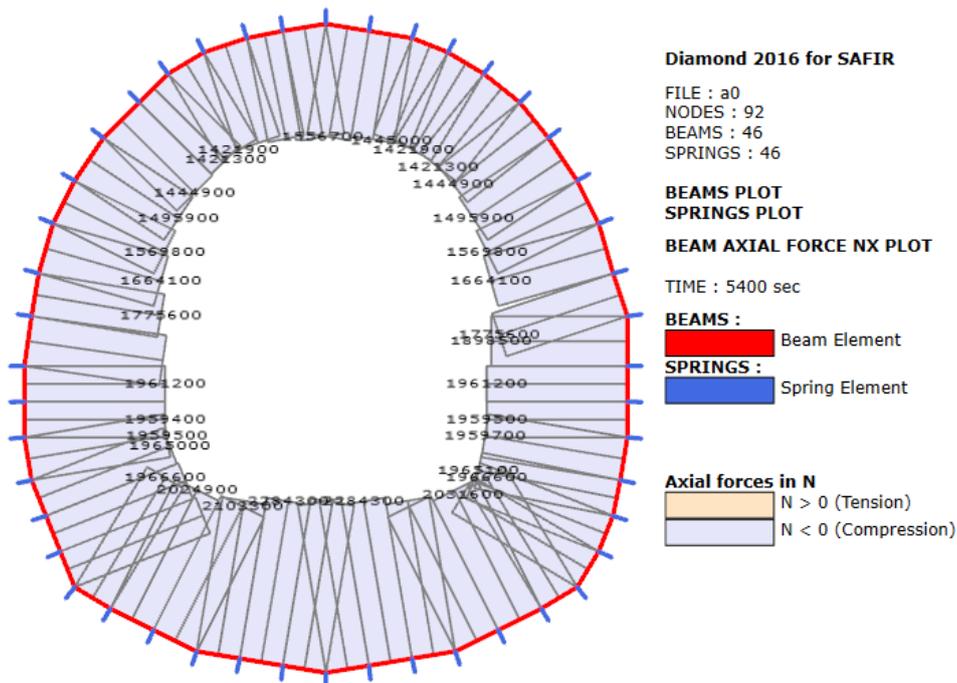


Figura 10-34 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 187 di 224

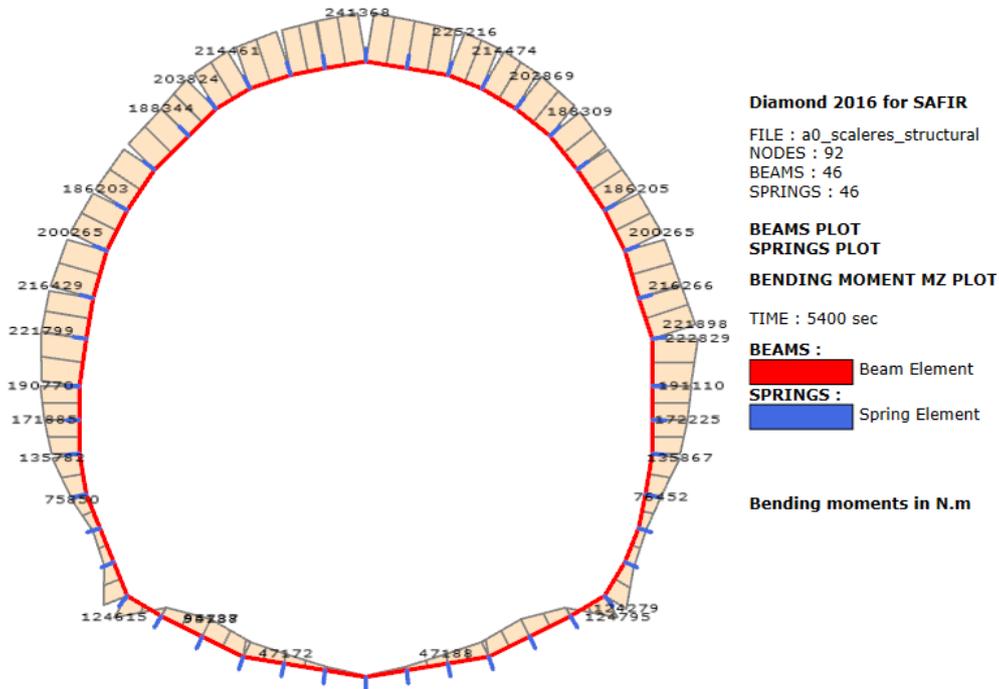


Figura 10-35 – Momento flettente

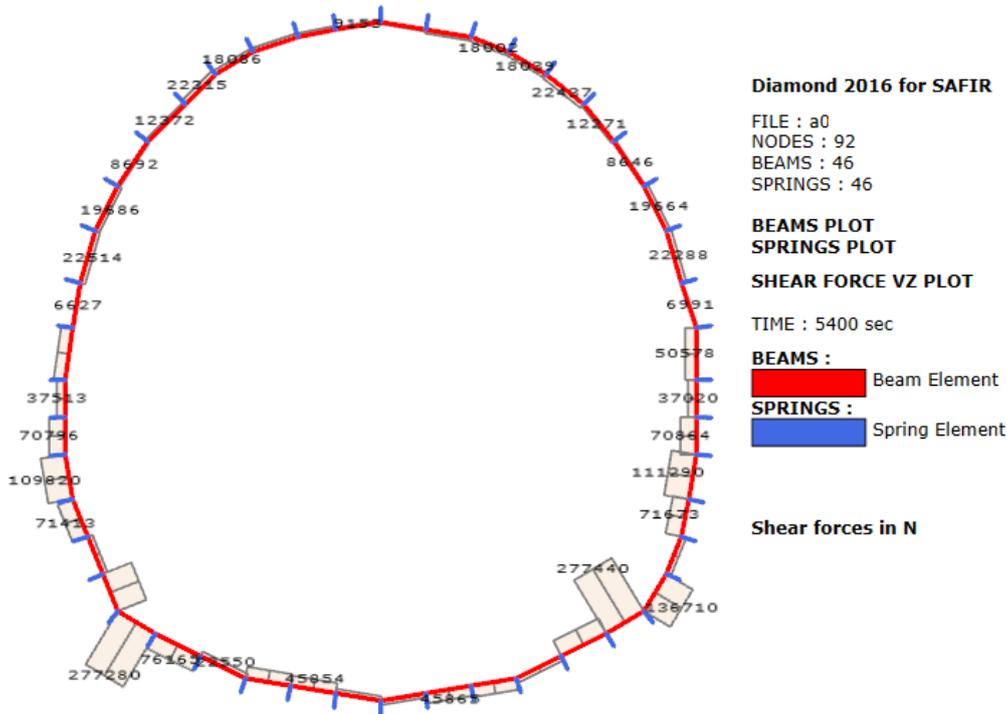


Figura 10-36 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 188 di 224

Risultati al tempo t = 120 min

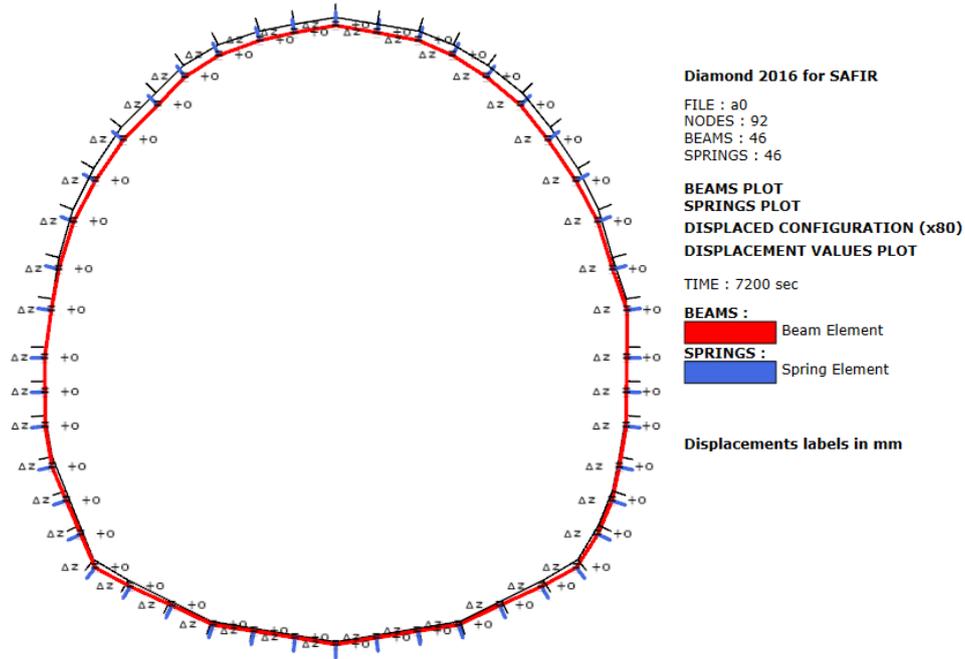


Figura 10-37 – Configurazione deformata

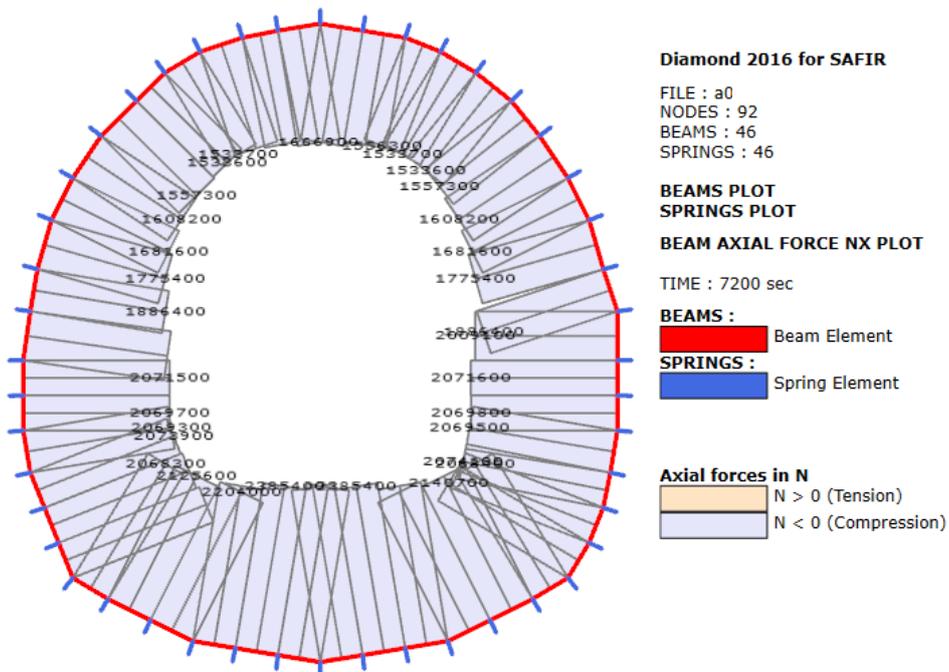


Figura 10-38 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 189 di 224

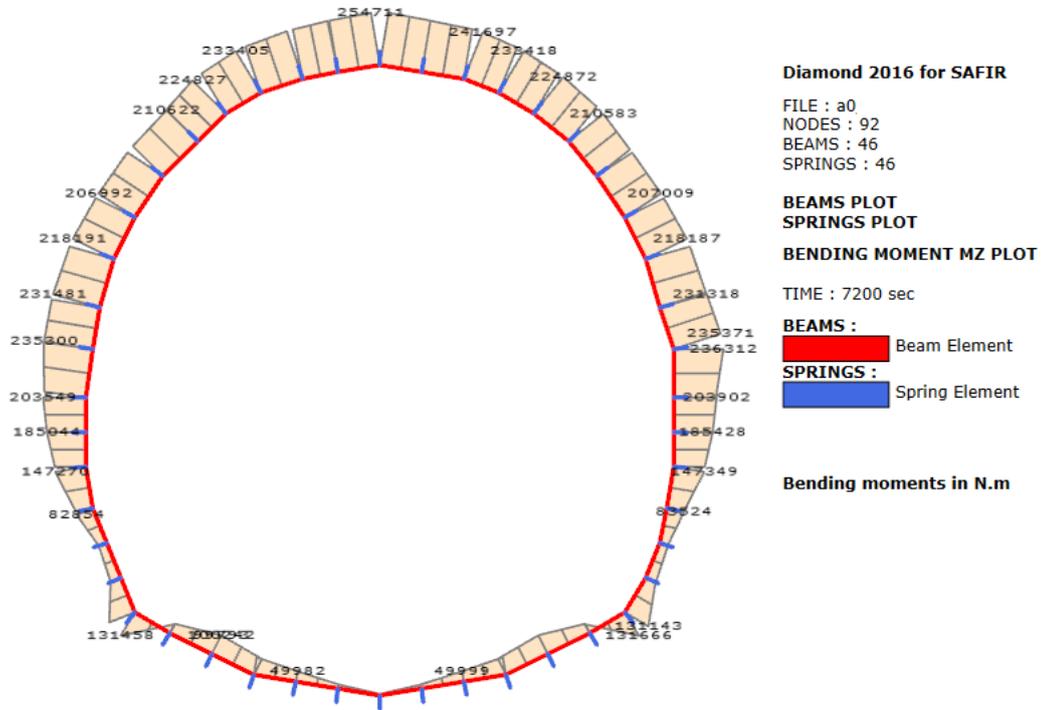


Figura 10-39 – Momento flettente

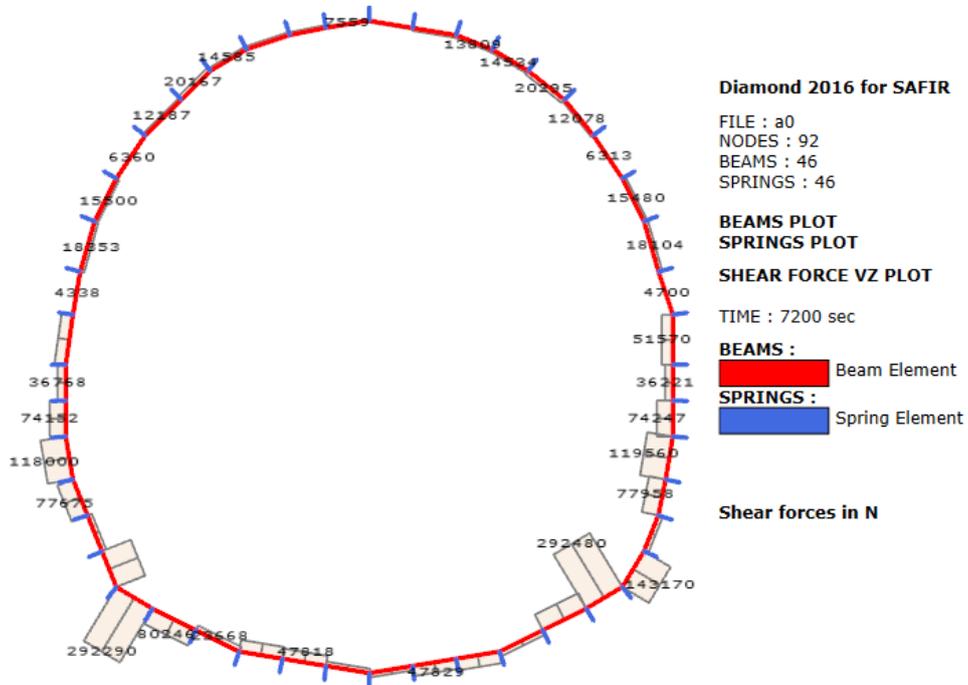


Figura 10-40 – Sforzo di taglio

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	190 di 224

VERIFICA IN PRESENZA DI SPALLING

- Calotta

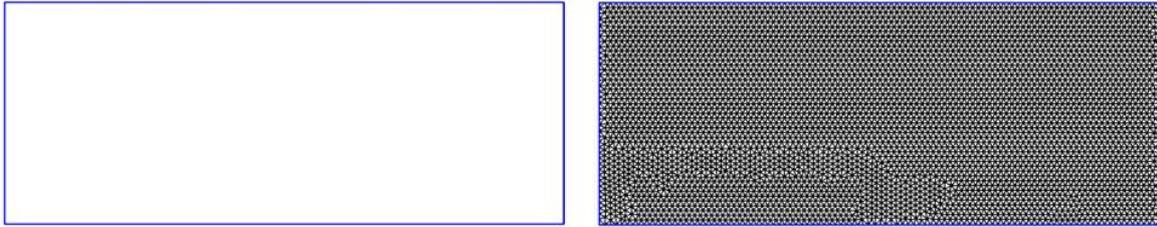


Figura 10-41 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

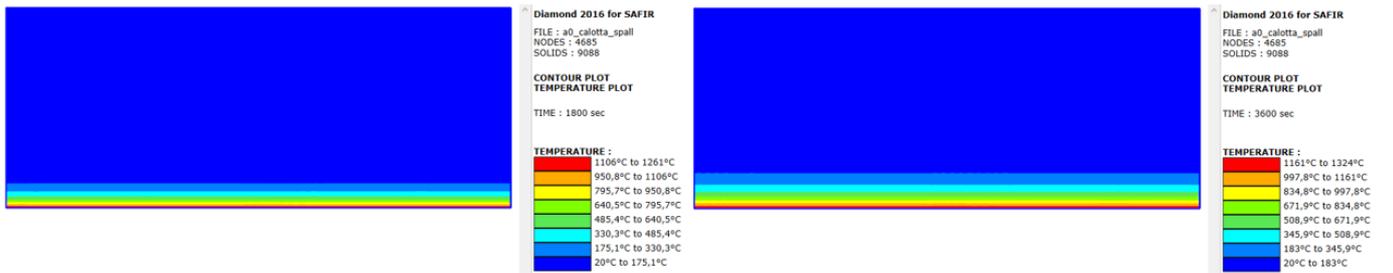


Figura 10-42 – Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

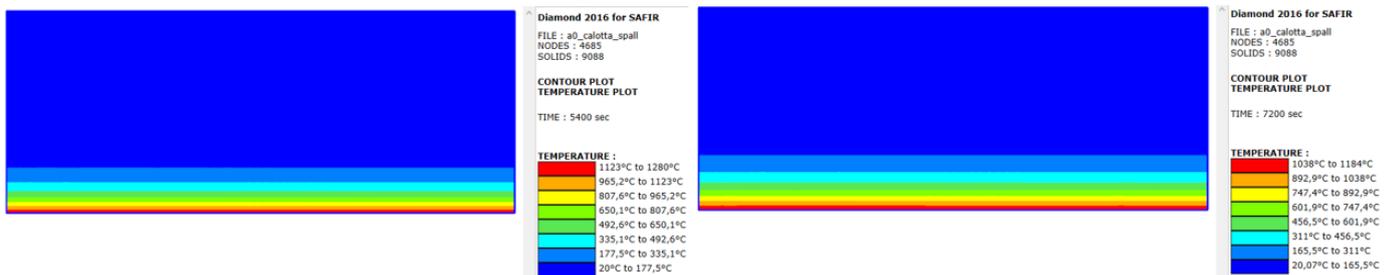


Figura 10-43 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 191 di 224

- Muretta

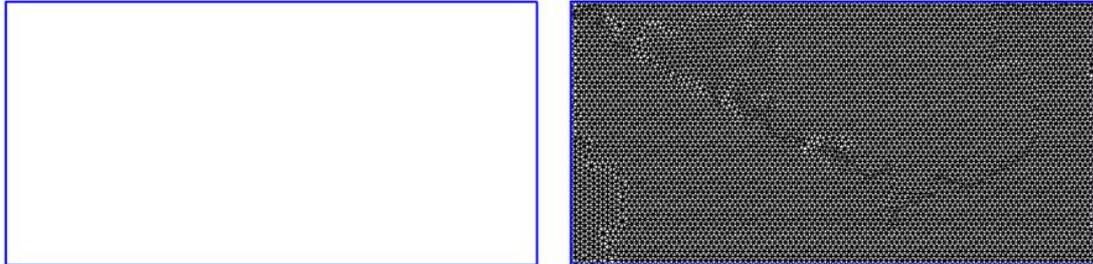


Figura 10-44 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

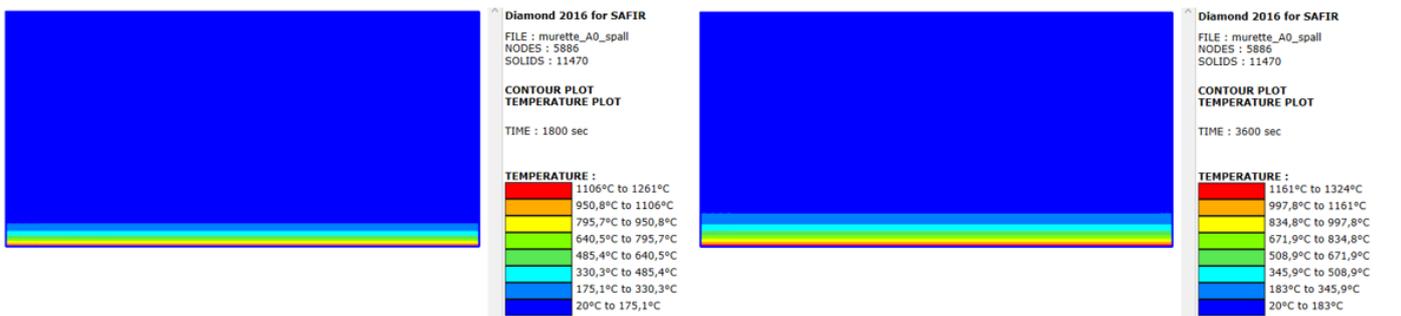


Figura 10-45 – Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

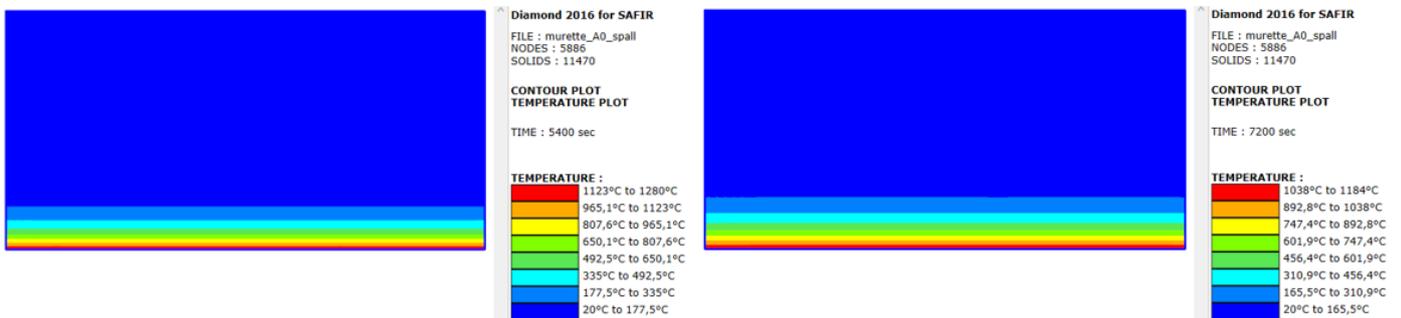


Figura 10-46 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 192 di 224

RISULTATI DELL'ANALISI MECCANICA CON SPALLING

Risultati al tempo t = 30 min

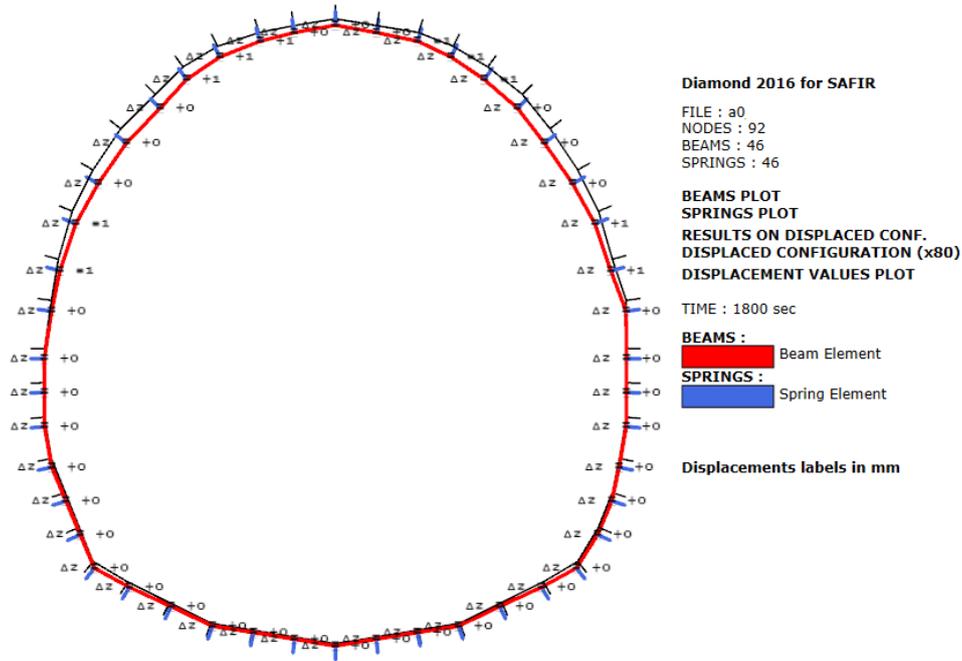


Figura 10-47 – Configurazione deformata

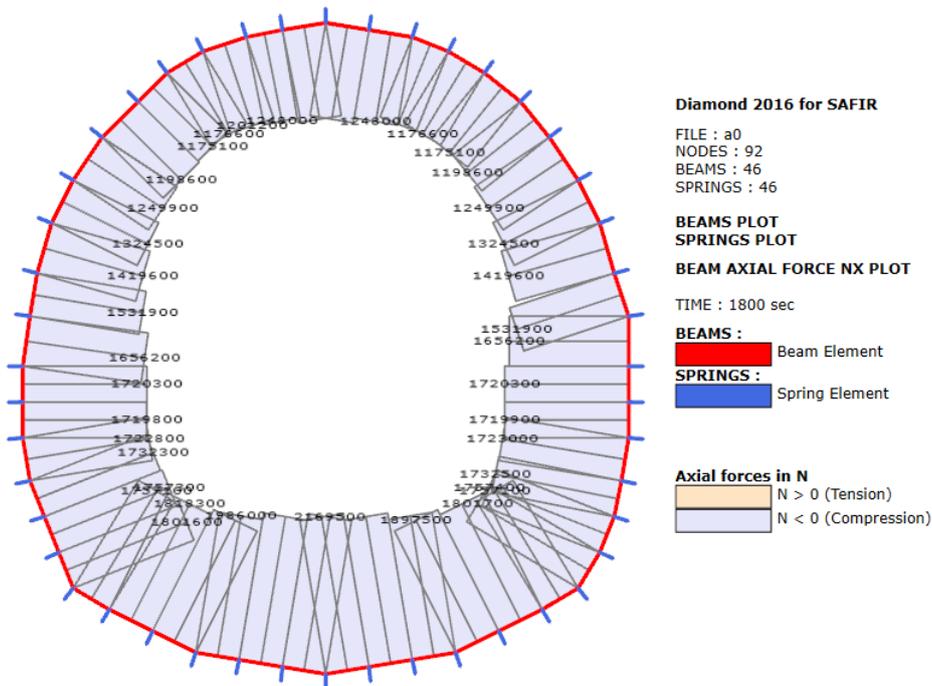


Figura 10-48 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 193 di 224

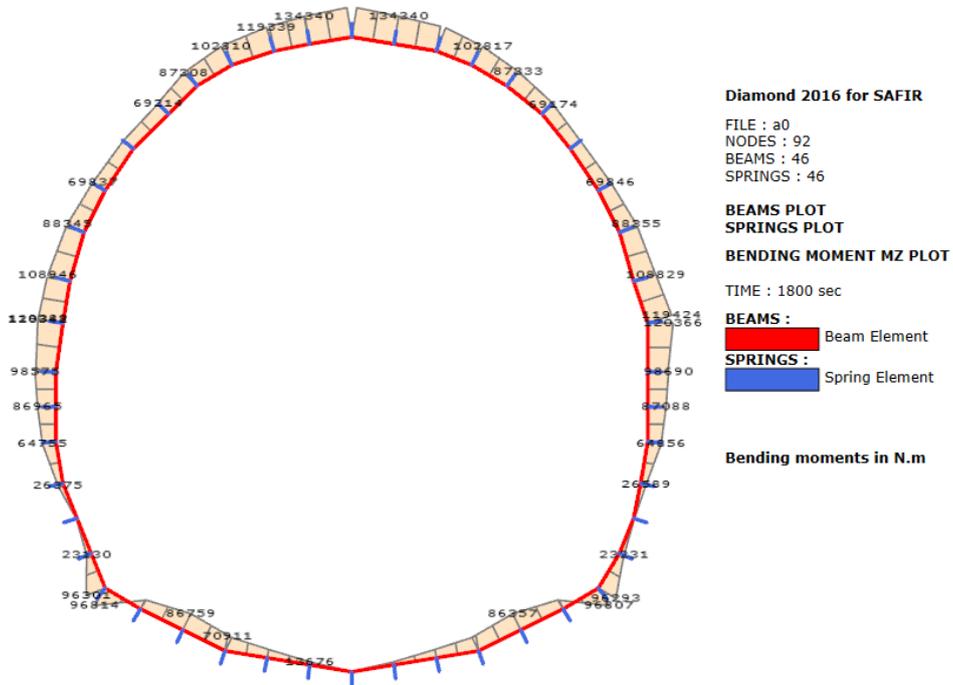


Figura 10-49 – Momento flettente

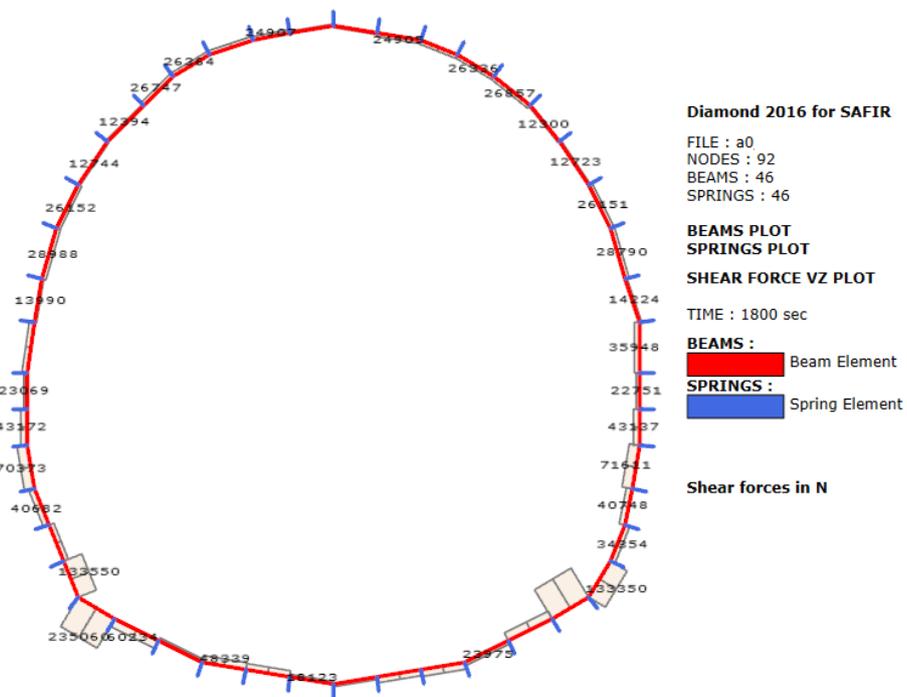


Figura 10-50 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 194 di 224

Risultati al tempo t = 60 min

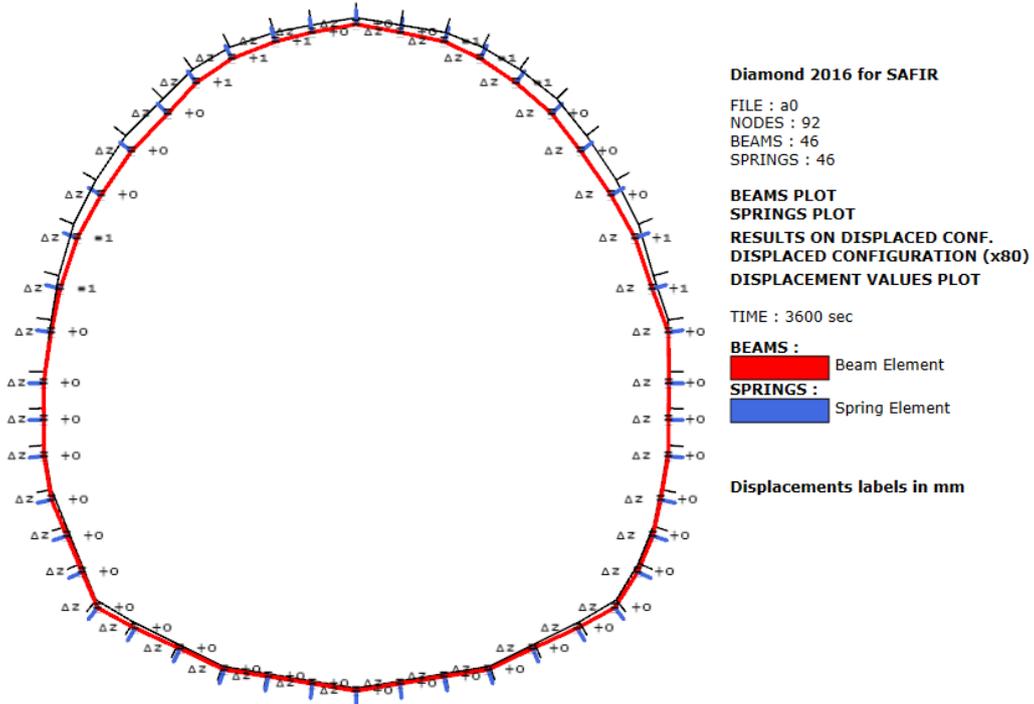


Figura 10-51 – Configurazione deformata

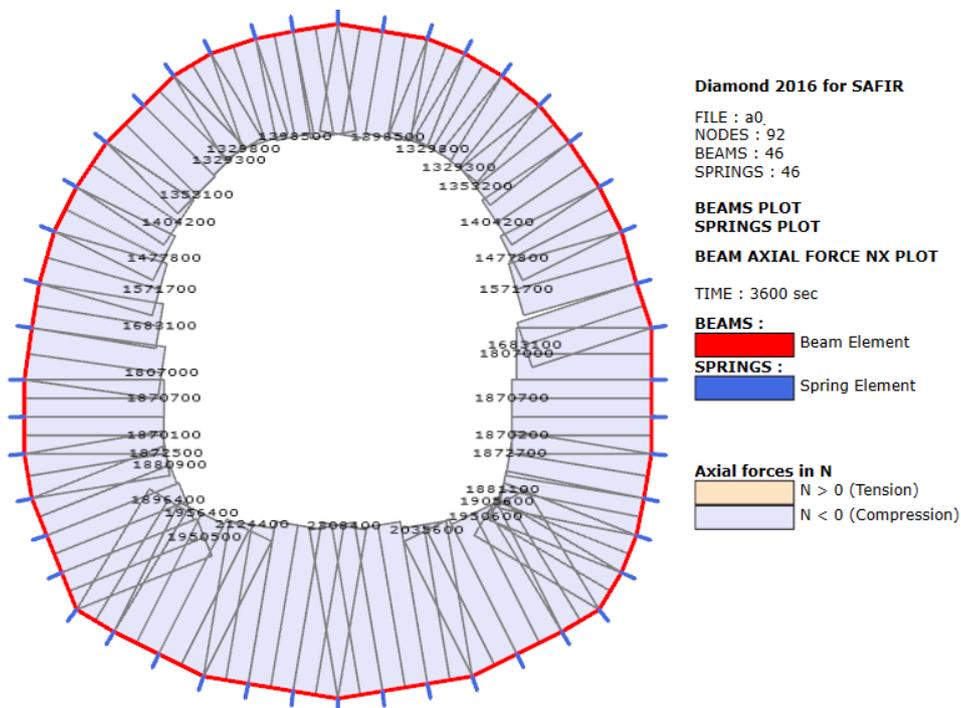


Figura 10-52 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 195 di 224

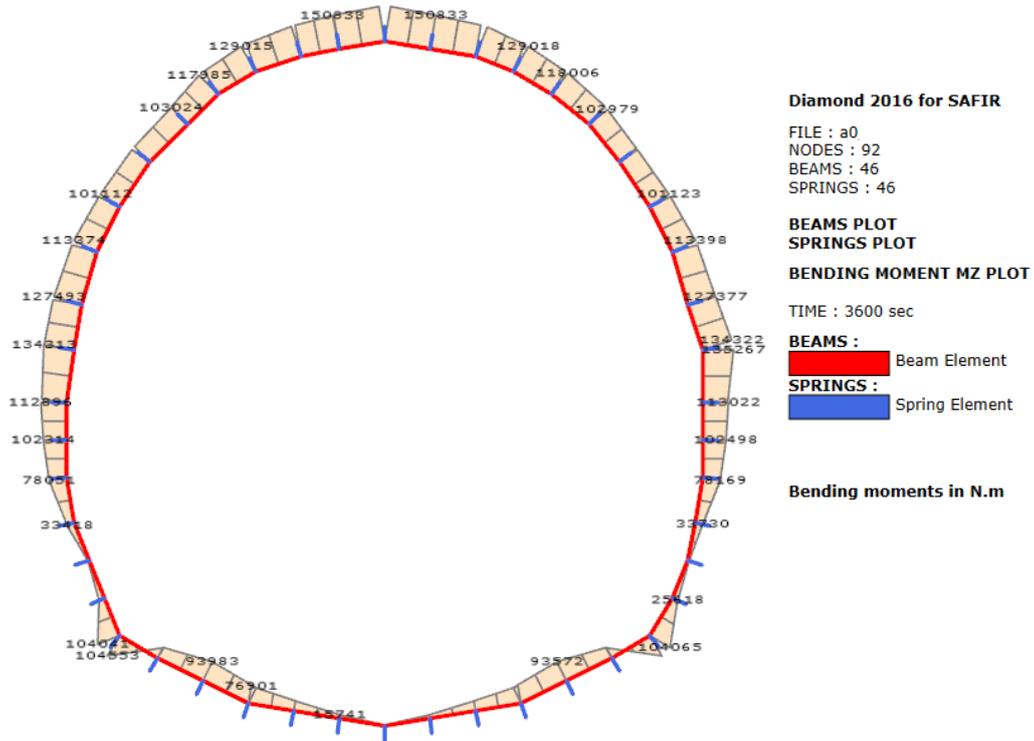


Figura 10-53 – Momento flettente

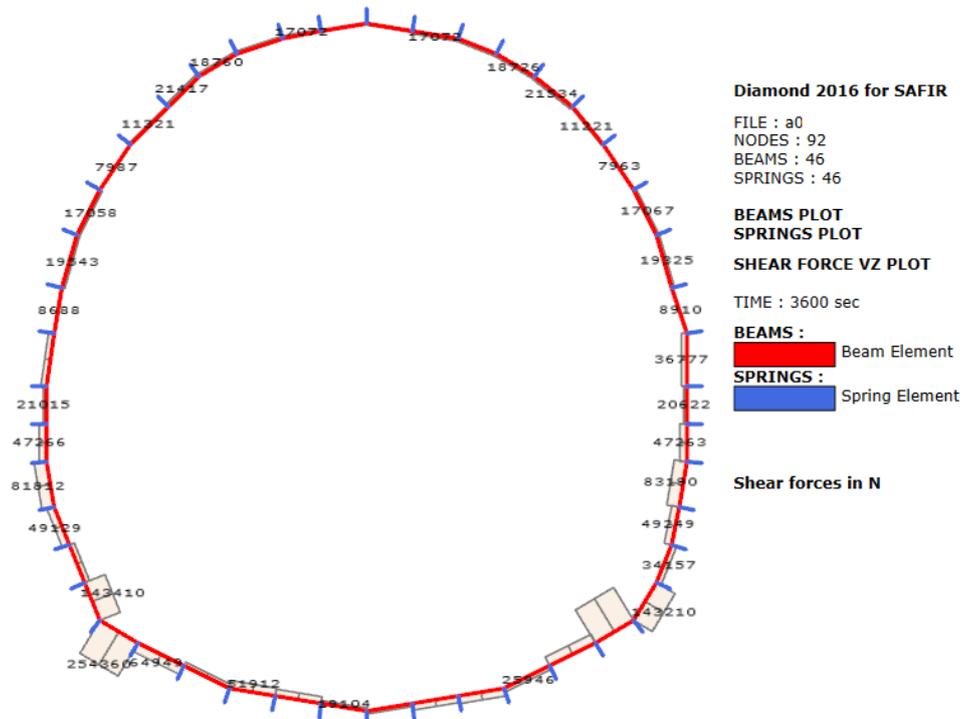


Figura 10-54 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 196 di 224

Risultati al tempo t = 90 min

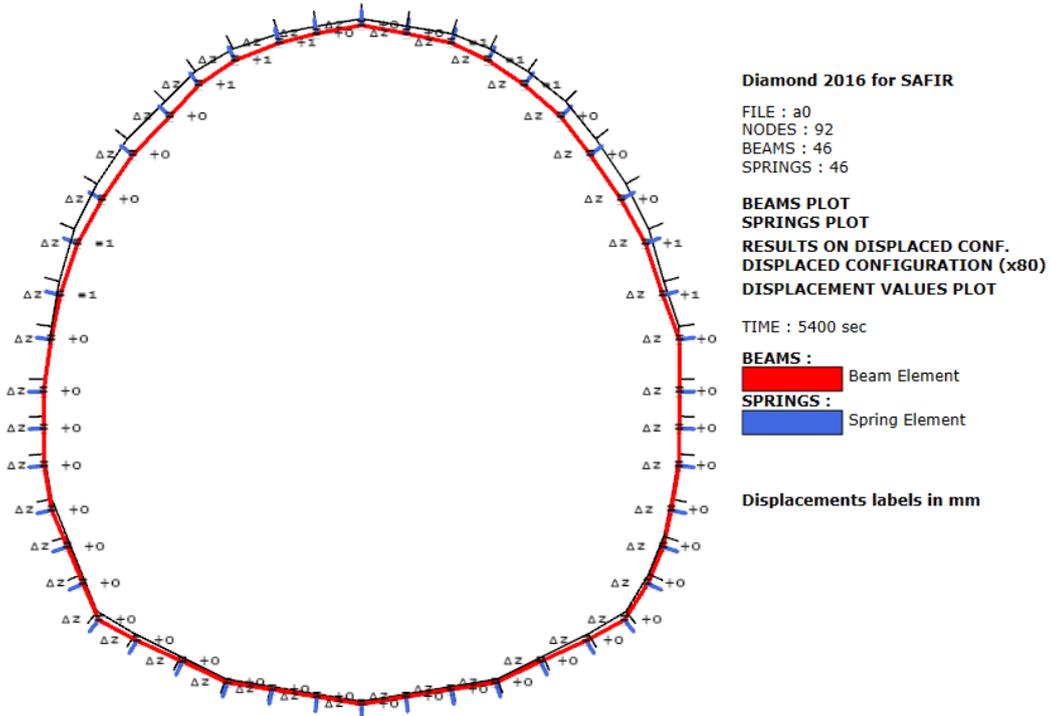


Figura 10-55– Configurazione deformata

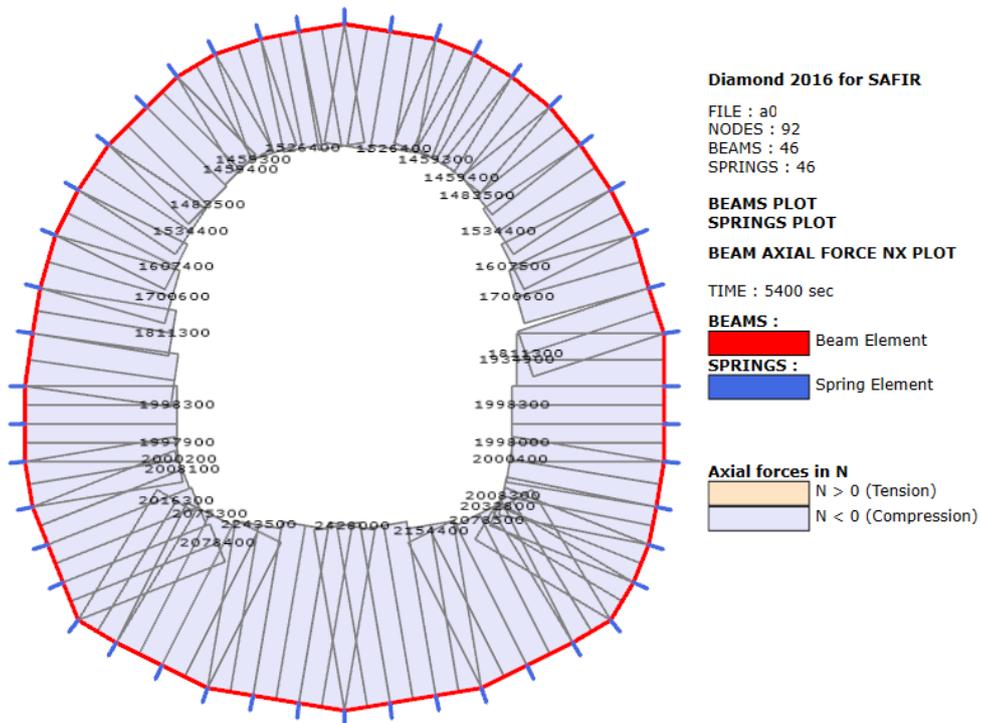


Figura 10-56 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 197 di 224

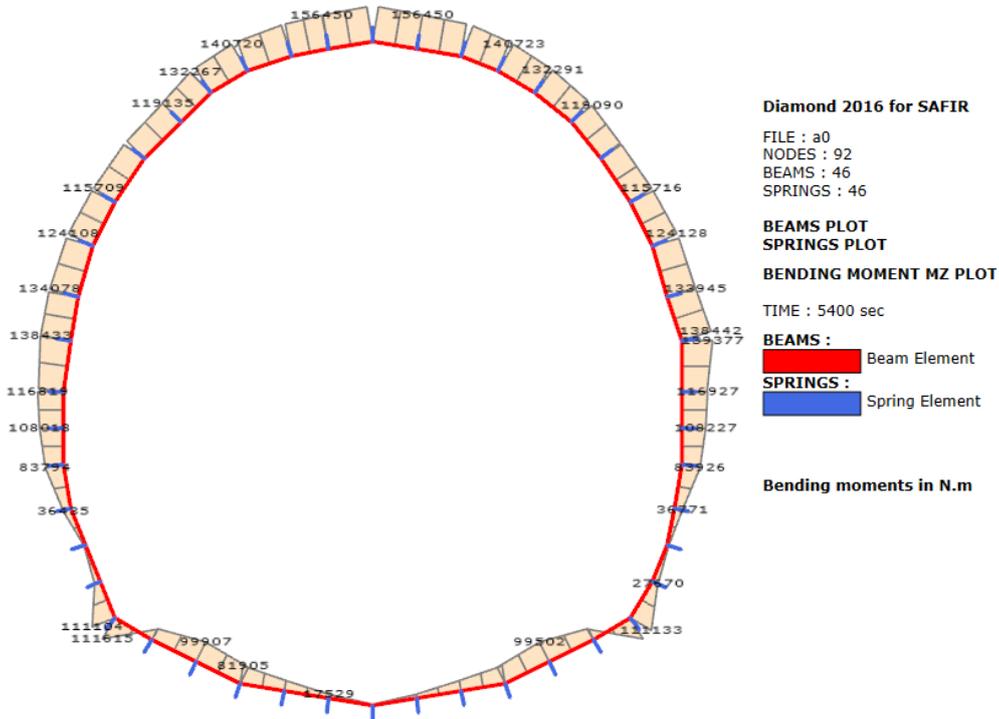


Figura 10-57 – Momento flettente

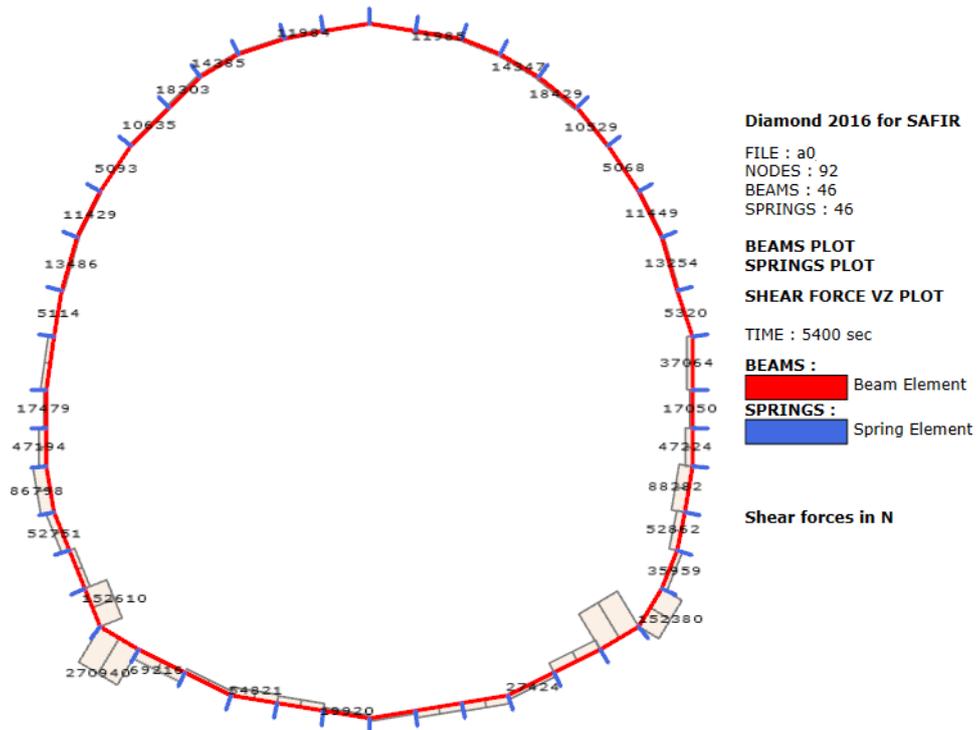


Figura 10-58 – Sforzo di taglio

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				
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 198 di 224

Risultati al tempo t = 120 min

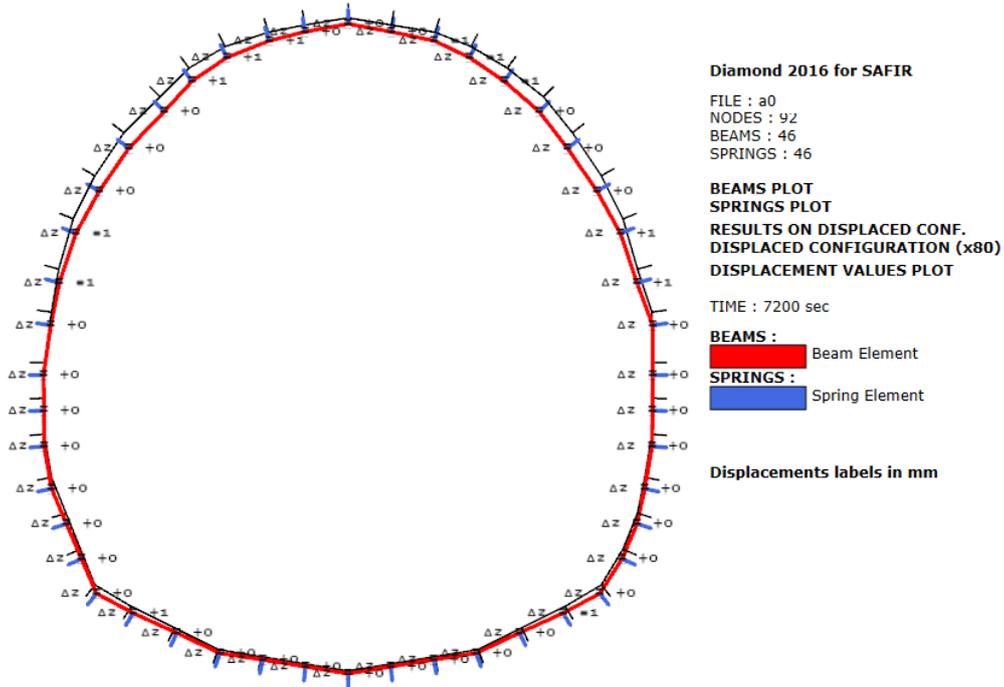


Figura 10-59 – Configurazione deformata

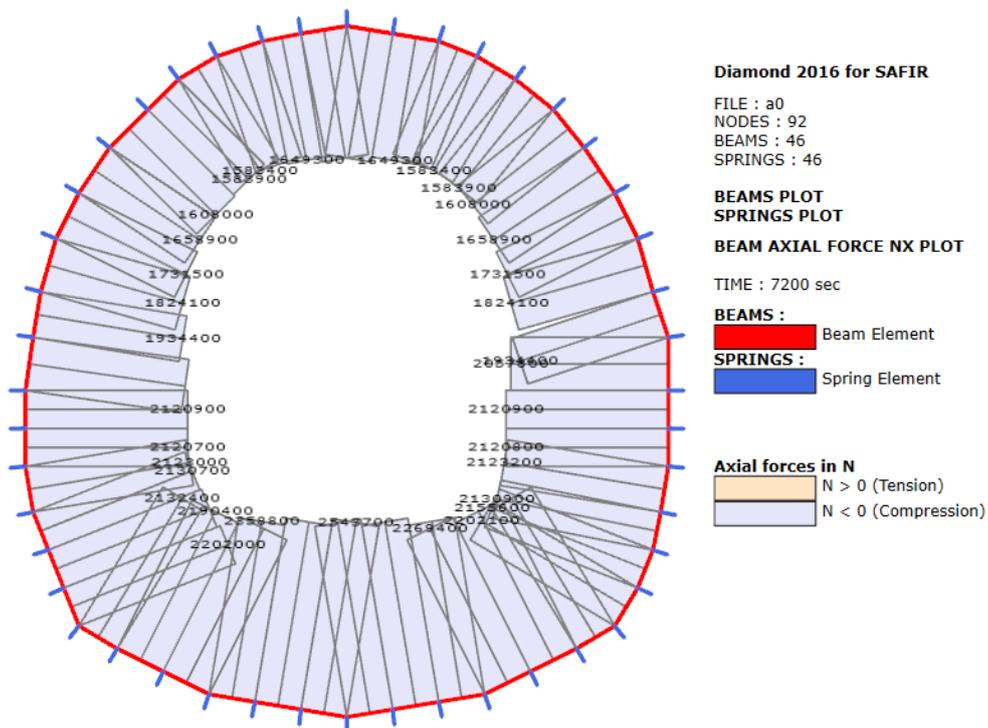
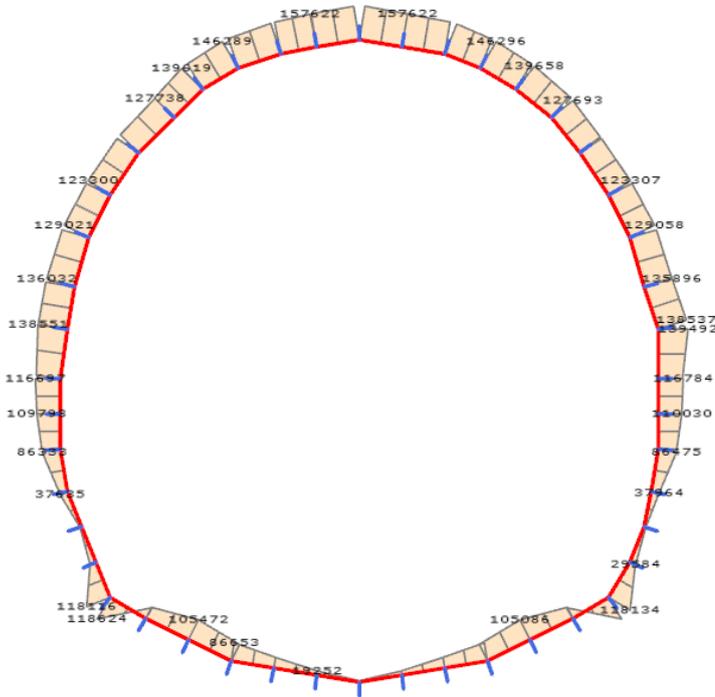


Figura 10-60 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 199 di 224



Diamond 2016 for SAFIR

FILE : a0
 NODES : 92
 BEAMS : 46
 SPRINGS : 46

**BEAMS PLOT
 SPRINGS PLOT**

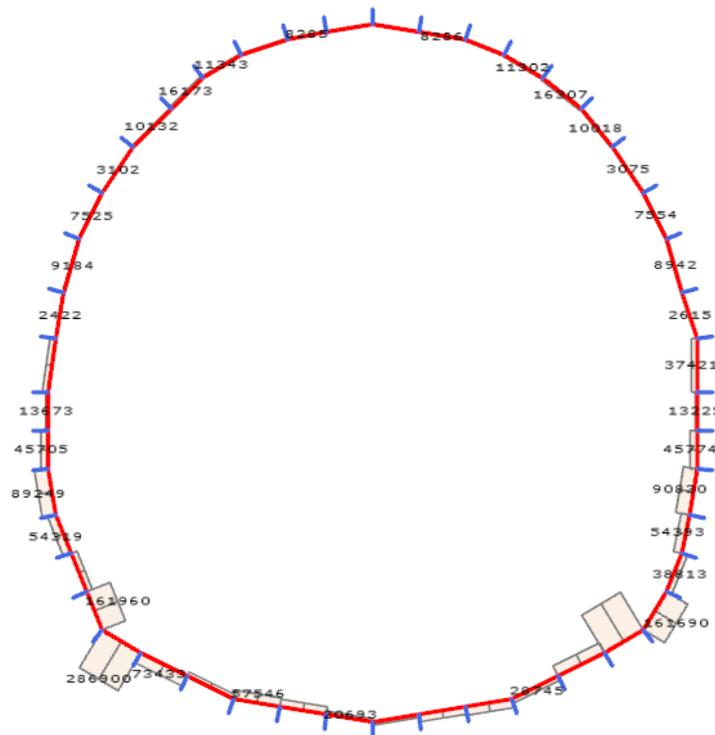
BENDING MOMENT MZ PLOT

TIME : 7200 sec

BEAMS :
 Beam Element
SPRINGS :
 Spring Element

Bending moments in N.m

Figura 10-61 – Momento flettente



Diamond 2016 for SAFIR

FILE : a0
 NODES : 92
 BEAMS : 46
 SPRINGS : 46

**BEAMS PLOT
 SPRINGS PLOT**

SHEAR FORCE VZ PLOT

TIME : 7200 sec

BEAMS :
 Beam Element
SPRINGS :
 Spring Element

Shear forces in N

Figura 10-62 – Sforzo di taglio

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 200 di 224

10.2 SEZIONE B1

ANALISI DELLA TEMPERATURA NEL TEMPO

- Calotta

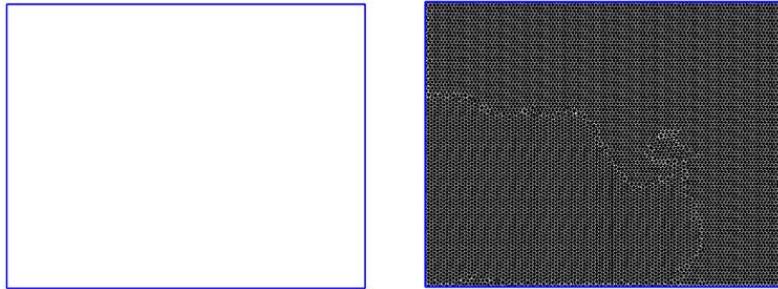


Figura 10-63 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

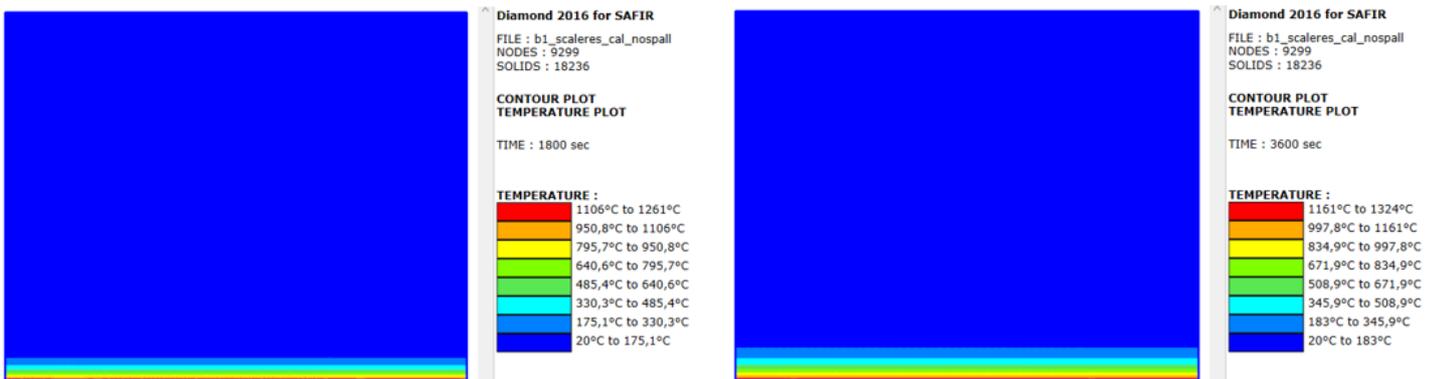


Figura 10-64– Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

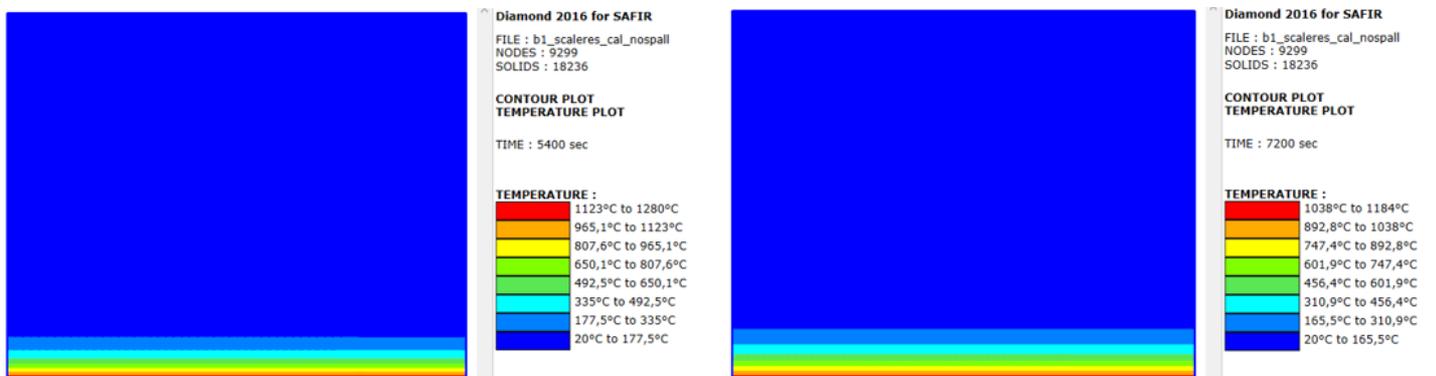


Figura 10-65 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 201 di 224

RISULTATI DELL' ANALISI MECCANICA

Risultati al tempo $t = 0$

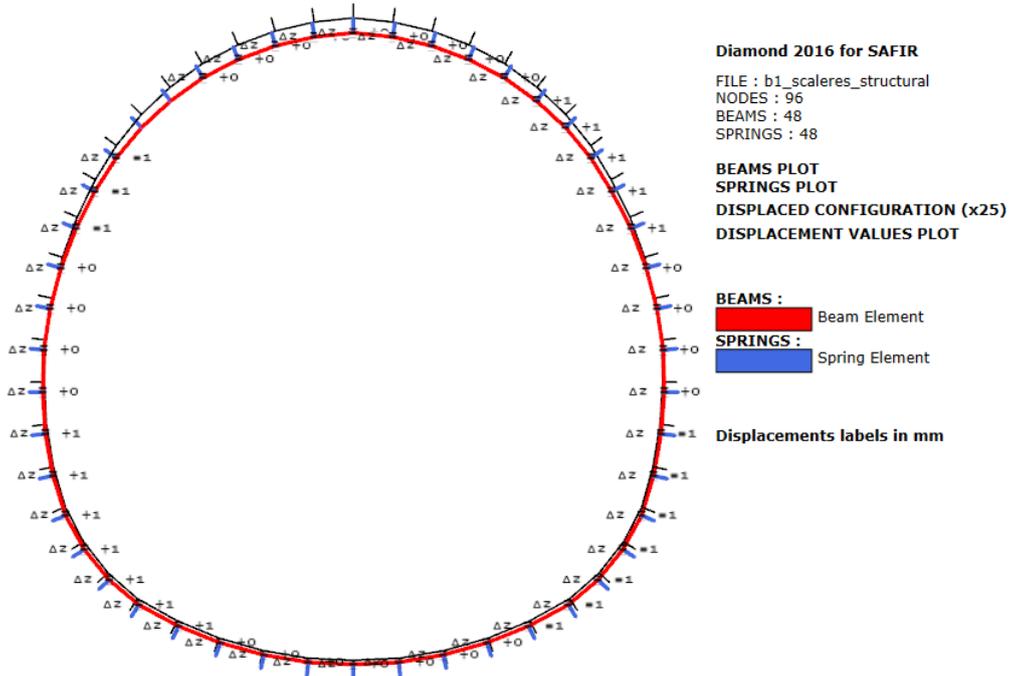


Figura 10-66 – Configurazione deformata

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 202 di 224

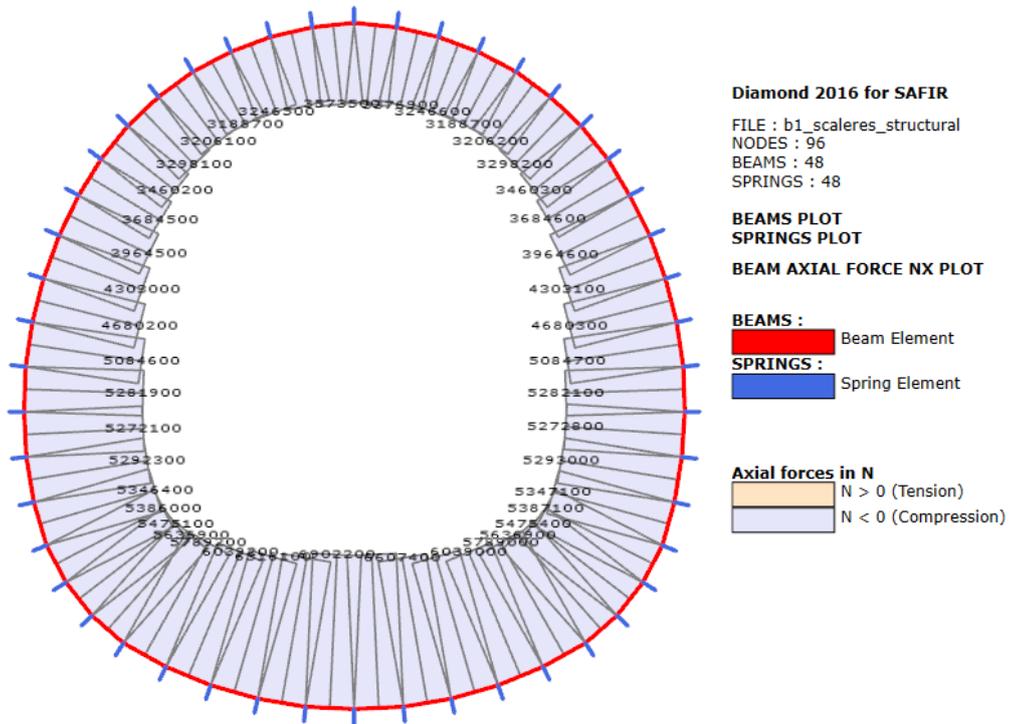


Figura 10-67 – Sforzo normale agente

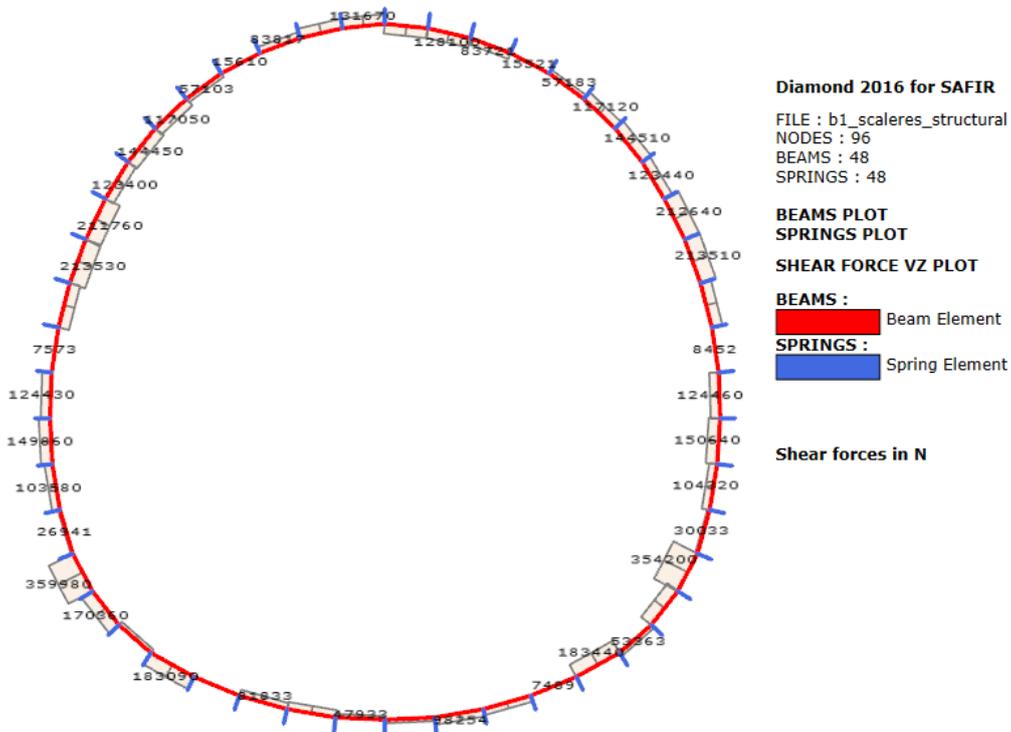


Figura 10-68 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 203 di 224

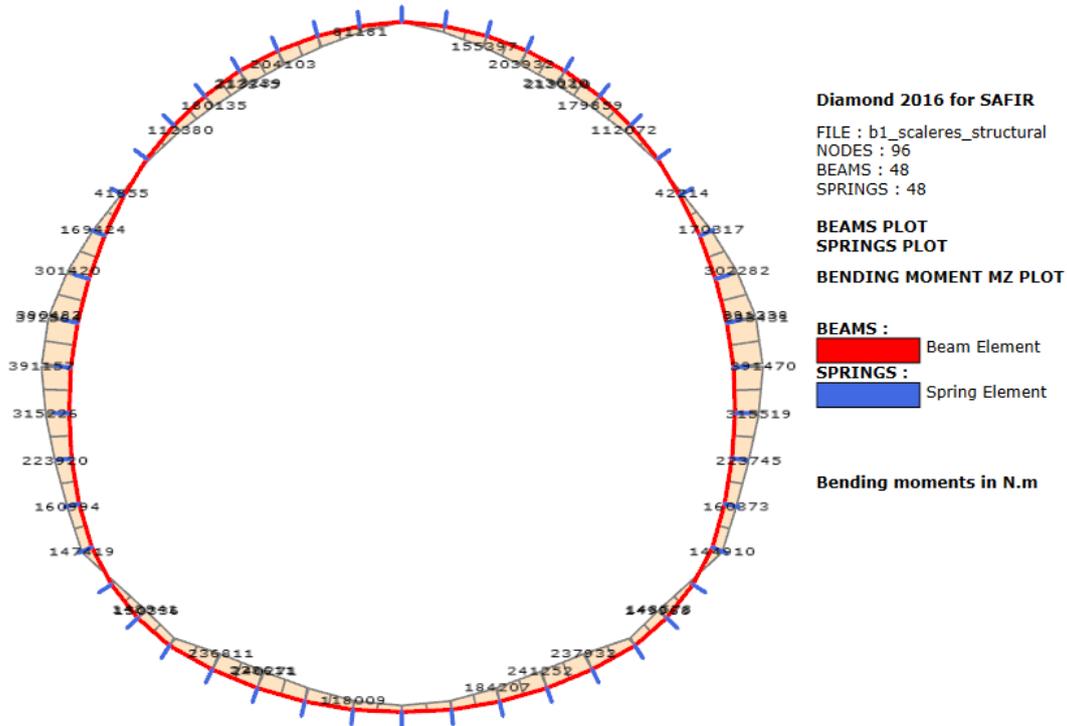


Figura 10-69 – Momento flettente

Risultati al tempo t = 30 min

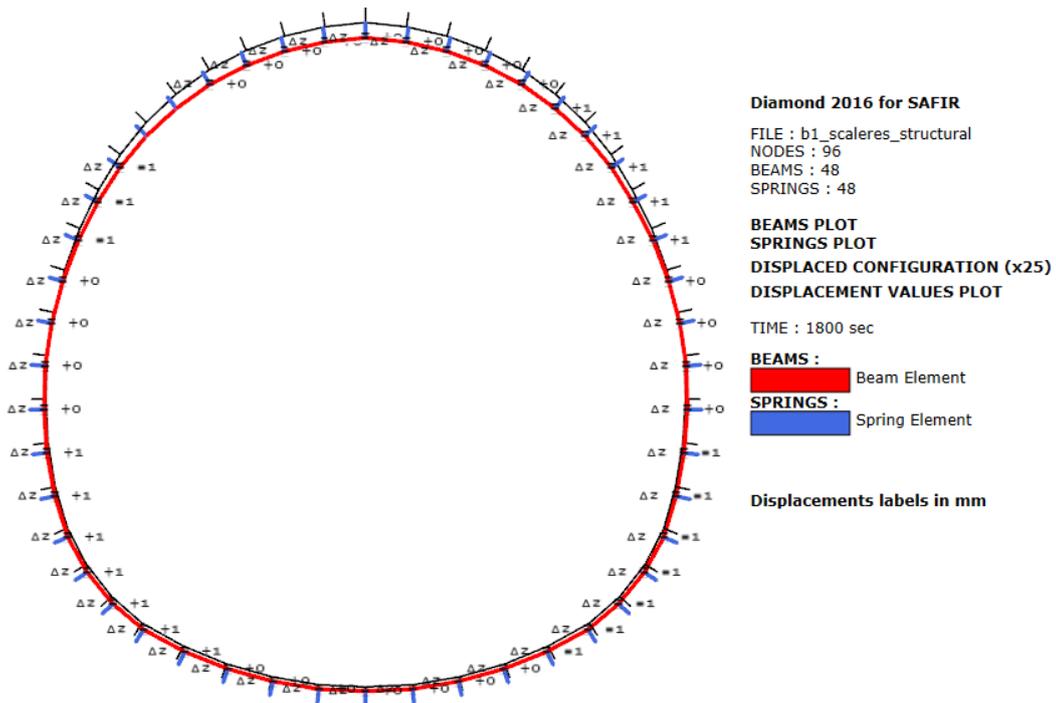


Figura 10-70 – Configurazione deformata

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 204 di 224

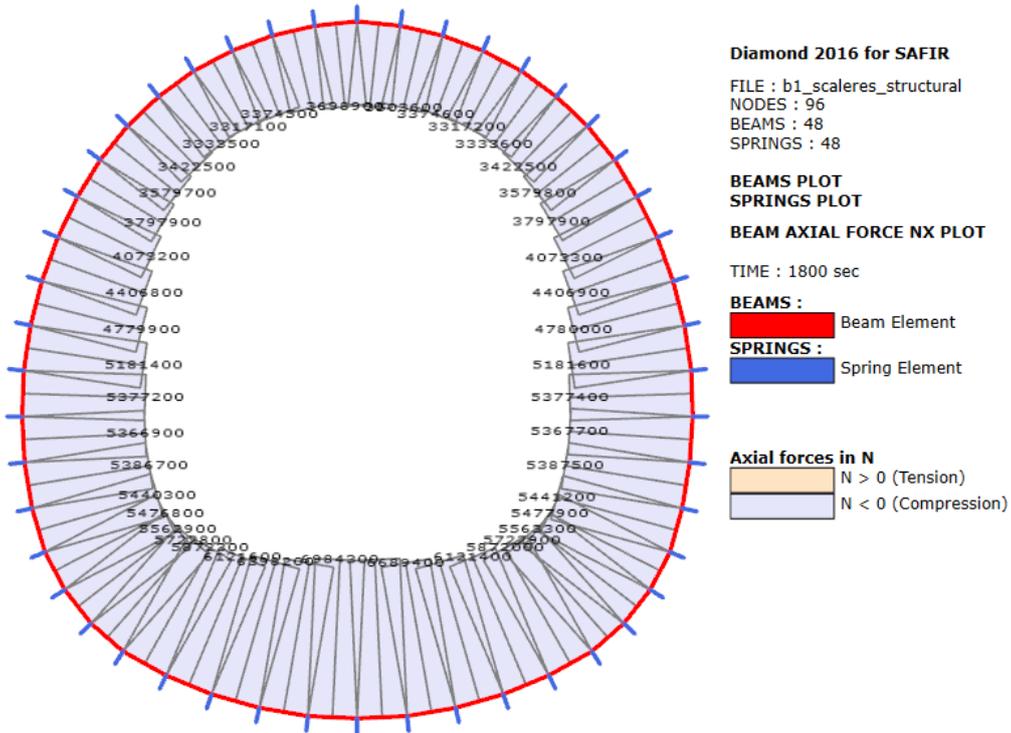


Figura 10-71 – Sforzo normale agente

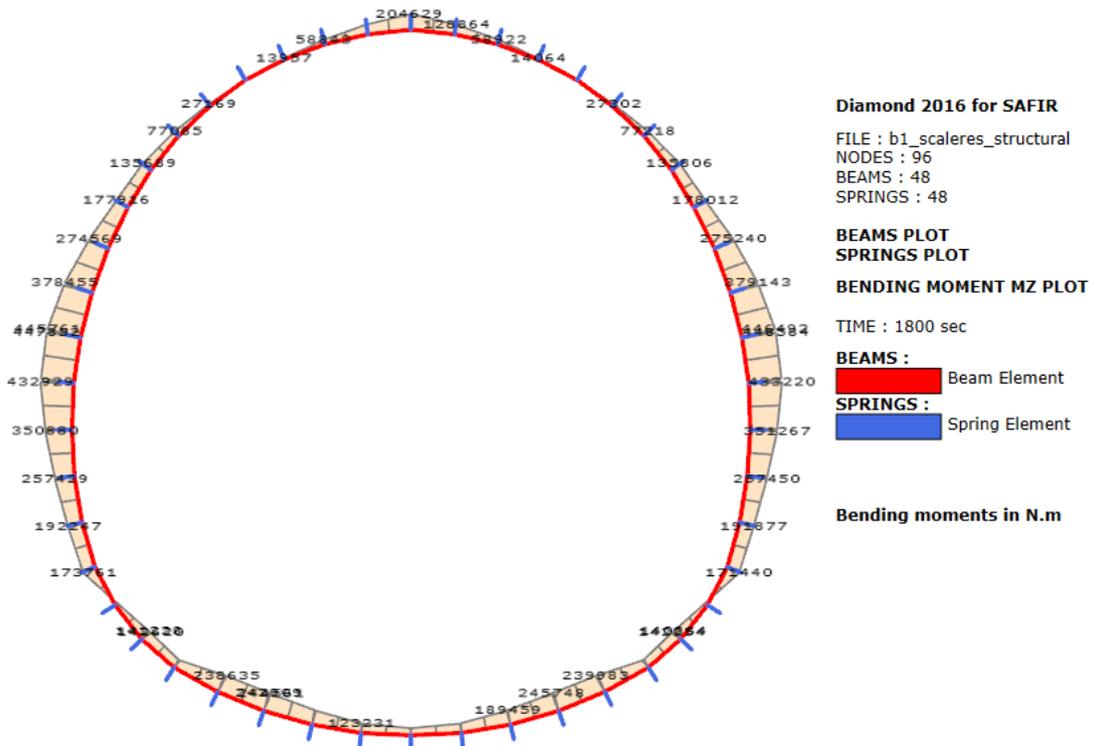


Figura 10-72– Momento flettente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 206 di 224

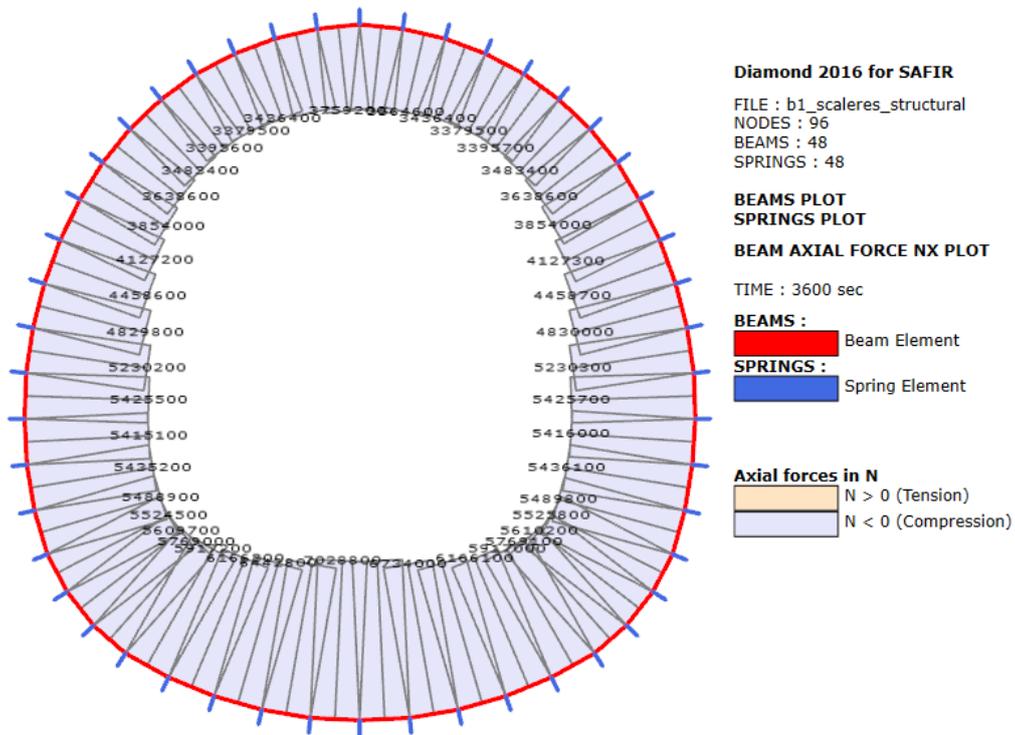


Figura 10-75 – Sforzo normale agente

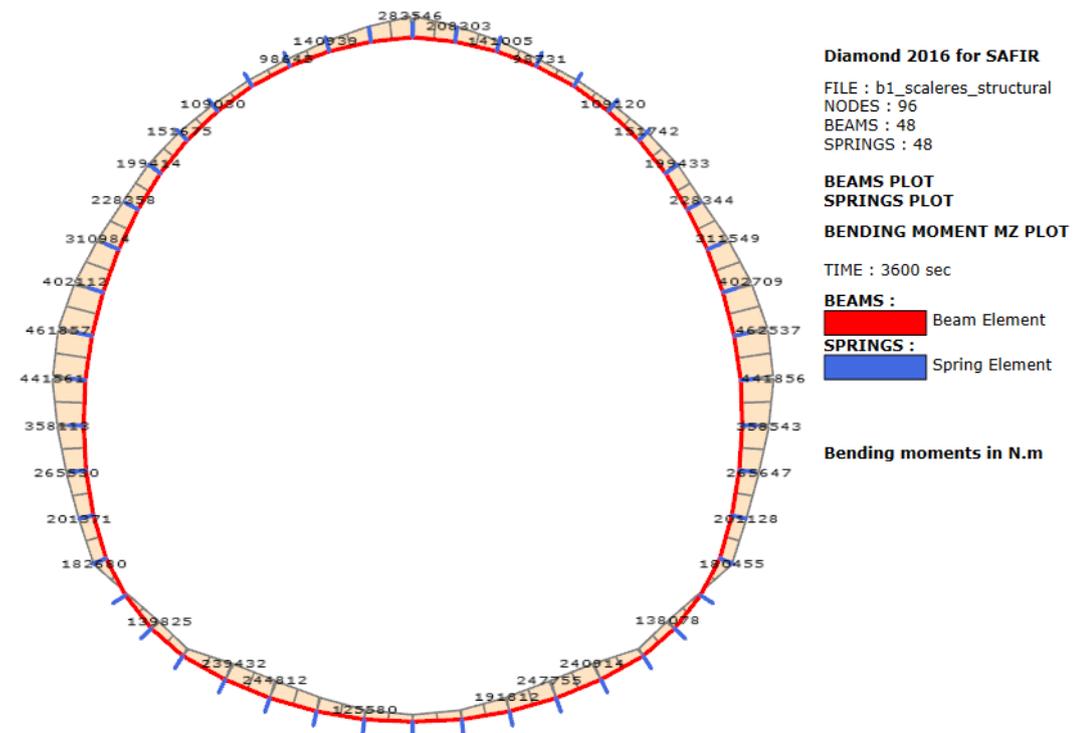


Figura 10-76 – Momento flettente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 207 di 224

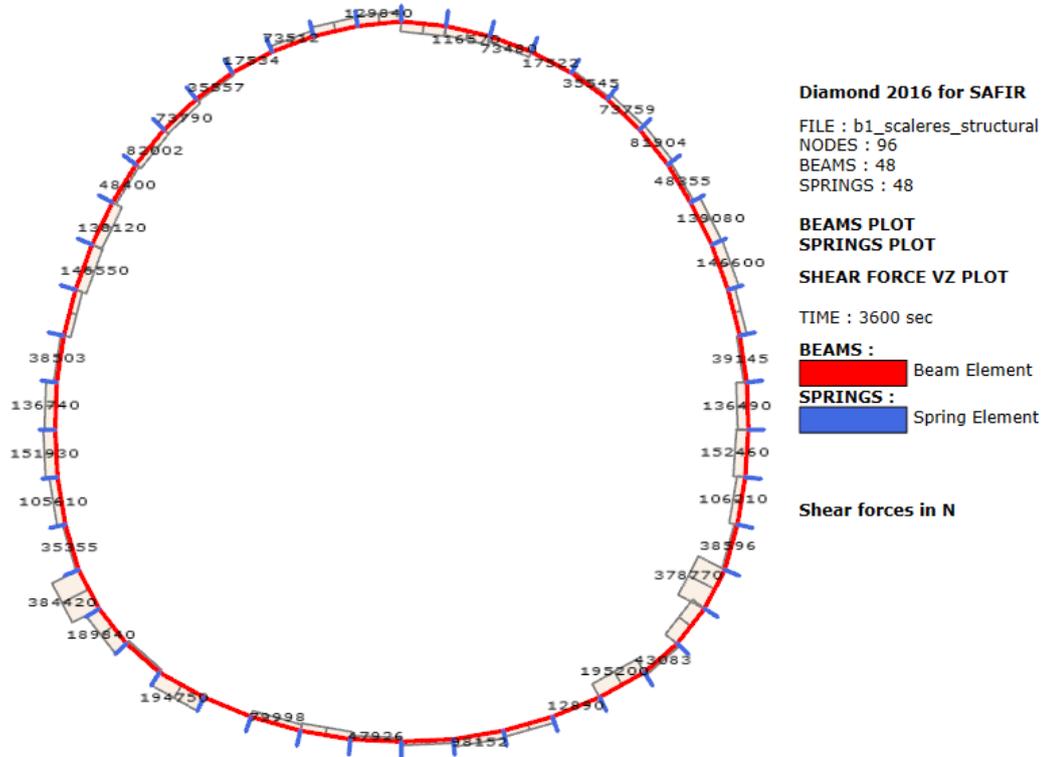


Figura 10-77 – Sforzo di taglio

Risultati al tempo t = 90 min

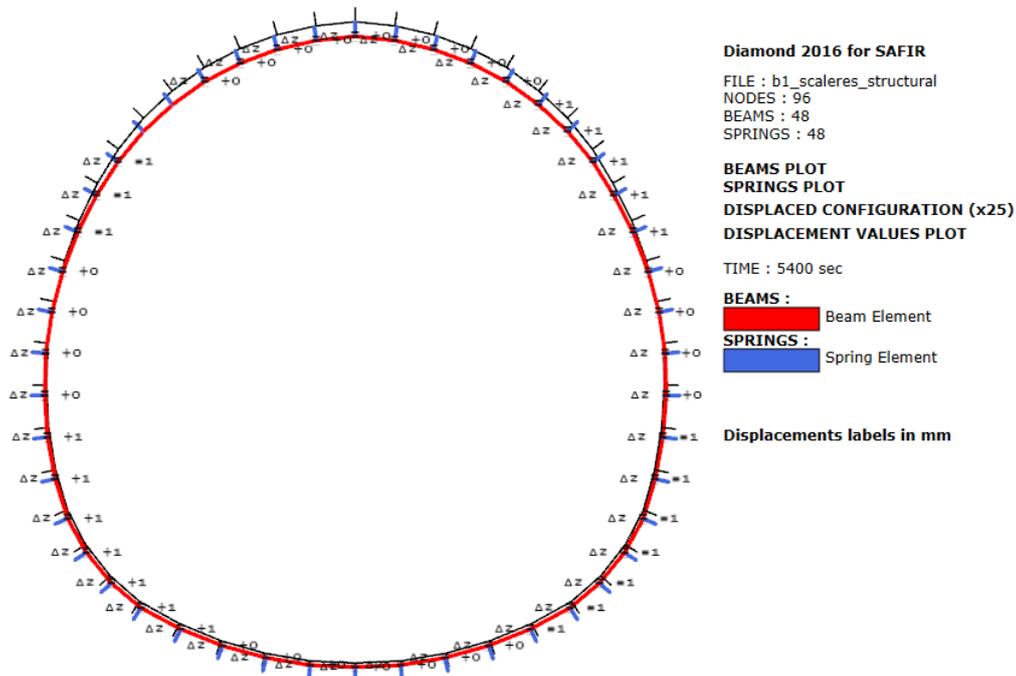


Figura 10-78 – Configurazione deformata

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 208 di 224

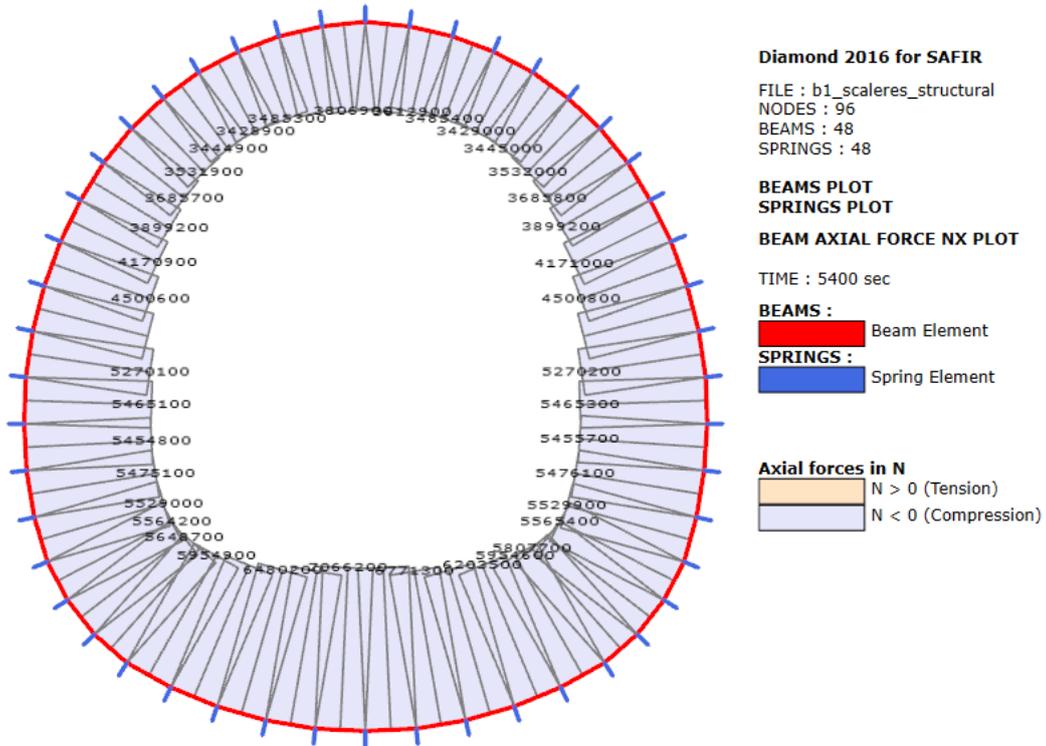


Figura 10-79 – Sforzo normale agente

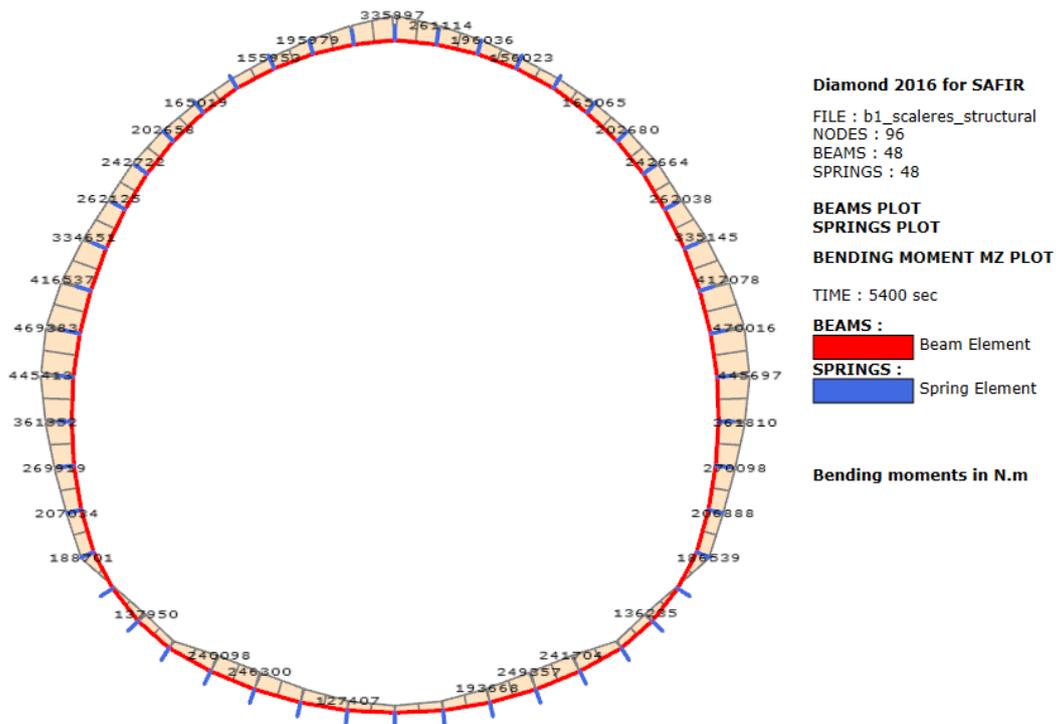


Figura 10-80 – Momento flettente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 209 di 224

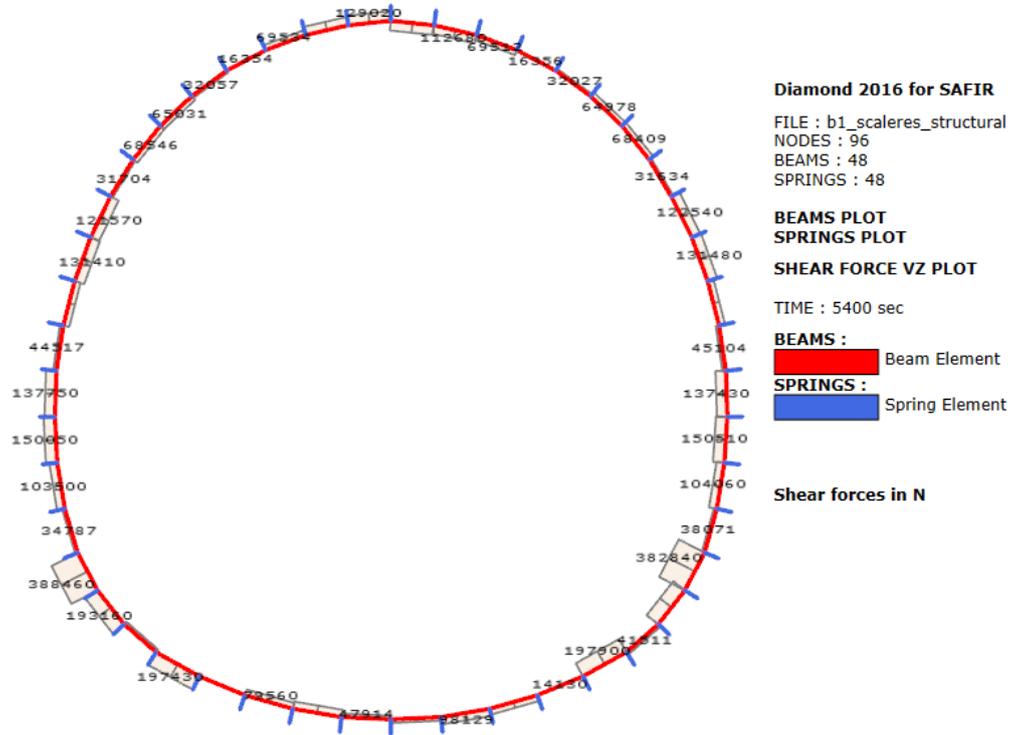


Figura 10-81 – Sforzo di taglio

Risultati al tempo t = 120 min

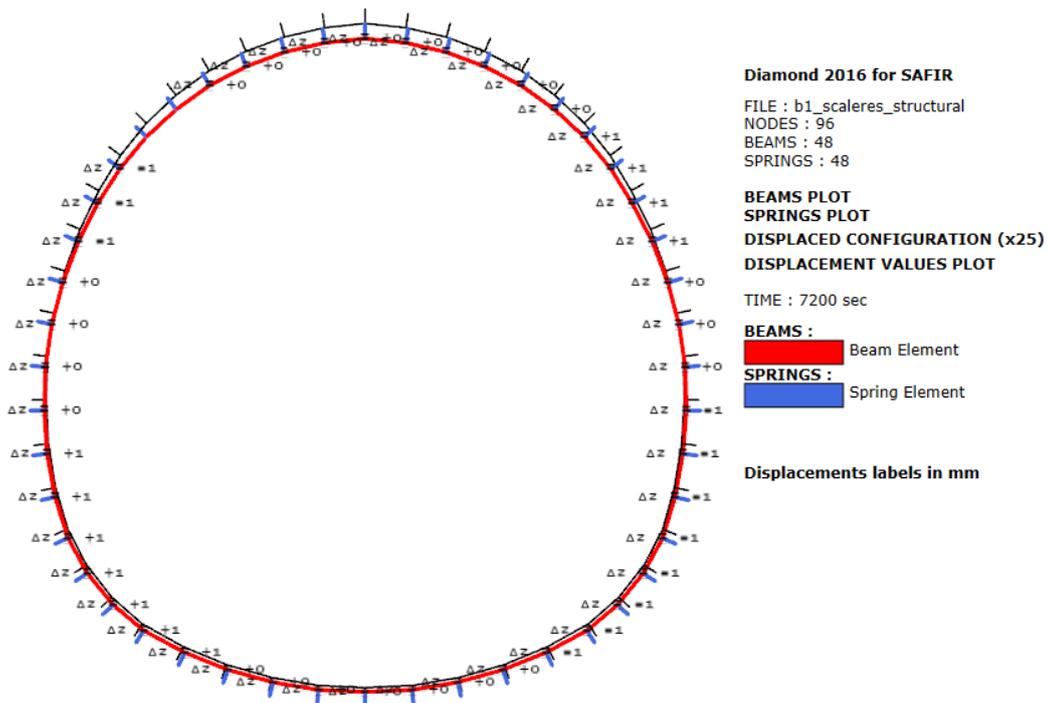


Figura 10-82 – Configurazione deformata

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 210 di 224

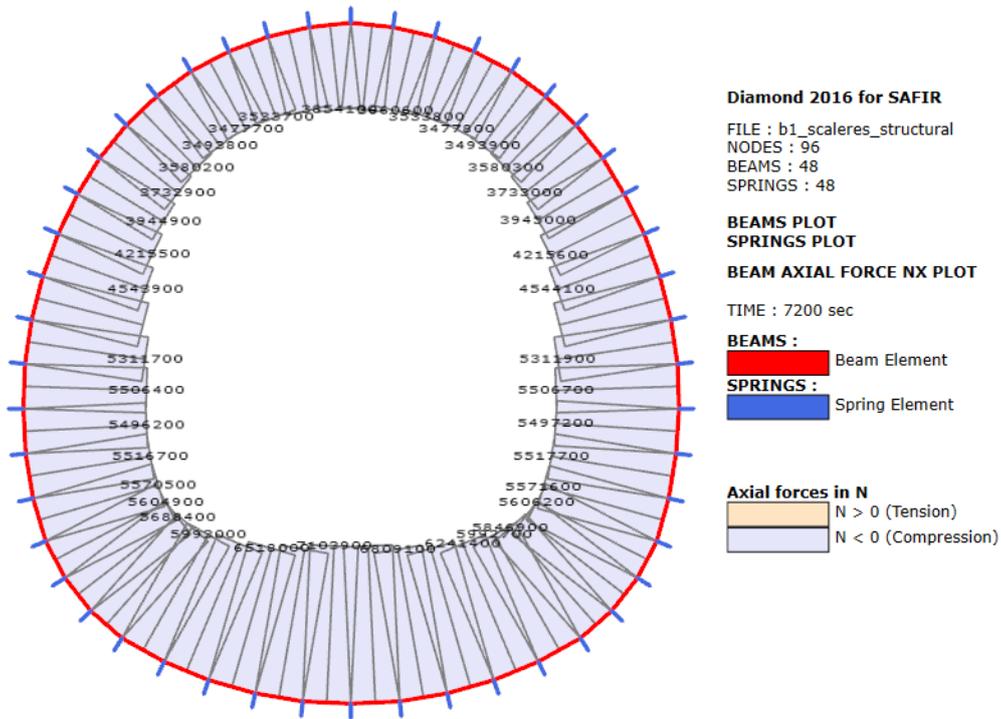


Figura 10-83 – Sforzo normale agente

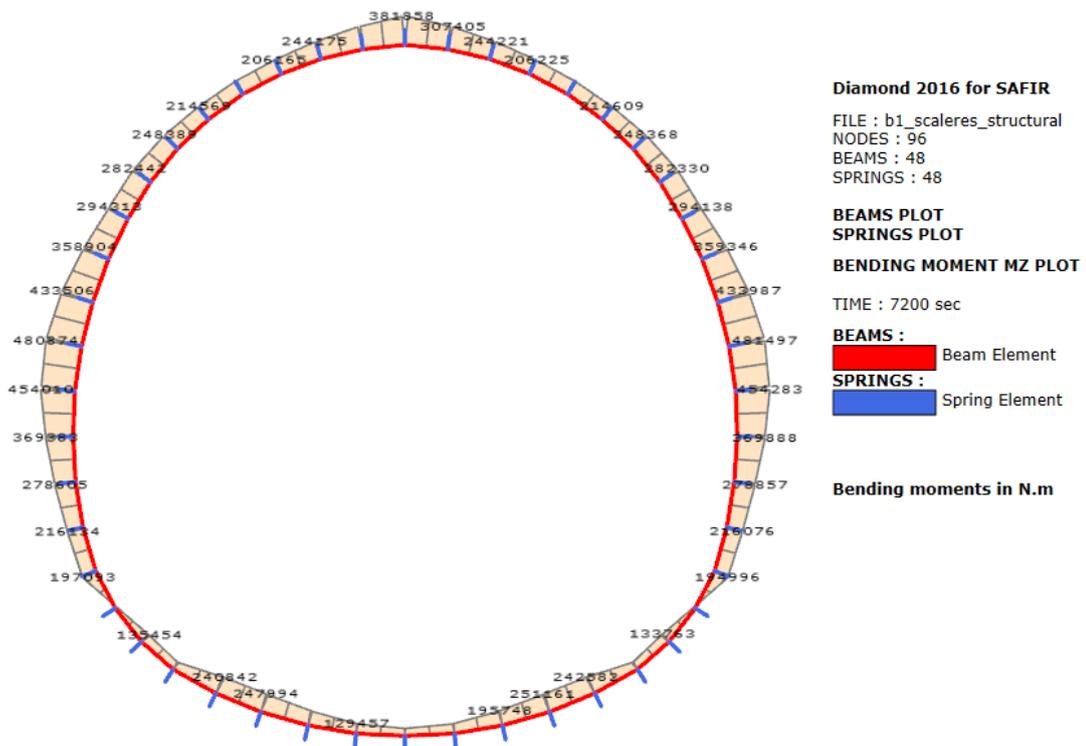


Figura 10-84 – Momento flettente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 211 di 224

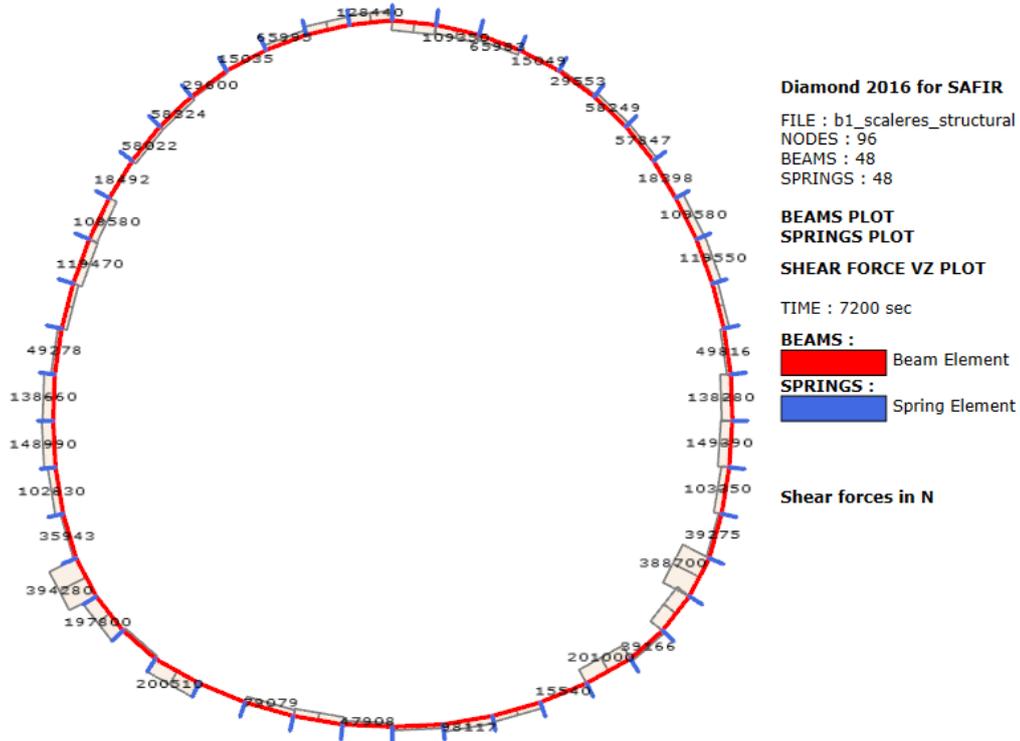


Figura 10-85 – Sforzo di taglio

VERIFICA IN PRESENZA DI SPALLING

- Calotta

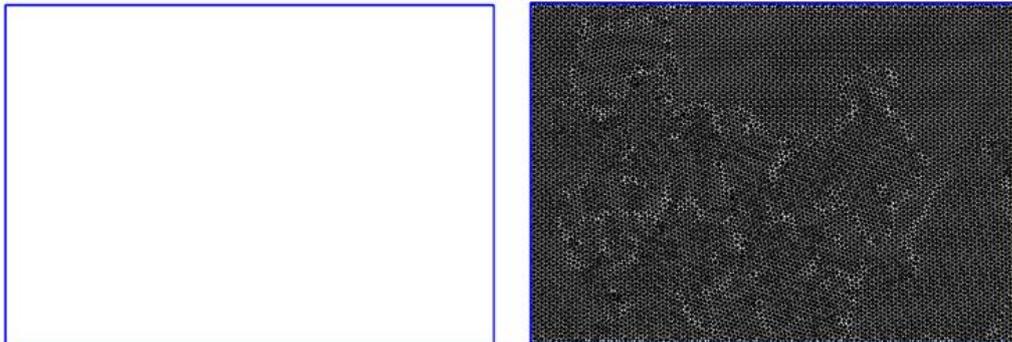


Figura 10-86 – Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 212 di 224

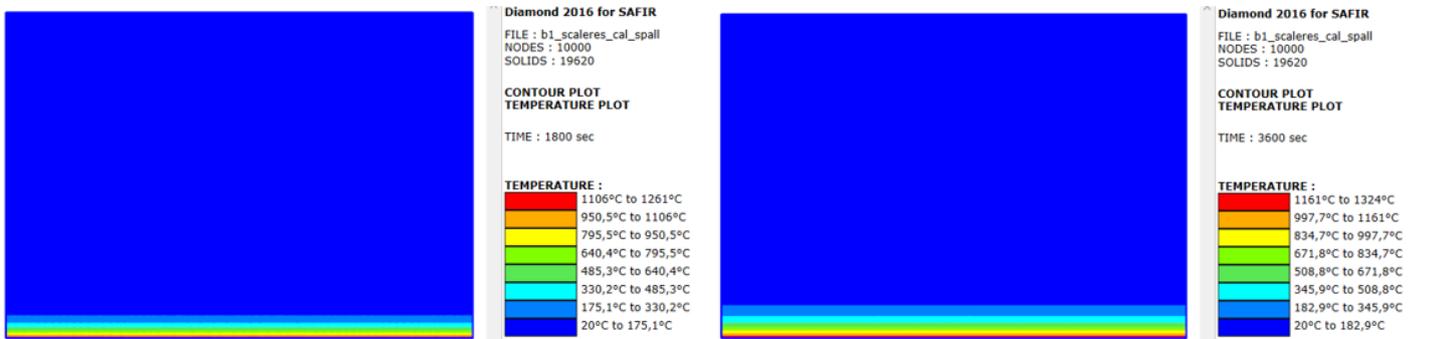


Figura 10-87 – Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

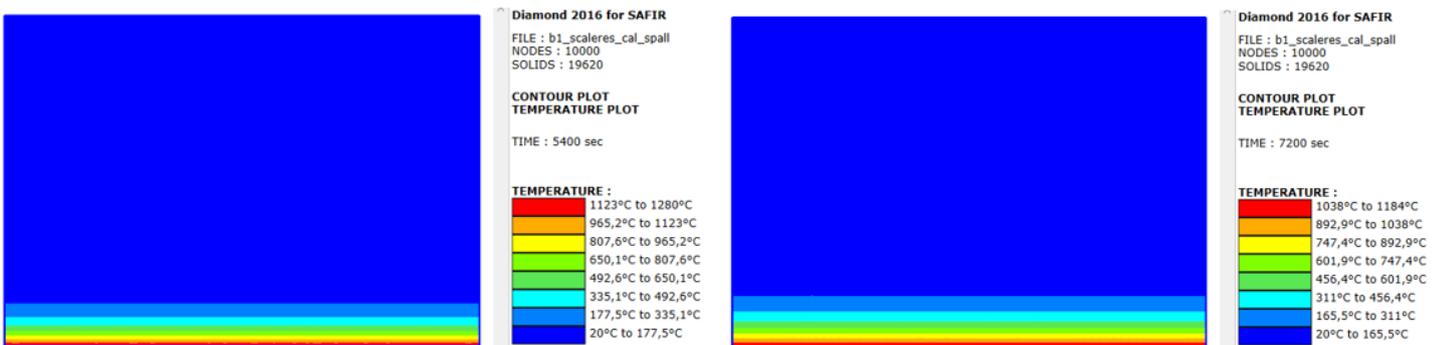


Figura 10-88 – Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 213 di 224

RISULTATI DELL'ANALISI MECCANICA CON SPALLING

Risultati al tempo $t = 30 \text{ min}$

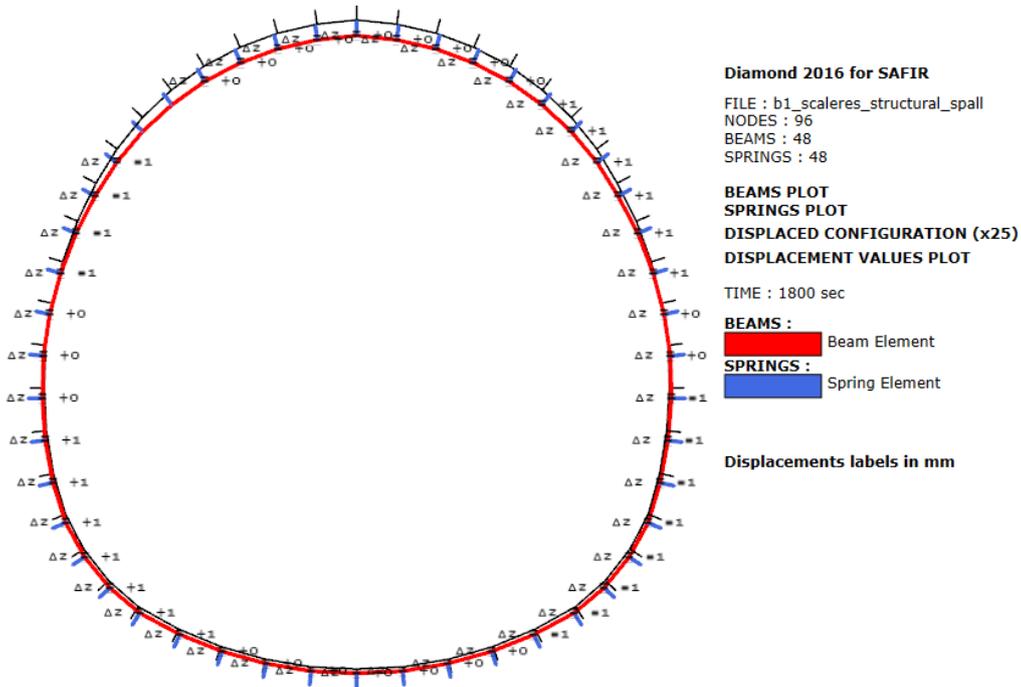


Figura 10-89 – Configurazione deformata

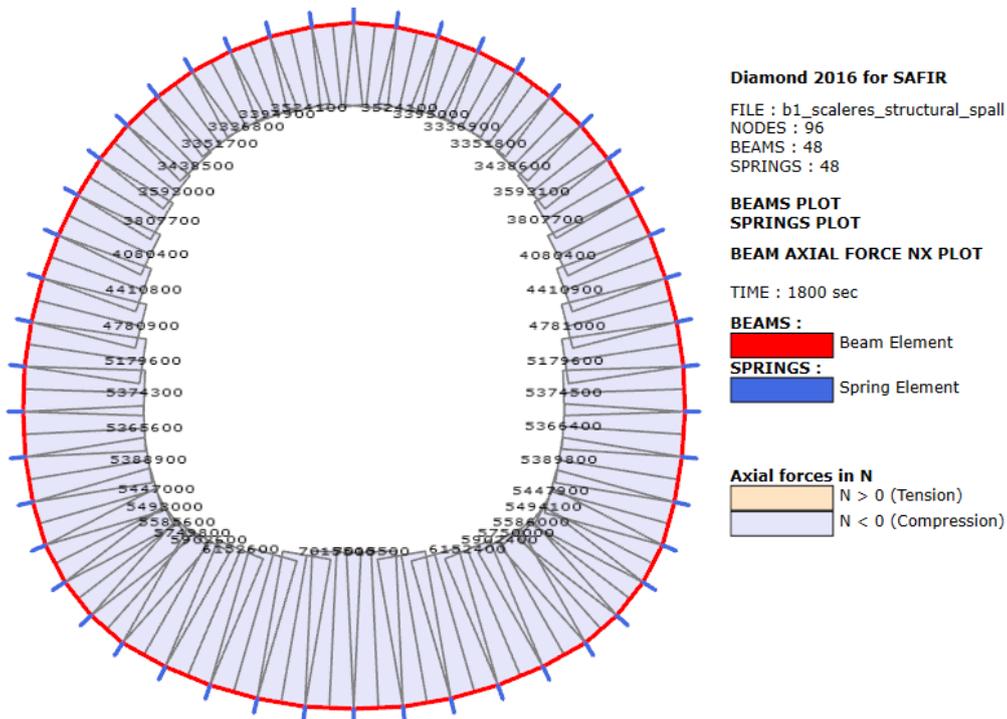


Figura 10-90 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 214 di 224

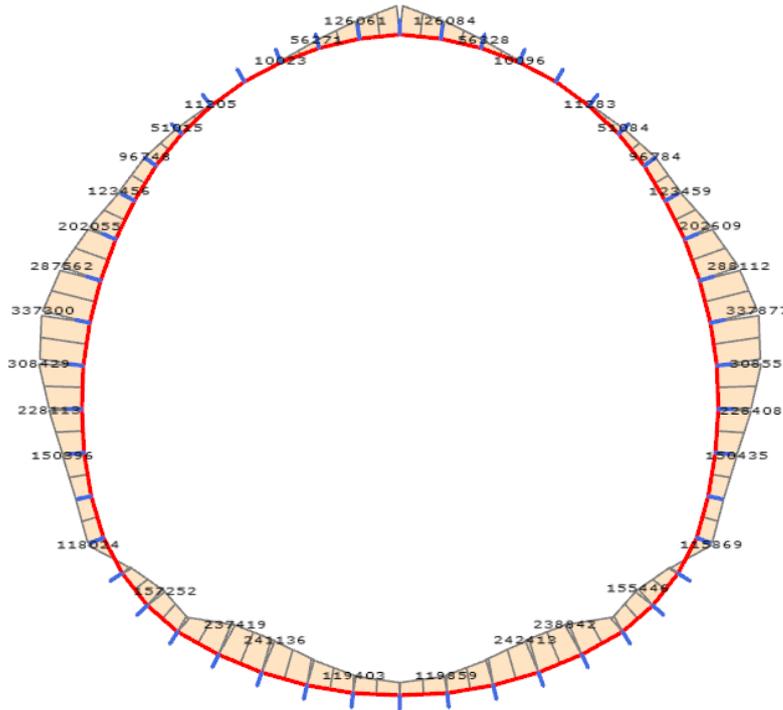


Figura 10-91 – Momento flettente

Diamond 2016 for SAFIR
FILE : b1_scaleres_structural_spall
NODES : 96
BEAMS : 48
SPRINGS : 48

BEAMS PLOT
SPRINGS PLOT
BENDING MOMENT MZ PLOT

TIME : 1800 sec

BEAMS :
 Beam Element

SPRINGS :
 Spring Element

Bending moments in N.m

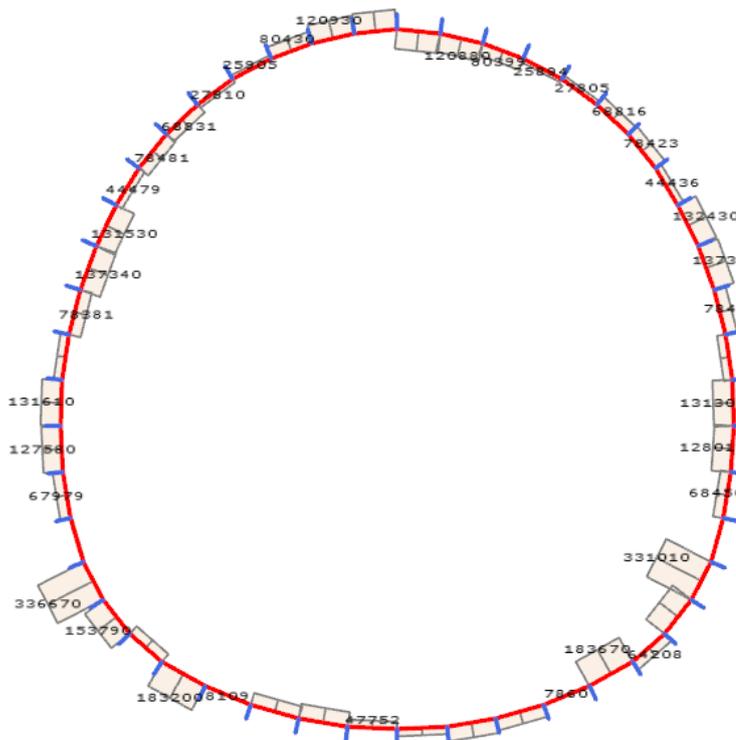


Figura 10-92 – Sforzo di taglio

Diamond 2016 for SAFIR
FILE : b1_scaleres_structural_spall
NODES : 96
BEAMS : 48
SPRINGS : 48

BEAMS PLOT
SPRINGS PLOT
SHEAR FORCE VZ PLOT

TIME : 1800 sec

BEAMS :
 Beam Element

SPRINGS :
 Spring Element

Shear forces in N

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 215 di 224

Risultati al tempo t = 60 min

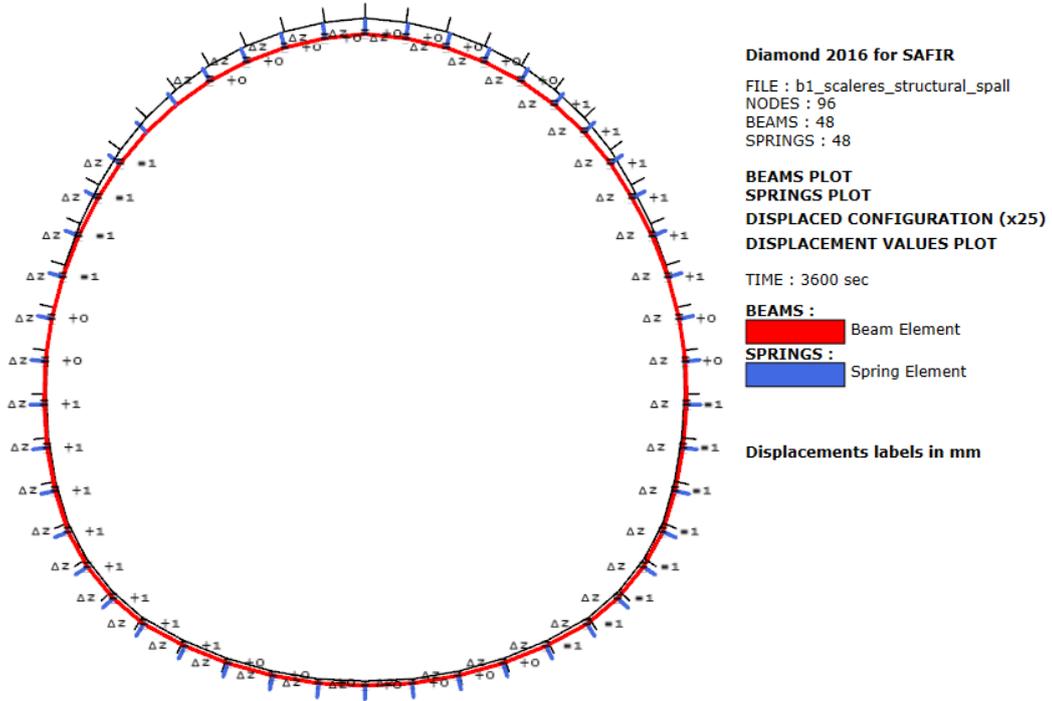


Figura 10-93 – Configurazione deformata

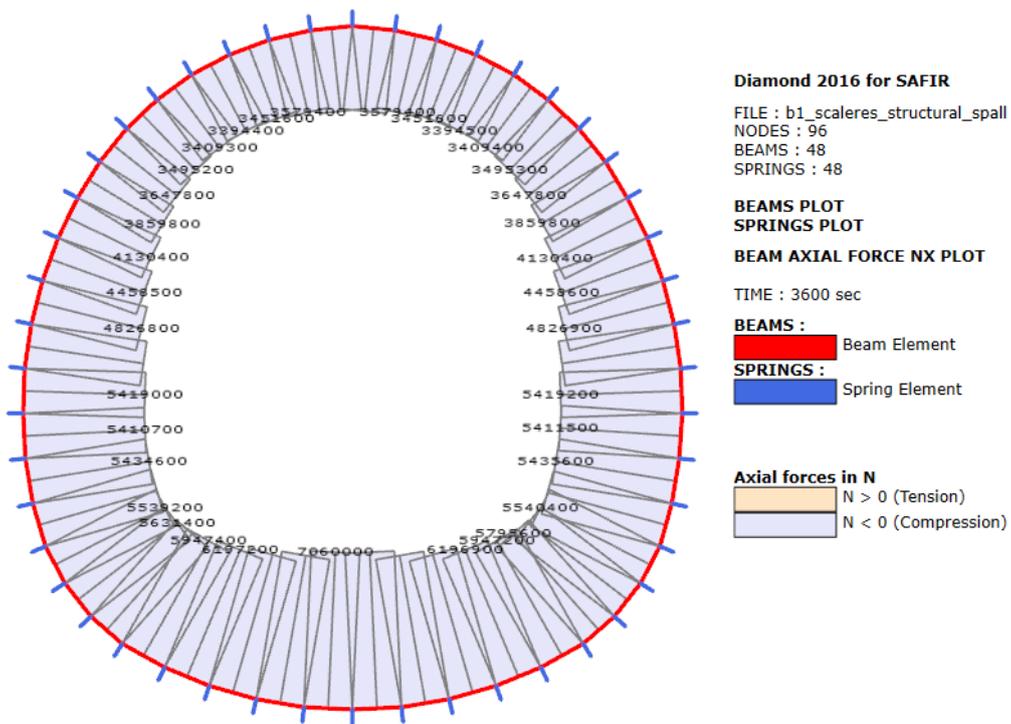


Figura 10-94 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 216 di 224

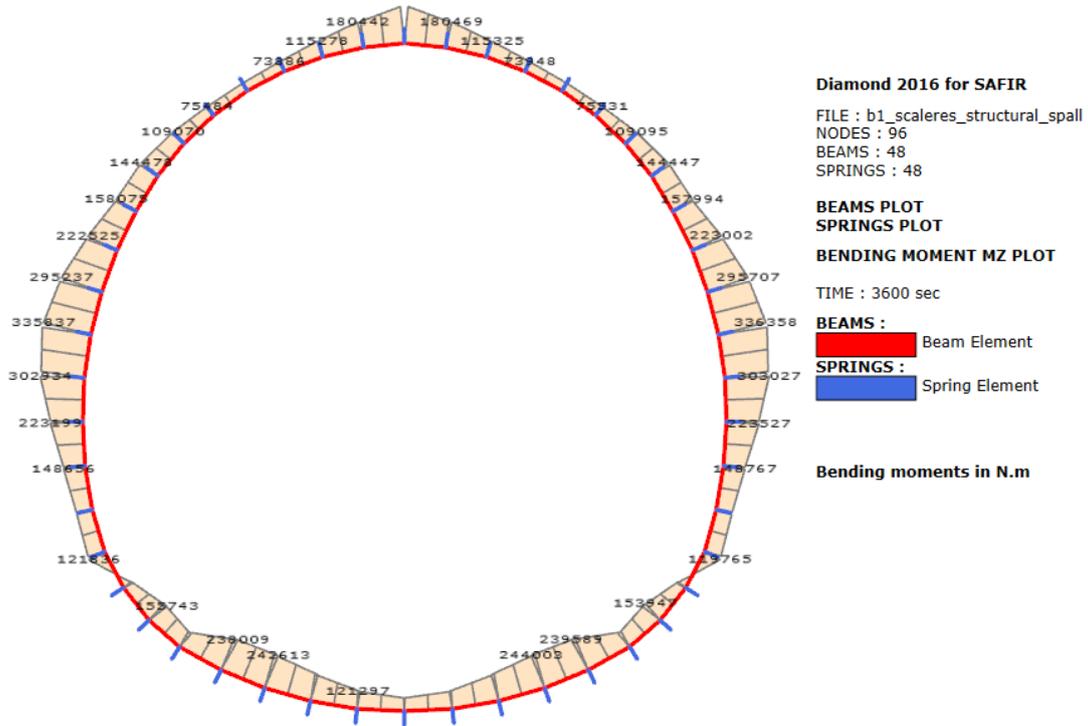


Figura 10-95 – Momento flettente

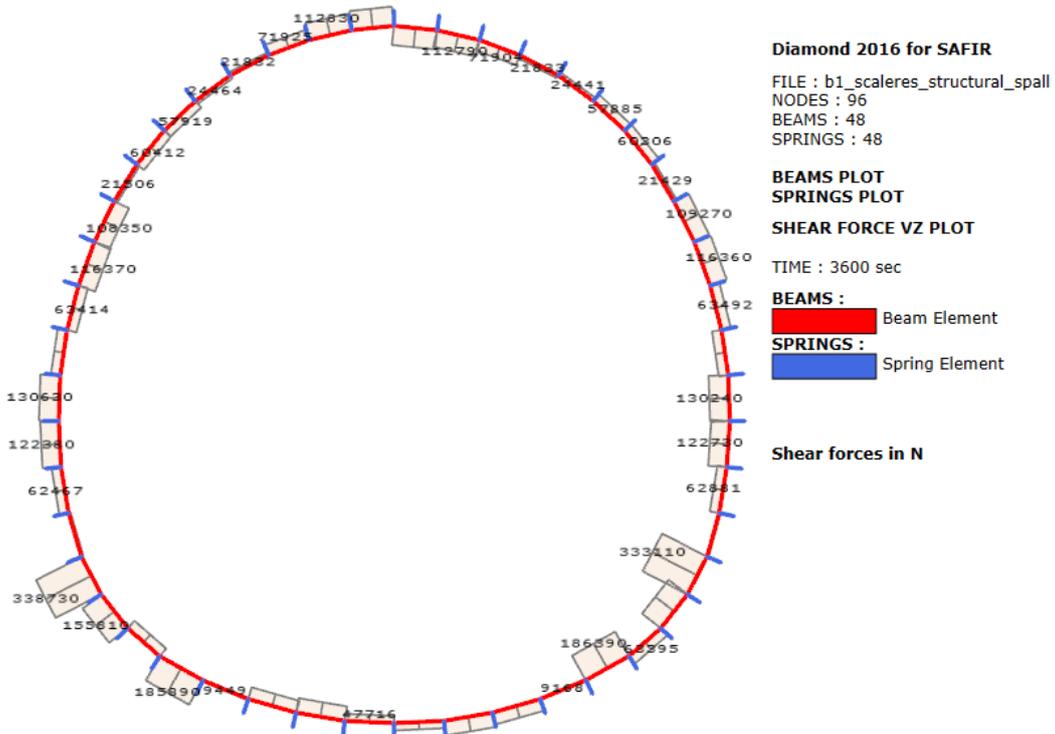


Figura 10-96 – Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 217 di 224

Risultati al tempo t = 90 min

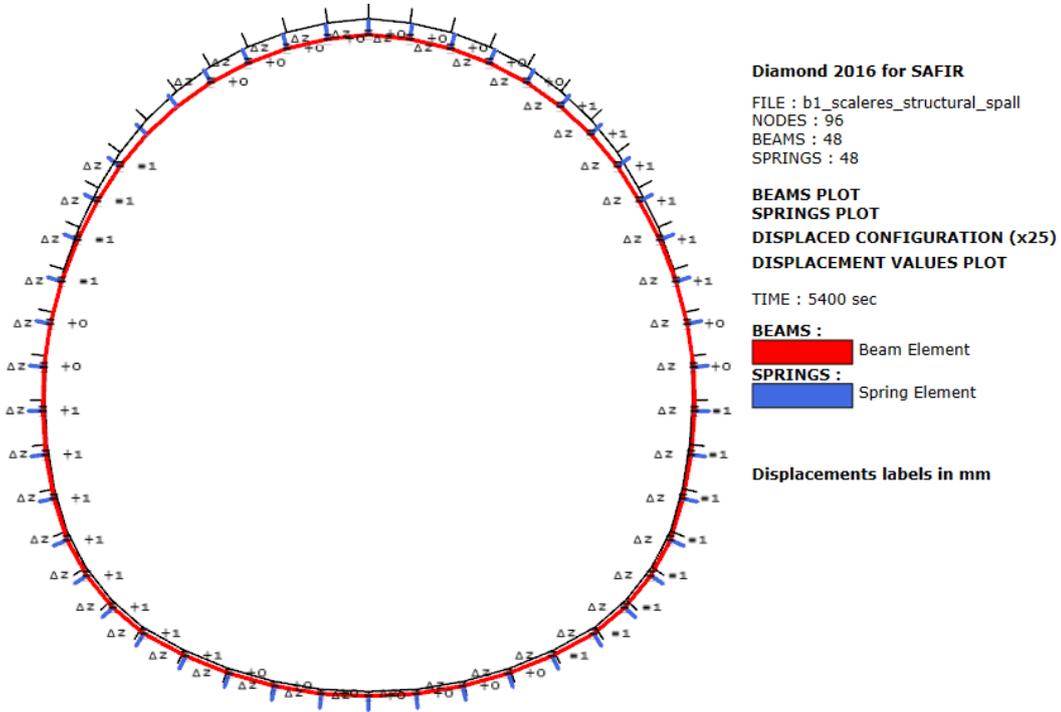


Figura 10-97 – Configurazione deformata

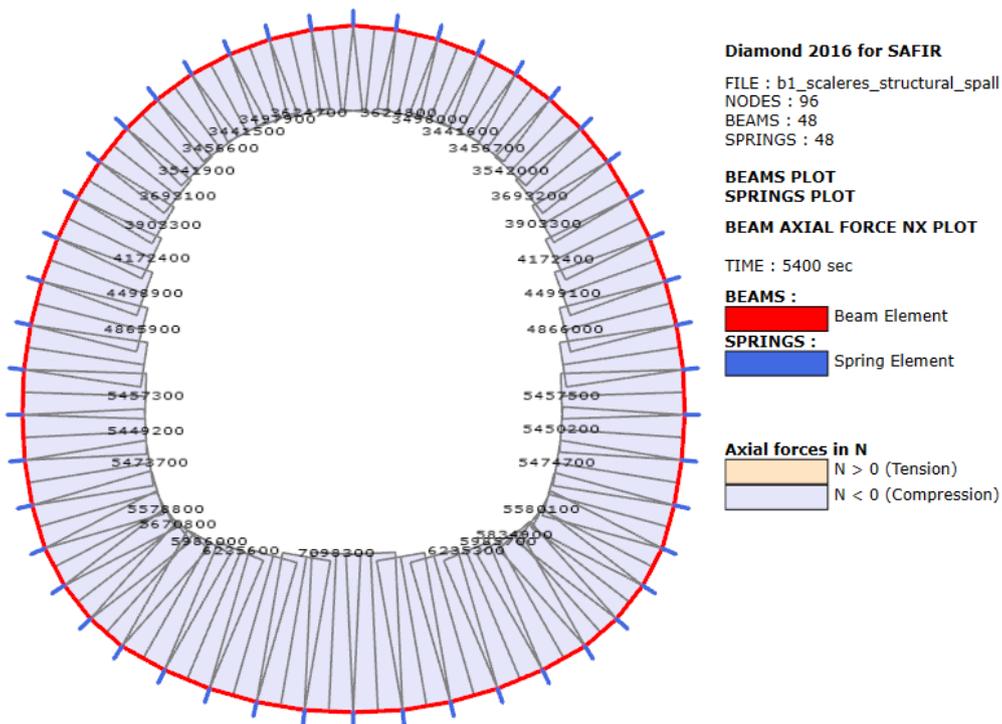


Figura 10-98 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 218 di 224

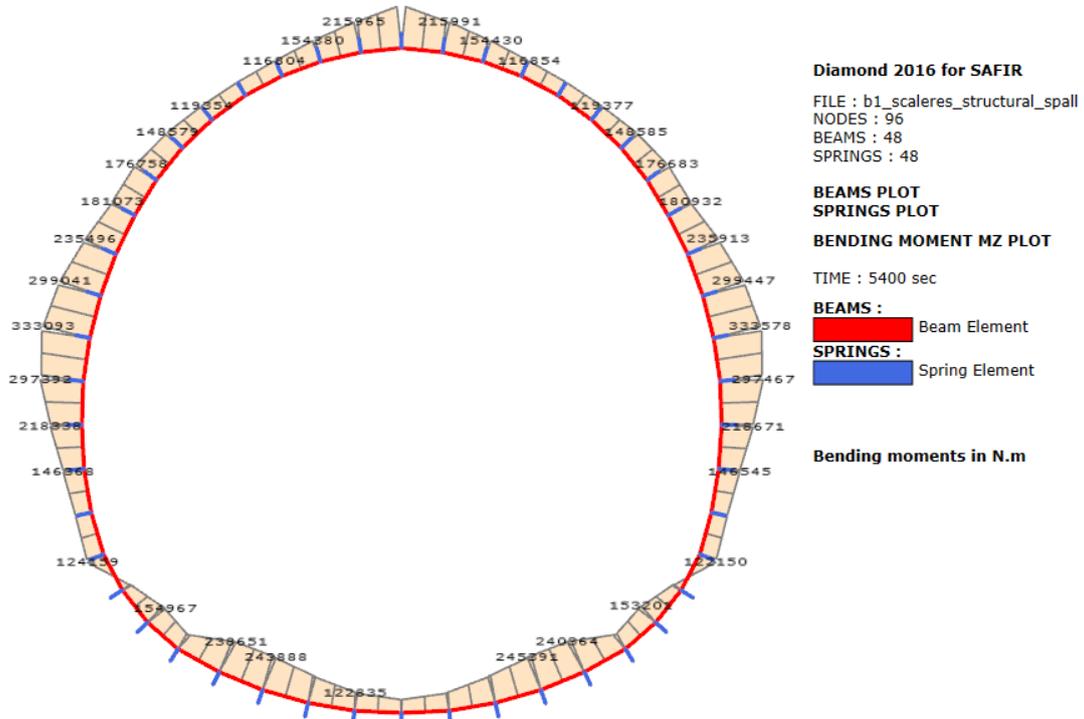


Figura 10-99 – Momento flettente

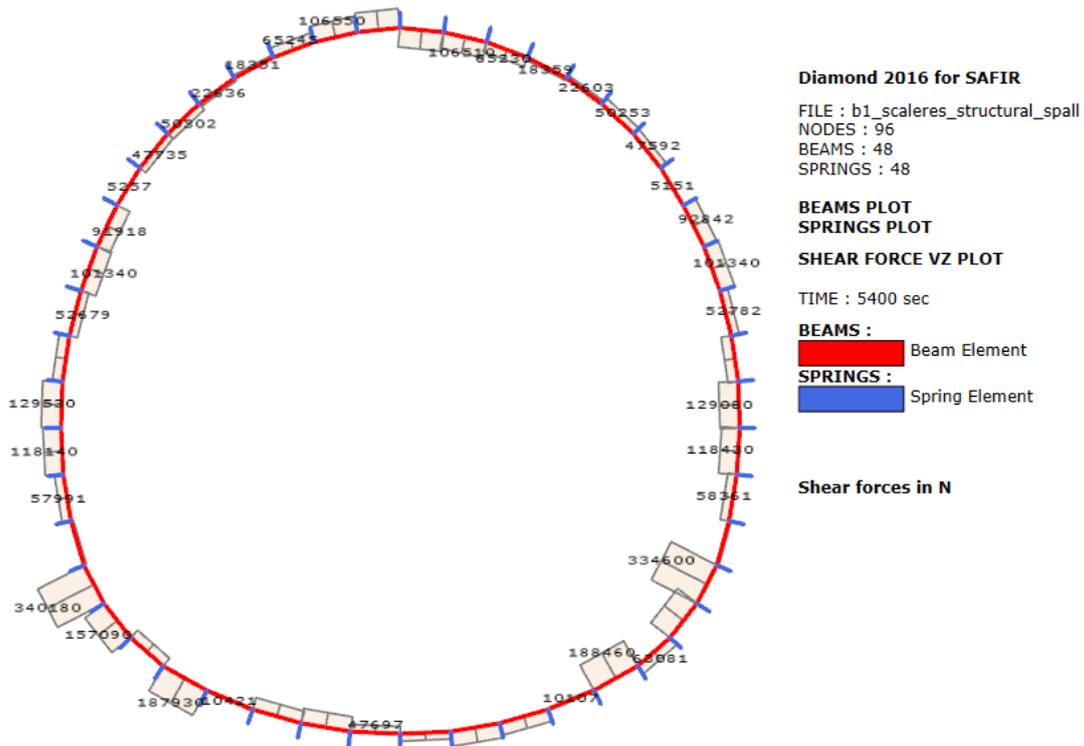


Figura 10-100– Sforzo di taglio

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 219 di 224

Risultati al tempo t = 120 min

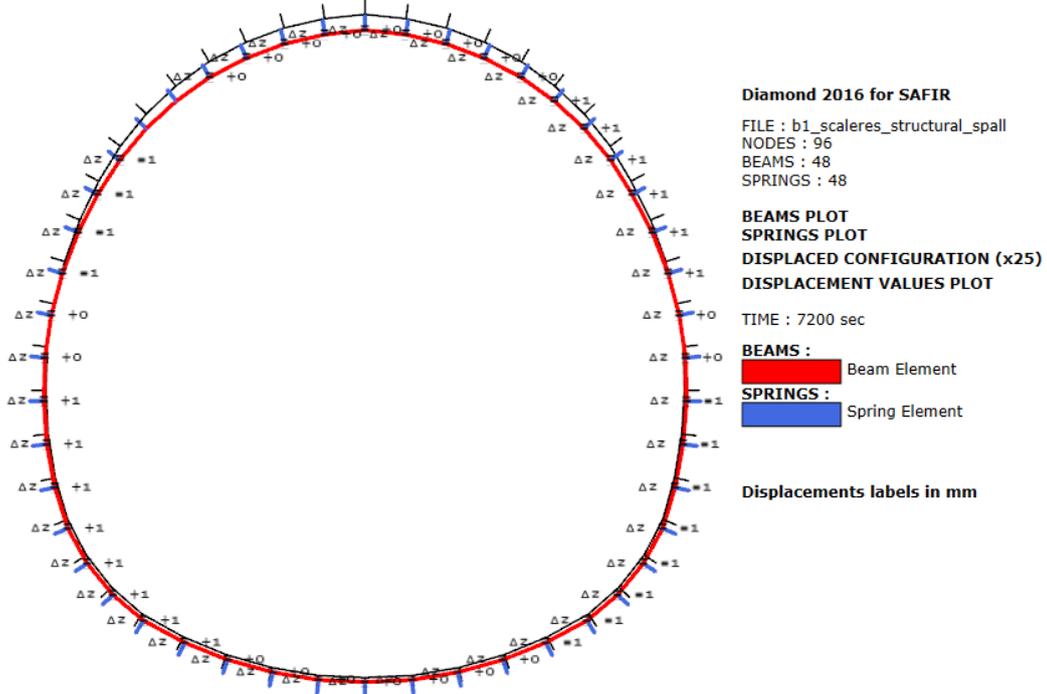


Figura 10-101 – Configurazione deformata

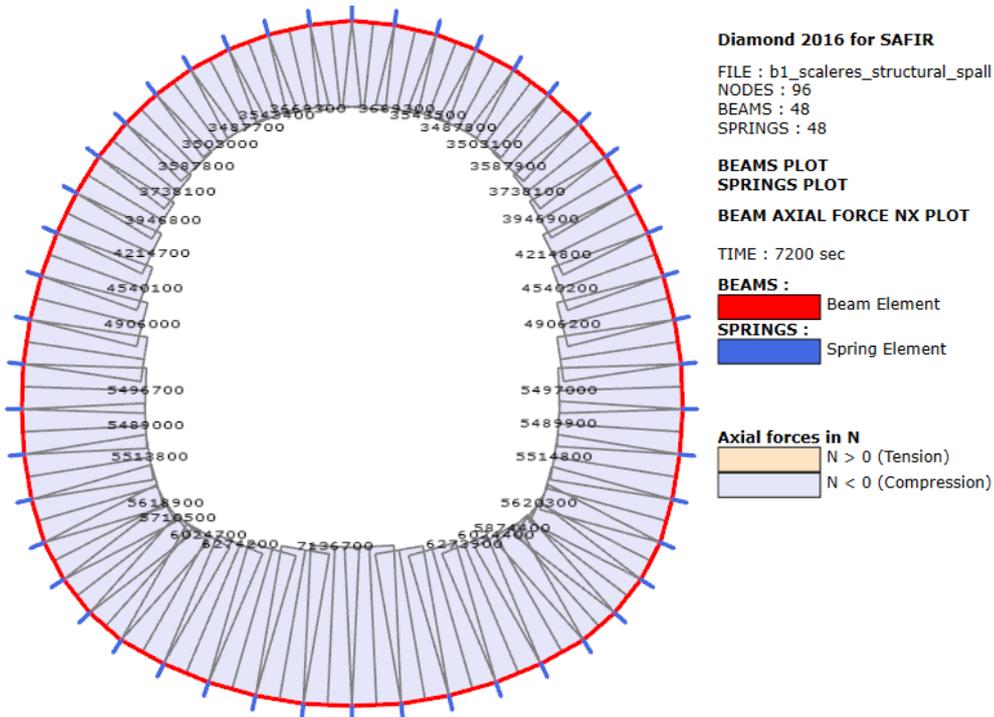


Figura 10-102 – Sforzo normale agente

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			
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 220 di 224

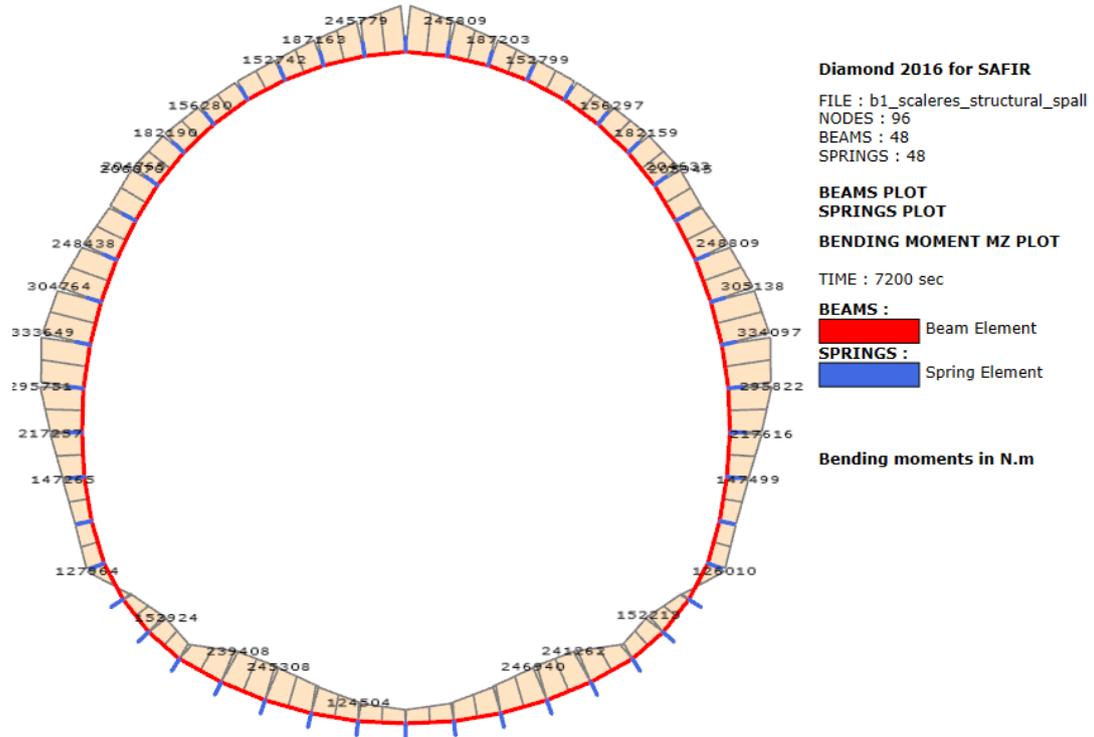


Figura 10-103 – Momento flettente

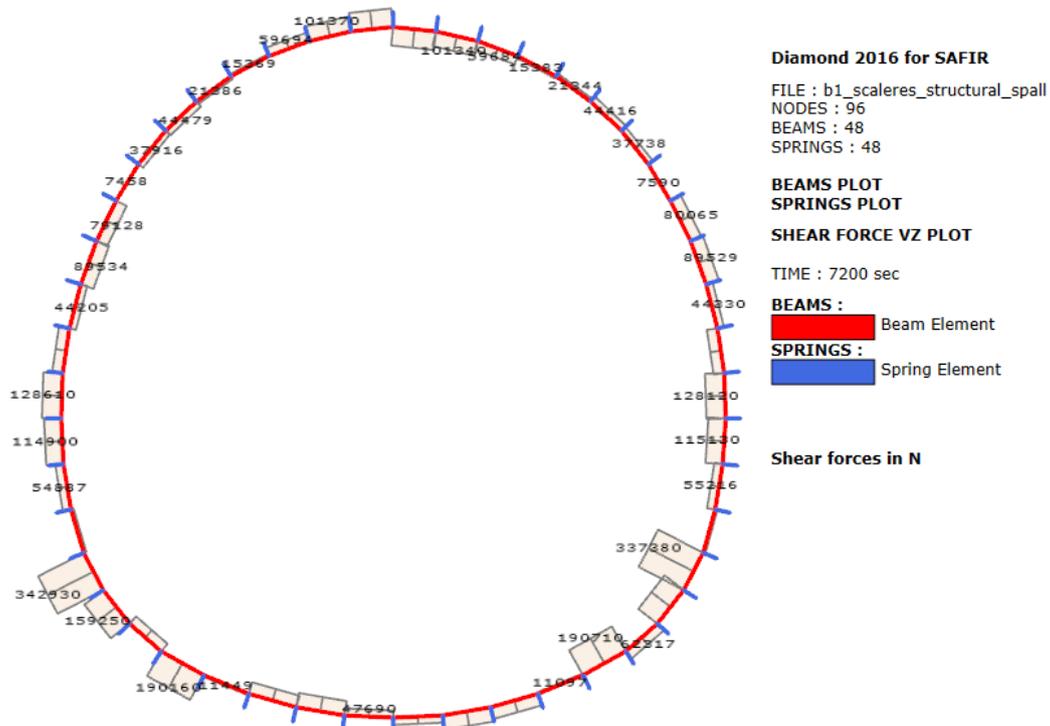


Figura 10-104 – Sforzo di taglio

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>GN0000009</td> <td>C</td> <td>221 di 224</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	221 di 224													

10.3 SINTESI DELLE VERIFICHE INCENDIO

Dai risultati delle analisi è possibile constatare come la struttura sia sempre in grado di resistere alle sollecitazioni e al degrado delle caratteristiche meccaniche generate da una curva d'incendio di tipo RWS per un tempo superiore alle 2 ore. In questo lasso di tempo la struttura infatti è sempre in grado trovare nuove configurazioni equilibrate che garantiscono la sicurezza strutturale della galleria.

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					
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	222 di 224

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 la variazione degli interventi da effettuarsi nell'ambito delle variabilità previste in progetto sulla base di quanto riscontrato in fase di scavo;
- definire il passaggio tra una sezione tipo e un'altra presente nel progetto all'interno delle tratte omogenee.

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 [41] per maggiori dettagli inerenti il sistema di monitoraggio.

Per quanto riguarda i criteri generali di applicazione delle sezioni tipo si rimanda al rapporto [40].

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		
GALLERIA GARDENA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1AEZZ	RH	GN0000009	C	223 di 224

12. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della galleria di linea Scaleres nelle tratte scavate con metodo tradizionale.

Il presente documento propone una serie di ottimizzazioni alle sezioni tipo previste nel progetto definitivo sulla base, oltre delle verifiche eseguite, anche delle seguenti considerazioni descritte nel dettaglio nel documento [42]:

- Approfondimenti sulle condizioni geologico-geotecniche e geomeccaniche e sui relativi scenari di rischio potenziali.
- 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. Ciò evidenzia in particolare che:
 - Con range di coperture variabili, ma anche elevate e GSI con intervalli da 35 a 80 sono state adottate sezioni analoghe, ma più leggere delle sezioni proposte nel presente documento quali le A1 e A1L.
 - Le faglie nei graniti del lotto Sotto-Attraversamento Isarco e Mules 2-3 sono state attraversate prettamente con sezione A2 (Sottopattraversamento Isarco) GL T3 (Mules 2-3) con soli spritz e ancoraggi e platea piana. Queste sezioni sono confrontabili alle sezioni tipo A1L del presente progetto.
 - In nessun caso per i lotti BBT, anche con coperture importanti e faglie rilevanti, era previsto a progetto ed è stata necessaria in fase esecutiva la messa in opera dei rivestimenti definitivi a deformazioni ancora in corso ovvero in prossimità del fronte di scavo.
 - A parità di condizioni geomeccaniche le sezioni tipo proposte per rapporto a BBT sono comunque maggiormente conservative.
- Dai risultati del monitoraggio della Galleria di base del Brennero, si possono trarre in conclusione le seguenti informazioni utili per le tratte dell'opera in esame scavate all'interno del granito dei Bressanone:
 - il prerivestimento è sostanzialmente scarico e le convergenze in galleria hanno raggiunto generalmente valori molto contenuti e al limite della precisione strumentale di misurazione con valore massimo di circa 0,5cm.
 - i risultati dei martinetti piatti, realizzati sul rivestimento definitivo di scavi di oltre 100m² vista la sezione a doppio binario, confermano che anche nel rivestimento definitivo non si registrano pressioni monitorabili.
 - Ne consegue che avendo l'evidenza di sollecitazioni e deformazioni nel prerivestimento e nel rivestimento definitivo molto più bassi rispetto a quanto calcolato con le analisi numeriche riportate nel presente documento, è possibile affermare che il comportamento all'interno dei graniti di Bressanone è decisamente migliore rispetto alle precedenti ipotesi progettuali.

Per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative sono state condotte le verifiche statiche, mediante analisi agli elementi finiti e di stabilità dei blocchi. 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						
GALLERIA GARDENA Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000009	REV. C	FOGLIO. 224 di 224

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 SEZIONE A0BIS
- 13.2 ALLEGATO 2 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE A1L
- 13.3 ALLEGATO 3 – REPORT PLAXIS DELLE SEZIONI DI CALCOLO
- 13.4 ALLEGATO 4 – VERIFICHE RIVESTIMENTO PROVVISORIO E DEFINITIVO