

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino  
ORDINE INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche  
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

Galleria Gardena

Relazione di calcolo - Scavo Tradizionale

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	C L	G N O 2 0 0	0 0 2	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	S.Spinello	26/02/2022	A.Valente	27/02/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	28/02/2022	
B	Emissione per indicazione committenza	L. Di Vittorio	18/07/2022	A.Valente	19/07/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	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	

File: IB0U1BEZZCLGN0200002C.docx	n. Elab.:
----------------------------------	-----------

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	2 di 285

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>7</b>
<b>2. SCOPO E CONTENUTI DEL PROGETTO</b> .....	<b>8</b>
2.1 DESCRIZIONE DELL' OPERA.....	9
2.1.1 Cameroni di comunicazione .....	9
2.1.2 Cameroni di interconnessione.....	10
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>11</b>
<b>4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>12</b>
4.1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	12
4.2 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	14
<b>5. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI</b> .....	<b>17</b>
5.1 METODO DELLE CURVE CARATTERISTICHE .....	17
5.2 ANALISI NUMERICHE BIDIMENSIONALI: PLAXIS2D .....	21
<b>6. FASE CONOSCITIVA</b> .....	<b>23</b>
6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	23
6.2 INDAGINI GEOTECNICHE .....	24
6.2.1 Indagini geofisiche .....	25
6.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	26
6.3.1 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi.....	26
6.3.2 Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità di interessate dalle opere.....	35
6.3.3 Il regime idraulico .....	36
<b>7. FASE DI DIAGNOSI</b> .....	<b>39</b>
7.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO .....	39
7.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO .....	40
7.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche .....	40
<b>8. CRITERI DI VERIFICA</b> .....	<b>53</b>
8.1.1 Stabilità del fronte e del cavo.....	53
8.1.2 Interazione opera terreno .....	53
8.2 CRITERI DI VERIFICA DEI RIVESTIMENTI IN CONDIZIONI STATICHE.....	54

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	3 di 285

8.2.1 Rivestimenti di prima fase .....	54
8.2.2 Rivestimenti definitivi.....	55
<b>9. IPOTESI DI BASE DI MODELLAZIONE .....</b>	<b>59</b>
9.1.1 PARAMETRI GEOTECNICI .....	59
9.1.2 STATO TENSIONALE IN SITO .....	60
9.1.3 MODELLAZIONE DEL REGIME IDROGEOLOGICO .....	60
9.1.4 CONSOLIDAMENTO DEL FRONTE E DEL CAVO .....	61
9.1.5 RIVESTIMENTO PROVVISORIO E DEFINITIVO .....	62
9.1.6 Metodo agli elementi finiti e mesh di calcolo .....	62
<b>10. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>64</b>
10.1 RIVESTIMENTI PROVVISORI .....	64
10.2 RIVESTIMENTI DEFINITIVI .....	65
<b>11. FASE DI TERAPIA.....</b>	<b>66</b>
11.1 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	67
11.1.1 Sezione A2 allargata .....	67
11.1.2 Sezione I0.....	68
11.1.3 Sezione I1.....	69
11.1.4 Sezione I2.....	70
11.1.5 Sezione I3.....	71
11.1.6 Sezione C0 tipo 1 .....	72
11.1.7 Sezione C0 tipo 2 .....	73
11.1.8 Sezione C1 tipo 1 .....	74
11.1.9 Sezione C1 tipo 2 .....	75
11.1.10 Sezione C2 .....	76
11.1.11 Sezione C3 .....	77
11.1.12 Sezione LTt.....	78
11.1.13 Sezione LMs.....	79
11.1.14 Sezione LTs .....	80
11.2 MODALITÀ DI SCAVO PREVISTE .....	81
11.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO .....	82
11.3.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi .....	82

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	4 di 285

11.4 SEZIONE C0 <sub>TIPO 1</sub> .....	85
11.4.1 Stabilità del fronte .....	85
11.4.2 INTERAZIONE OPERA TERRENO .....	86
11.5 SEZIONE C0 <sub>TIPO 2</sub> .....	87
11.5.1 Stabilità del fronte .....	87
11.5.2 Interazione opera-terreno .....	88
11.6 SEZIONE C1 <sub>TIPO1</sub> .....	89
11.6.1 Stabilità del fronte .....	89
11.6.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	91
11.6.3 Verifica degli elementi strutturali.....	100
11.7 SEZIONE C1 TIPO 2.....	106
11.7.1 STABILITA' DEL FRONTE .....	106
11.7.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	107
11.8 SEZIONE C2_SCENARIO 1 (NO FAGLIA).....	108
11.8.1 Stabilità del fronte .....	108
11.8.2 Interazione opera – terreno .....	110
11.8.3 Verifica degli elementi strutturali.....	119
11.9 SEZIONE C2_SCENARIO 2 (FAGLIA).....	126
11.9.1 Stabilità del fronte .....	126
11.9.2 Interazione opera – terreno .....	128
11.9.3 Verifica degli elementi strutturali.....	137
11.10 SEZIONE C3 .....	144
11.10.1 Stabilità del fronte .....	144
11.10.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	146
11.10.3 Verifica degli elementi strutturali.....	155
11.11 SEZIONE I0 .....	161
11.11.1 Stabilità del fronte .....	161
11.11.2 Interazione opera – terreno .....	163
11.11.3 Verifica degli elementi strutturali.....	171
11.12 SEZIONE I1 .....	178
11.12.1 Stabilità del fronte .....	178

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	5 di 285

11.12.2 Interazione opera – terreno .....	180
11.12.3 Verifica degli elementi strutturali.....	189
11.13 SEZIONE I2 .....	196
11.13.1 Stabilità del fronte .....	196
11.13.2 Interazione opera – terreno .....	198
11.13.3 Verifica degli elementi strutturali.....	207
11.14 SEZIONE I3 .....	214
11.14.1 Stabilità del fronte .....	214
11.14.2 Interazione opera – terreno .....	216
11.14.3 Verifica degli elementi strutturali.....	225
11.15 SEZIONE LTS.....	232
11.15.1 Stabilità del fronte .....	232
11.15.2 Interazione opera – terreno .....	233
11.16 SEZIONE LMS .....	246
11.16.1 STABILITA' DEL FRONTE.....	246
11.16.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	247
11.17 SEZIONE LTT.....	248
11.17.1 STABILITA' DEL FRONTE.....	248
11.17.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	249
11.18 SEZIONE A2 ALLARGATA.....	250
11.18.1 STABILITA' DEL FRONTE.....	250
11.18.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO .....	251
<b>12. VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO SEZIONE TIPO .....</b>	<b>252</b>
12.1 SEZIONE C3 .....	264
12.2 CONCLUSIONI .....	284
<b>13. ALLEGATI.....</b>	<b>285</b>
13.1 ALLEGATO 1 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE C0 TIPO 2 .....	285
13.2 ALLEGATO 2 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE C1 TIPO 2 .....	285
13.3 ALLEGATO 3 – ALLEGATO NUMERICO .....	285
13.4 ALLEGATO 4 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE CO TIPO1.....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
13.5 ALLEGATO 5 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE CO TIPO2.....	285

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 6 di 285

13.6 ALLEGATO 6 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C2 SCENARIO 1 .....	285
13.7 ALLEGATO 7 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C2 SCENARIO 2 .....	285
13.8 ALLEGATO 8 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C3 .....	285
13.9 ALLEGATO 9 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE IO .....	285
13.10 ALLEGATO 10 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I1 .....	285
13.11 ALLEGATO 11 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I2 .....	285
13.12 ALLEGATO 12 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I3 .....	285

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 7 di 285

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le analisi delle problematiche progettuali e la verifica degli interventi previsti per l'esecuzione dei cameroni di comunicazione e di interconnessione della galleria Gardena, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena: Lotto 1. L'opera in oggetto ricade rispettivamente nei limiti comunali di Funes in provincia di Bolzano. L'immagine sottostante permette la localizzazione geografica dell'opera in oggetto.

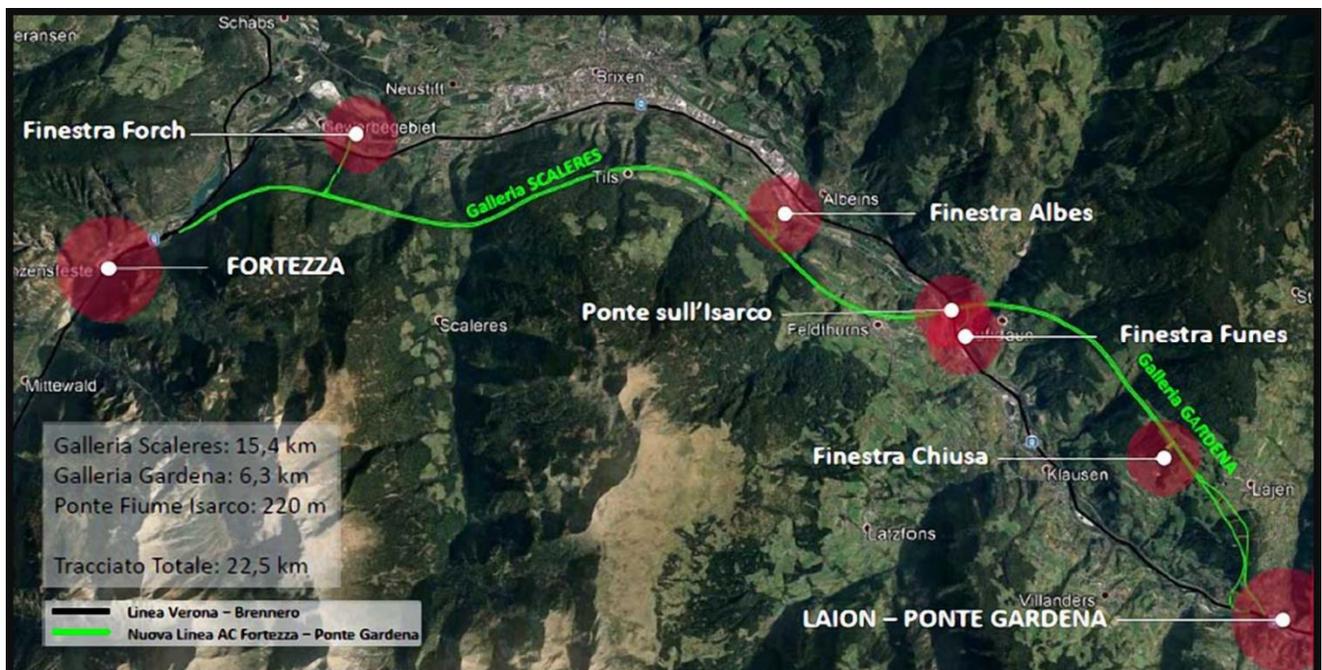


Figura 1-1 – Inquadramento tracciato opera

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	8 di 285

## 2. SCOPO E CONTENUTI DEL PROGETTO

La progettazione della Galleria Scaleres, condotta secondo il metodo ADECO-RS Rif. [13]Rif. [15] ,Rif. [14], 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 (Rif. [9]) 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 §8.2.
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
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. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 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 appunto: 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. L'approccio descritto è stato utilizzato per la progettazione di tutte le opere scavate con metodo tradizionale ivi compresa la galleria di linea ed i cameroni, oggetto della presente relazione.

Nel seguito, dopo una breve descrizione dell'opera e dei criteri di analisi, si riportano i calcoli di dimensionamento dei cameroni sviluppati per verificare l'adeguatezza delle soluzioni progettuali indicate, con particolare riferimento all'analisi statica dei rivestimenti provvisori e definitivi delle opere.

Per una corretta stima delle sollecitazioni nei rivestimenti, della variazione dello stato tensionale nei consolidamenti e nel terreno al contorno del cavo, nonché delle deformazioni dell'insieme terreno-struttura, le analisi numeriche sono state sviluppate simulando nel codice di calcolo la reale sequenza costruttiva dell'opera.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	9 di 285

## 2.1 DESCRIZIONE DELL' OPERA

### 2.1.1 Cameroni di comunicazione

#### 2.1.1.1. Sezioni di scavo e modalità esecutive

Come descritto nel dettaglio nel paragrafo seguente, lo scavo dei cameroni del binario pari, a Sud e Nord della finestra Chiusa, è previsto in allargo (sezioni tipo I) a seguito del passaggio della TBM. Successivamente, vengono realizzati i cameroni del binario dispari che invece prevedono la traslazione manuale interna della TBM (Sezioni tipo C). Infine si realizzano i cameroni di disconnessione. Tabella 2-1 fornisce un riepilogo dei cameroni di comunicazione della Galleria Gardena includendo anche le camere di disconnessione e di lancio. Si rimanda all' elaborato: "Cameroni di comunicazione - piante e sezioni IB0U1BEZZWZGN0200003".

Sezione di scavo			pk. inizio [km]	pk. fine [km]	L [m]
Comunicazione	SUD CHIUSA-B.P.	I1	21+038	21+122	84
	SUD CHIUSA-B.P.	I2	21+122	21+163	41
	SUD CHIUSA-B.P.	I3	21+163	21+196	33
	NORD CHIUSA-B.P.	I1	20+877	20+793	84
	NORD CHIUSA-B.P.	I2	20+793	20+752	41
	NORD CHIUSA-B.P.	I3	20+752	20+719	33
	SUD CHIUSA-B.D.	C0	21+574	21+475	99
	SUD CHIUSA-B.D.	C1	21+475	21+438	37
	SUD CHIUSA-B.D.	C2	21+438	21+397	41
	SUD CHIUSA-B.D.	C3	21+397	21+363	34
	NORD CHIUSA-B.D.	C0	20+451	20+549	98
	NORD CHIUSA-B.D.	C1	20+549	20+587	38
	NORD CHIUSA-B.D.	C2	20+587	20+628	50
	NORD CHIUSA-B.D.	C3	20+628	20+661	33
	NORD CHIUSA	LTs	20+719	20+661	116
SUD CHIUSA	LTs	21+196	21+363	116	
Disconnessione	NORD CHIUSA	C0	20+690		17
	SUD CHIUSA	C0	20+280		17
Lancio	B.D	LMs	20+675	20+661	14

Tabella 2-1 – Sezioni di scavo dei cameroni di comunicazione della Galleria Gardena

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 10 di 285	

## 2.1.2 Cameroni di interconnessione

### 2.1.2.1. Sezioni di scavo e modalità esecutive

Come mostrato con più dettaglio nelle planimetrie delle fasi esecutive, lo scavo dei cameroni del binario pari, è previsto in allargò (sezioni tipo I) a seguito del passaggio della TBM. I cameroni del binario dispari prevedono la traslazione manuale interna della TBM (Sezioni tipo C). Tabella 2-1 fornisce un riepilogo di tutta la tratta dei cameroni di interconnessione della Galleria Gardena includendo anche le camere di arrivo e di lancio. Si rimanda all' elaborato: "Cameroni di interconnessione - piante e sezioni IB0U1BEZZWZGN0200001".

Sezione di scavo			pk. inizio [km]	pk. fine [km]	L [m]
Interconnessione	B.P.	I0	21+967	22+007	40
	B.P.	I1	22+007	22+116	109
	B.P.	I2	22+116	22+173	57
	B.P.	I3	22+173	22+212	39
	B.D.	C0	21+632	21+672	40
	B.D.	C1	21+672	21+781	109
	B.D.	C2	21+781	21+840	59
	B.D.	C3	21+840	21+874	34
Arrivo	B.D.	LTt	21+874	21+910	46
	B.D.	C0	21+910	21+916	6
	B.P.	LTt	22+212	22+256	36
	B.P.	C0	22+256	22+262	6
Lancio	B.D.	LMS	21+874	21+889	15

Tabella 2-2 – Sezioni di scavo dei cameroni di interconnessione, arrivo e lancio della Galleria Gardena

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	11 di 285

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". G.U. 4 Febbraio 2008.
- Rif. [2] Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008 G.U. 26 febbraio 2009.
- Rif. [3] Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	12 di 285

## 4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Rif. [6] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [7] Carranza-Torres, C. and Fairhurst, C. (1999). General formulation of the elasto-plastic response of openings in rock using the Hoek-Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 36 (6), 777-809.
- Rif. [8] Carranza-Torres, C. and Fairhurst, C. 2000. The elasto-plastic response of underground excavations in rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 36(6), 777–809.
- Rif. [9] Fernandez, G e Moon J (2010). Excavation – induced hydraulic conductivity reduction around a tunnel – Part 2: Verification of proposed method using numerical modelling. Tunnelling and Underground Space Technology 25 (2010) 560-566.
- Rif. [10] Fernandez, G e Moon J (2010). Excavation – induced hydraulic conductivity reduction around a tunnel – Part 1: Guideline for estimate of ground water inflow rate. Tunnelling and Underground Space Technology 25 (2010) 567-574.
- Rif. [11] Hoek, E., Carranza-Torres, C., Diederichs, M.S. and Corkum, B. 2008. Integration of geotechnical and structural design in tunnelling. Proceedings University of Minnesota 56th Annual Geotechnical Engineering Conference. Minneapolis, 29 February 2008, 1-53
- Rif. [12] Hoek E., Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;
- Rif. [13] Lunardi, P. (2000). The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils. Tunnels and Tunnelling International, Special supplement, May 2000.
- Rif. [14] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [15] Möller S. (2006) – “Tunnel induced settlements and structural forces in linings”. Phd Thesis, IGS
- Rif. [16] Jassionnesse, C., Dubois, P. e Saitta, A. (1996). Tunnel face reinforcement by bolting, soil bolts homogenization strain approach. In Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Constructions in Soft Ground, Londra, 15-17 April 1996. Pubblicato da R.J. Mair e R.N. Taylor. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 373-378.
- Rif. [17] Panet M. (1995). Le Calcul Des Tunnels Par La Méthode Convergence-Confinement, edizioni ENPC, Parigi.
- Rif. [18] Panet M. & Guenot A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel. Tunneling 82, pp. 197-204, Brighton.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 13 di 285

- Rif. [19]P.G. Bonnier, S. Möller, P.A. Vermeer (2002) – “Bending moments and normal forces in tunnel linings”. V European Conference of Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Paris, France, 2002.
- Rif. [20]Sembenelli, P., Sembenelli, G. (1999). Deep Jet-Grouted Cut-Offs in Riverine Alluvia for Ertan Cofferdams, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 125, Issue 2 (February 1999)
- Rif. [21]Serafeimidis K. , M.Ramoni, G.Anagnostou „Analysing the stability of reinforced tunnel faces.“ Institute for geotechnical Engineering, ETH Zürich, Switzerland
- Rif. [22]Società Italiana Gallerie, Progetto Nazionale Normativa Opere in Sottterraneo, Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sottterraneo. Marzo 1997.
- Rif. [23]Tamez e L.Cornejo (1989) - “Instability at the face: its repercussion for tunnelling technology” Tunnels & Tunnelling, Aprile 1989.;
- Rif. [24]Tanzini, M. (2002). L'indagine Geotecnica. Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Rif. [25]Tanzini, M. (2006). Gallerie: Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione, Seconda Edizione, Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Rif. [26]Tanzini, M. (2010). Il manuale del Geotecnico, Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Rif. [27]Thomas, A. (2008). Sprayed Concrete Lined Tunnels, Taylor & Francis
- Rif. [28]Vlachopoulos N., Diederichs M. S.. 2009. Improved Longitudinal Dis-placement Profiles for Convergence Confinement Analysis of Deep Tunnels. Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Rif. [29]Muir Wood, A. M. (1979). Ground behaviour and support for mining and tunnelling. Proceedings of Tunnelling 1979, IMM, London.
-

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:							
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	14 di 285

#### 4.2 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo	IB0U1BEZZRGGN0000001
Profilo geotecnico - tav. 1	IB0U1BEZZF6GN0100002
Profilo geotecnico - tav. 2	IB0U1BEZZF6GN0100003
Profilo geotecnico - tav. 3	IB0U1BEZZF6GN0100004
Profilo geotecnico - tav. 4	IB0U1BEZZF6GN0100005
Profilo geotecnico - tav. 5	IB0U1BEZZF6GN0100006
Profilo geotecnico - tav. 6	IB0U1BEZZF6GN0100007
Profilo geotecnico - tav. 7	IB0U1BEZZF6GN0100008
Profilo geotecnico - tav. 8	IB0U1BEZZF6GN0100009
Planimetria - tav. 1	IB0U1BEZZP7GN0000001
Planimetria - tav. 2	IB0U1BEZZP7GN0000002
Planimetria - tav. 3	IB0U1BEZZP7GN0000003
Planimetria - tav. 4	IB0U1BEZZP7GN0000004
Planimetria - tav. 5	IB0U1BEZZP7GN0000005
Planimetria - tav. 6	IB0U1BEZZP7GN0000006
Planimetria - tav. 7	IB0U1BEZZP7GN0000007
Planimetria - tav. 8	IB0U1BEZZP7GN0000008
Planimetria - tav. 9	IB0U1BEZZP7GN0000009
Cameroni di interconnessione - piante e sezioni	IB0U1BEZZWZGN0200001
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C0 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200001
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C0 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGN0200002
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C0 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200001
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C0 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200001
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C1 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200003
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C1 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGN0200004
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C1 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200002
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C1 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200002
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C2 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200005
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C2 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGN0200006
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C2 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200003B
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C2 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200003B

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IB0U	1BEZZ	CL	GN0200002	C	15 di 285	

Cameroni di interconnessione - BD - sezione C3 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200007B
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C3 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGNO200008B
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C3 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200004B
Cameroni di interconnessione - BD - sezione C3 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200004B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I0 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200024B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I0 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGNO200025B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I0 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200017B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I0 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200017B
Cameroni di interconnessione - BP -sezione I1 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200026B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I1 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGNO200027B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I1 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200018B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I1 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200018B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I2 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200028B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I2 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGNO200029B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I2 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200019B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I2 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200019B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I3 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200030B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I3 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWBGNO200031B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I3 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200020B
Cameroni di interconnessione - BP - sezione I3 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200020B
Cameroni di comunicazione - piante e sezioni	IB0U1BEZZWZGNO200003B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C0 - Scavo e consolidamento	IB0U1BEZZWBGNO200012B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C0 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGNO200004B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C0 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200005B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C0 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200005B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C1 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200013B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C1 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGNO200005B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C1 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200006B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C1 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGNO200006B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C2 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGNO200014B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C2 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGNO200006B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C2 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGNO200007B

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	16 di 285

Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C2 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200007B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C3 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200015B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C3 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGN0200007B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C3 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200008B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BD - sezione C3 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200008B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I0 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200016B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I0 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGN0200008B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I0 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200009B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I0 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200009B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I1 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200017B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I1 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGN0200009B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I1 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200010B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I1 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200010B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I2 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200018B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I2 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGN0200010B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I2 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200011B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I2 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200011B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I3 - Scavo e consolidamenti	IB0U1BEZZWBGN0200032B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I3 - Carpenteria e particolari	IB0U1BEZZWZGN0200011B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I3 - Tipologico armatura	IB0V1BCZZBBGN0200021B
Cameroni di comunicazione Nord e Sud - BP - sezione I3 - Carpenteria centina	IB0U1BEZZBZGN0200021B
Cameroni di interconnessione - Fasi Esecutive 1/2	IB0U1BEZZW8GN0200001B
Cameroni di interconnessione - Fasi Esecutive 2/2	IB0U1BEZZW8GN0200002B
Cameroni di comunicazione - Fasi Esecutive 1/2	IB0U1BEZZW8GN0200003B
Cameroni di comunicazione - Fasi Esecutive 2/2	IB0U1BEZZW8GN0200004B

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	17 di 285

## 5. DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [7]) si è articolata nelle seguenti fasi:

- **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 (Rif. [3]) 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 §6;
- **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.
- **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. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel §10 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio.

**fase di verifica e messa a punto:** il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa (capitolo 11). Nel piano 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 della variabilità previste in progetto. Nel capitolo 11 sono inoltre descritti i criteri per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione della variabilità in funzione dei risultati del monitoraggio in corso d'opera.

I metodi di calcolo utilizzati per la verifica delle sezioni tipo delle gallerie naturali sono:

1. Metodo delle curve caratteristiche;
2. Metodi numerici agli elementi finiti;

Nei paragrafi successivi della presente relazione verranno spiegate le ipotesi principali su cui si basano i metodi sopra elencati.

Il software di calcolo utilizzato per la progettazione dei cameroni oggetto della presente relazione è Plaxis2D versione ultimate 2021: programma agli elementi finiti (FEA) – *Bentley Systems*.

### 5.1 METODO DELLE CURVE CARATTERISTICHE

Le curve caratteristiche consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

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

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia "p" applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento della roccia prodotto dall'avvicinarsi del fronte

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	18 di 285

di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso (Figura 5-1), cui corrisponde una convergenza radiale "u" crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso.

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

Per ogni galleria è possibile costruire due curve caratteristiche principali:

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

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

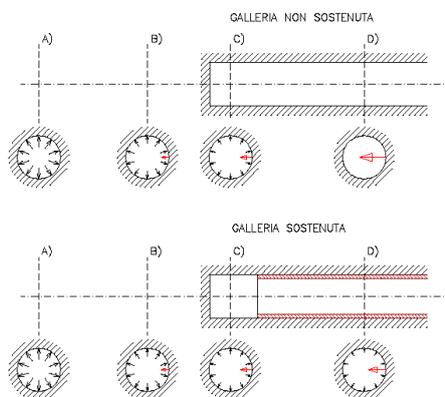


Figura 5-1 – Progressivo deconfinamento del bordo di scavo per simulare l'avanzamento della galleria

Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento  $> 0$  che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della curva caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo e al tipo di interventi previsti in avanzamento.

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve "caratteristiche" della galleria (Figura 5-2), dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	19 di 285

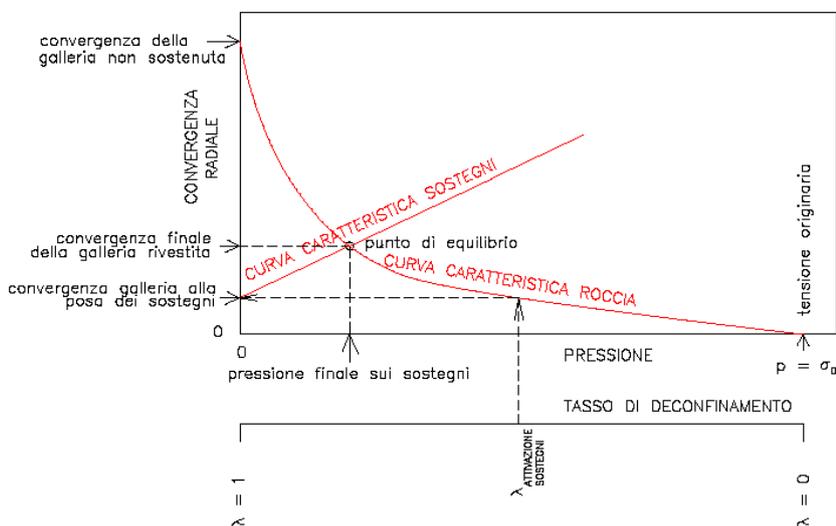


Figura 5-2 – Curve caratteristiche

La **curva caratteristica del rivestimento**, o curva di confinamento, è individuata dalla rigidità della struttura  $K_{st}$  e dallo spostamento radiale  $u_{d0}$  che si è già generato nell'intorno del cavo prima dell'installazione del supporto, messo in opera a distanza  $d_0$  dal fronte di avanzamento della galleria.

Il valore della convergenza alla distanza di posa in opera del rivestimento,  $u_{d0}$ , viene determinato simulando l'effetto di deconfinamento dovuto allo scavo e all'allontanamento del fronte per mezzo di una pressione fittizia applicata alla parete della galleria. Tale pressione, inizialmente pari allo stato di sforzo originario, viene ridotta fino ad un valore  $P^*$  definito da un tasso di rilascio  $\lambda$ :

$$P^* = (1 - \lambda) \cdot \sigma_0$$

In tutti i casi è necessario valutare lo spostamento al fronte "uf" per risalire allo spostamento radiale alla distanza  $d_0$ .

Tracciando la **curva caratteristica del fronte**, non solo si ricava il valore "uf", tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo la classificazione A.De.Co.Rs già presentata nei paragrafi precedenti.

Nota lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento  $\lambda$ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di confinamento risulta a questo punto completamente definita.

La condizione di equilibrio, individuata dallo spostamento radiale  $u_{re}$  o dalla pressione radiale  $P = P_e$ , è determinata dall'intersezione della curva caratteristica del terreno e di quella del rivestimento. Tale condizione risulta verificata se la pressione di equilibrio è inferiore alla resistenza massima propria del rivestimento.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	20 di 285

si scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

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

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

Infatti, quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione mediante utensili quali la sega dentata del pretaglio, il ripper, ecc. si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	21 di 285

## 5.2 ANALISI NUMERICHE BIDIMENSIONALI: PLAXIS2D

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 2018) che permette di simulare i tipici problemi di Ingegneria Geotecnica, e quindi anche lo studio delle gallerie, attraverso modelli in condizione di deformazione piana o di assialsimmetria.

Un modello in condizione di deformazione piana (*plain strain*) viene utilizzato per analizzare il comportamento della galleria nella sua sezione trasversale all'asse, assumendo deformazioni nulle nella direzione longitudinale (direzione z). Un esempio di modello *plain strain* è mostrato in Figura 5-3.

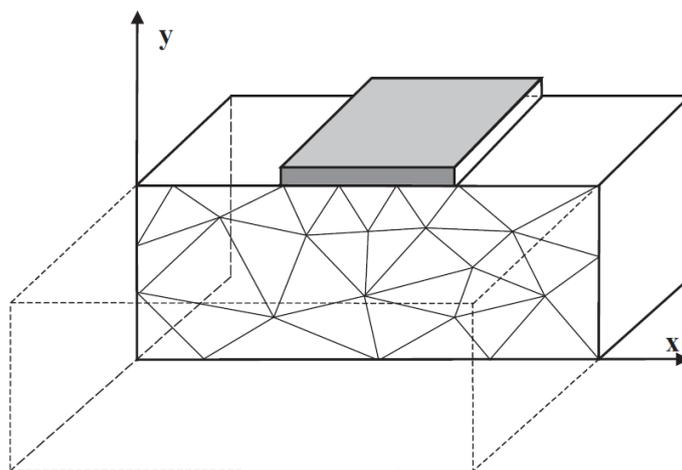


Figura 5-3 – Esempio di modello in condizione di deformazione piana.

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:

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

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  $\underline{b}$ .  $\underline{L}^T$  è la trasposta di un operatore differenziale, definito secondo l'equazione:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	22 di 285

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

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

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

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

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	23 di 285

## 6. 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.

### 6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Galleria gardena. Per un quadro esauriente e dettagliato si rimanda agli elaborati specialistici di U.O. Geologia del presente progetto (Rif. [9]).

Procedendo da Nord verso Sud, la galleria Gardena è interessata dalla presenza di un importante corpo di **Porfiroidi (p)**, roccia resistente e ricca in quarzo, costituita da metavulcaniti e metavulcanoclastiti acide, che presentano una struttura massiccia o leggermente foliata. Talvolta il loro aspetto è di tipo granitoide con colorazione variabile dal bianco lattiginoso al rossiccio. 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.

Attorno alla pk 16+850 si prevede la presenza di un filone di **Lave andesitiche (α)** che è stato osservato in superficie in destra idrografica del Rio Funes (stop 1152) e intercettato dal sondaggio EO19. Le **Lave andesitiche** sono rocce di origine vulcanica afferenti al Gruppo Vulcanico Atesino, mineralogicamente costituiti da microcristallini con struttura raramente olocristallina e per la maggior parte porfirica. I limiti del filone andesitico sono piuttosto netti in affioramento, ma la loro trasposizione in profondità è affetta da un margine di incertezza (Rif. [9]).

La galleria Gardena esce dal filone andesitico e sottoattraversa il Rio Funes, con copertura minima di 45 m circa, nelle **Filladi ricche in quarzo (BSSa)**. Tale formazione (**BSSa**) è composta da un'alternanza di filladi ricche in quarzo, quarziti filladiche e livelli più prettamente filladici. La scistosità appare meno evidente rispetto alle altre unità filladiche, per cui la roccia ha un aspetto generalmente più massivo. All'interno delle **Filladi ricche in quarzo** sono presenti lenti e corpi di **Porfiroidi** di limitato spessore.

In corrispondenza del sottoattraversamento del Rio Funes si ha una zona con elevato grado di danneggiamento legata alla faglia di Funes, retroscorrimento associato alla linea della Valsugana. Lo spessore della zona di danneggiamento della faglia di Funes è stato estrapolato dai dati geognostici e dai rilievi di superficie (Rif. [9]).

Superato il retroscorrimento di Gudon, in prossimità della pk 17+050 circa, la galleria Gardena entra nella formazione delle **Filladi carboniose (BSSc)**, filladi quarzifere alternate a lenti più o meno potenti contenenti grafite e con scistosità più marcata rispetto alle **Filladi ricche in quarzo (BSSa)**.

Il passaggio alle **Filladi ricche in quarzo (BSSa)** è in prossimità della pk 18+770, zona in cui si prevede la presenza di un sovrascorrimento alpino Nord vergente. I rilievi di superficie nella tratta in oggetto hanno evidenziato la presenza di alcuni lenti di **Porfiroidi (p)** all'interno delle **Filladi ricche in quarzo**. Si tratta tuttavia di affioramenti limitati e di modeste dimensioni che, unitamente alle elevate coperture, non consente di definire con certezza la presenza di **Porfiroidi** a quota cavo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	24 di 285

## 6.2 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni di interesse dalle opere all'aperto e in sotterraneo, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagine geognostiche, sia regresse (Pd CdS 2013) che riferite all'ultima fase progettuale (2017). 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.

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

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

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

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

Per i sondaggi profondi sono stati eseguiti:

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

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	25 di 285

### Campagna 2017, Italferr S.p.A.

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

Per i sondaggi profondi sono stati eseguiti:

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

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguiti:

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

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici di U.O. Geologia (Rif. [9]) e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sul profilo geotecnico di progetto (Rif. [4]-[7]).

#### 6.2.1 Indagini geofisiche

Durante la campagna 2012-2013, sono stati eseguiti:

- n° 27 profili sismici a rifrazione;
- n° 22 profili tomografici elettrici;
- n° 10 prove MASW/Re.Mi;
- n° 5 prove Cross-Hole;
- n° 2 prove Down-Hole;
- n° 59 rilievi HVSr;
- n° 1 stazioni magnetotellurgiche.

Nell'ambito della campagna 2017, sono stati eseguiti:

- n° 20 profili sismici a rifrazione;
- n° 7 profili tomografici elettrici;
- n° 13 prove MASW/Re.Mi;
- n° 1 prova Down-Hole;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	26 di 285

- n° 59 rilievi HVSR;
- n° 21 stazioni magnetotellurgiche.

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici di U.O. Geologia (Rif. [9]).

### 6.3 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.

Con riferimento alla galleria Gardena si riportano in Figura 6-1 le unità geologiche interessate dallo scavo:

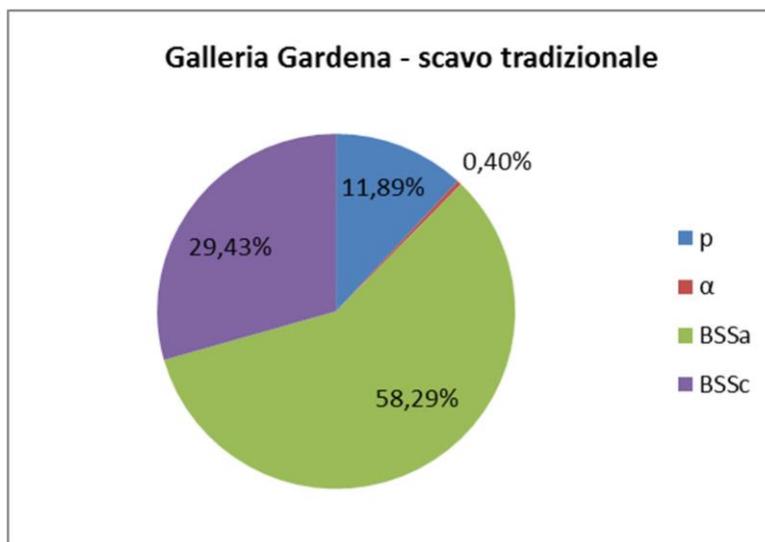


Figura 6-1 – Unità geologiche di galleria Gardena, scavo in tradizionale.

#### 6.3.1 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi

La galleria Gardena, come già rappresentato in Figura 6-1, attraversa le formazioni appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico (*BSSa*, *BSSc*, *p*) e le *Lave andesitiche* ( $\alpha$ ) appartenenti ai Depositi sedimentari e Vulcaniti permiane.

Per queste Unità Geologiche 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.

##### 6.3.1.1. Caratterizzazione della matrice litoide

Per ogni Unità Geotecnica, sono stati analizzati i risultati provenienti dalle prove di laboratorio (compressione monoassiale, compressione triassiale e misure di velocità ultrasonica) che hanno consentito di definire le principali caratteristiche meccaniche della matrice: la resistenza a compressione  $\sigma_{ci}$  e il modulo elastico  $E_i$ . Tutte le prove di laboratorio utilizzate per la caratterizzazione della matrice litoide sono riportate in allegato.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	27 di 285

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. [11]) che lega il modulo elastico  $E_i$  alla velocità delle onde P ( $v_p$ ) secondo quanto rappresentato in Figura 6-2:

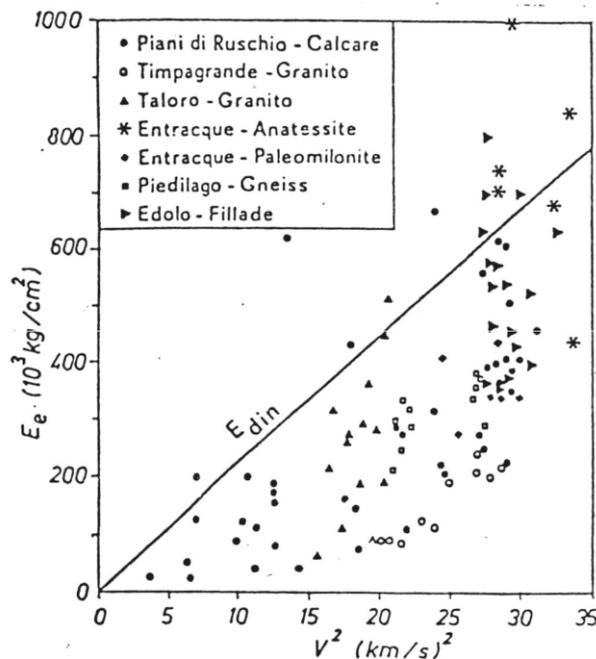


Figura 6-2 – Correlazione  $E_i - v_p$  Lembo Fazio e Ribacchi (1984).

### Depositi sedimentari e Vulcaniti permiane

Le *Lave andesitiche* sono state intercettate lungo il sondaggio E019 e in superficie dal rilievo geostrutturale 1152.

Non essendo però disponibili prove di laboratorio, si è fatto riferimento a valori di letteratura per la definizione della resistenza a compressione della roccia intatta, definendo il seguente intervallo di valori:

$$100 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 150 \text{ MPa}$$

Per il modulo di Young della roccia intatta  $E_i$ , si è considerato il Modulus ration (MR), che lega il valore di  $E_i$  con la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$ :

$$E_i = \text{MR} \cdot \sigma_{ci}$$

Da letteratura tecnico-scientifica il valore di MR per le formazioni andesitiche è pari a  $400 \pm 100$ , per cui, assumendo il valore minimo di resistenza a compressione della roccia pari a 100 MPa, si ottiene il seguente range di variabilità del modulo elastico della roccia intatta:

$$30 \text{ GPa} \leq E_i \leq 50 \text{ GPa}$$

Per la caratterizzazione della matrice litoide delle *Lave andesitiche*, sono stati assunti i valori minimi dei range sopra riportati:

$$\sigma_{ci} = 100 \text{ MPa}$$

$$E_i = 30 \text{ GPa}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	28 di 285

## Basamento Metamorfico Ercinico

Filladi a granato (BSS), Filladi ricche in quarzo (BSSa), Filladi (BSSb), Filladi carboniose (BSSc)

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

- a. *Filladi ricche in quarzo – BSSa;*
- b. *Filladi a granato – BSS;*
- c. *Filladi – BSS;*
- d. *Filladi carboniose – BSSc;*

per cui sono state considerate anche le *Filladi BSSb* e *BSS* non attraversate dalla galleria Scaleres.

Le *Filladi BSSb*, intercettate dalle gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena e dalla Finestra Chiusa, sono caratterizzate da percentuali variabili di quarzo, mentre le *Filladi a granato BSS*, attraversate dalla galleria Scaleres e dalla Finestra Forch, sono rocce filladiche caratterizzate da porzioni più ricche in quarzo e da porzioni con prevalenza di fillosilicati.

In Figura 6-3 e Figura 6-4 sono diagrammati i valori della resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_{ci}$  e del modulo elastico  $E_i$  distinti per le formazioni *BSSa*, *BSS/BSSb* e *BSSc*. Come si può notare i valori di  $\sigma_{ci}$  relativi alla formazione *BSSc* occupano la porzione inferiore del grafico rispetto al totale del campione a disposizione. Il risultato ottenuto conferma il comportamento delle *Filladi Carboniose BSSc*, caratterizzate dalla presenza di grafite. Per i valori del modulo elastico della formazione *BSSc*, invece, si osserva una maggiore dispersione rispetto alla popolazione dei dati.

Come si evince da Figura 6-5e da Figura 6-6, dal punto di vista geotecnico non emergono differenze significative tra le formazioni *BSSa*, *BSS* e *BSSb*, che quindi saranno accoppiate in un'unica unità geotecnica definita *BSS\**. La formazione *BSSc* sarà caratterizzata separatamente.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	29 di 285

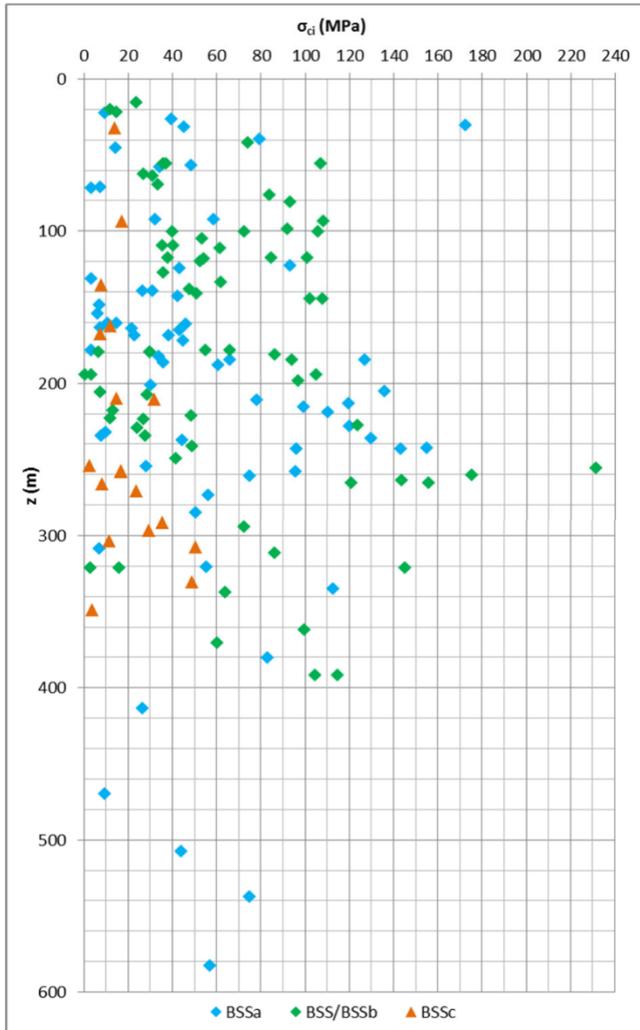


Figura 6-3 – Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide.

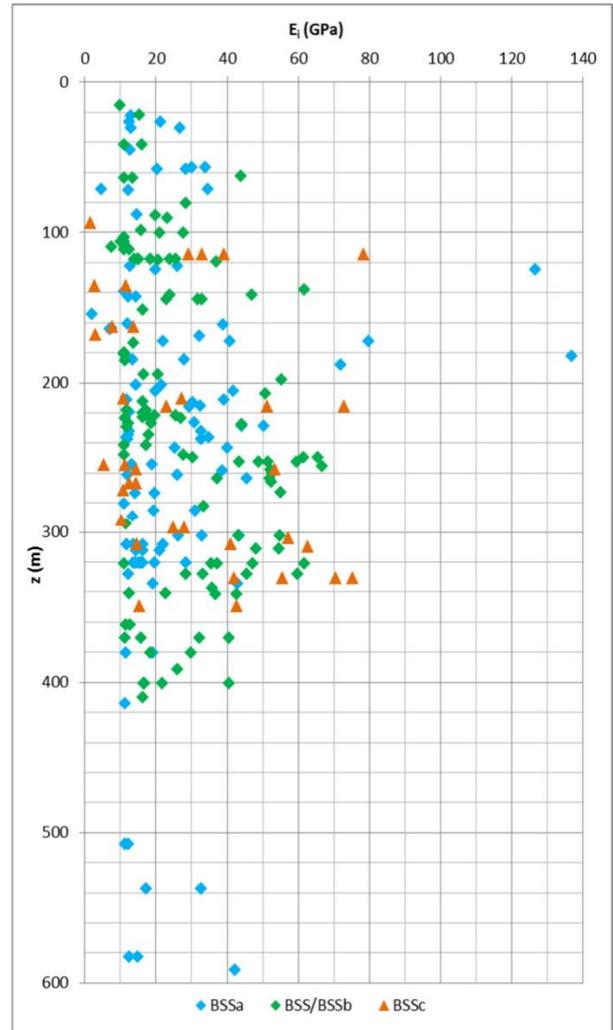


Figura 6-4 – Modulo elastico della matrice litoide.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	30 di 285

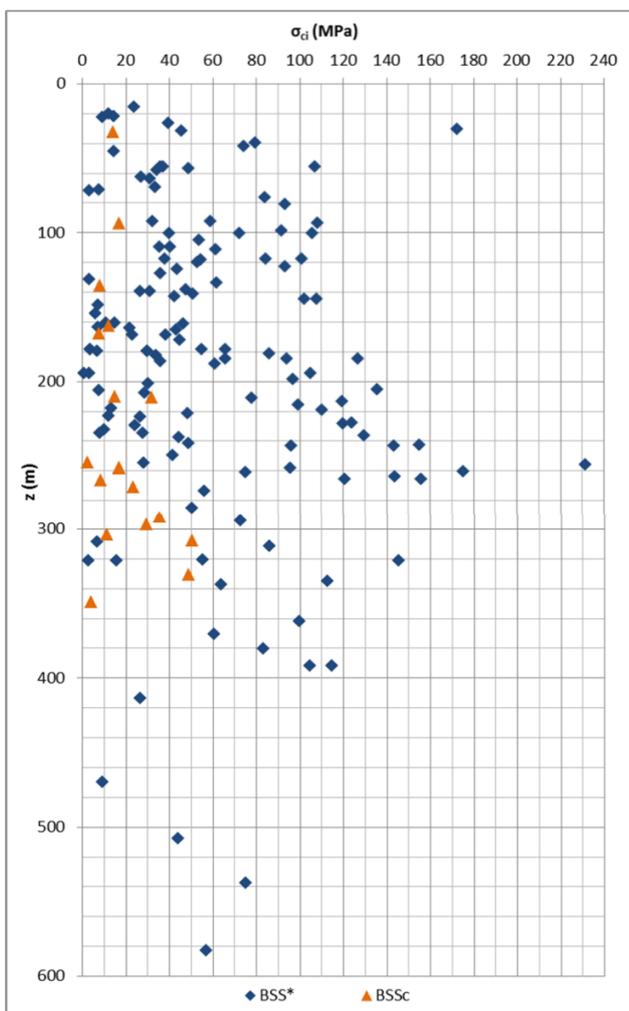


Figura 6-5 – Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide delle formazioni BSS\* e BSSc

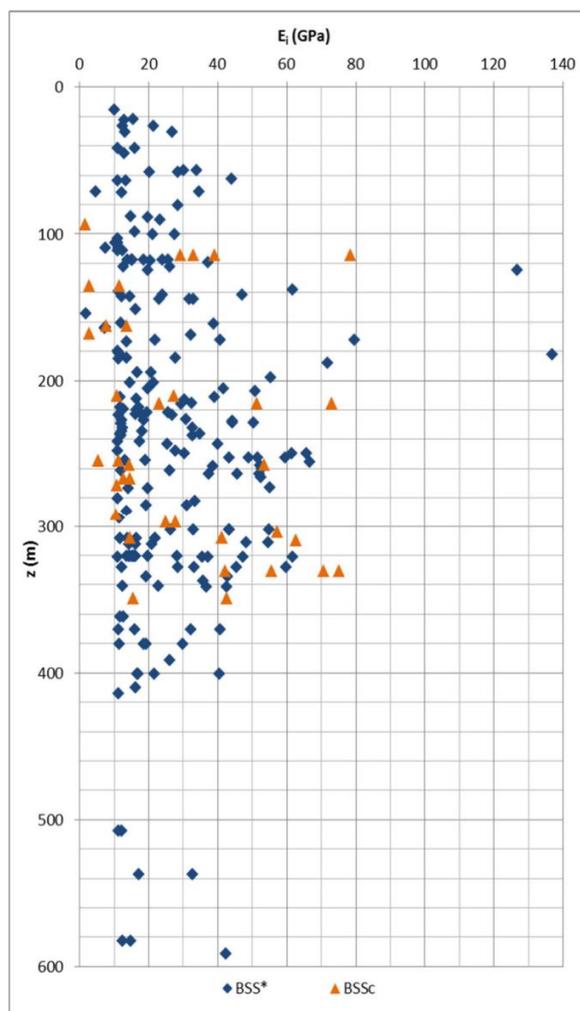


Figura 6-6 – Modulo elastico della matrice litoide delle formazioni BSS\* e BSSc.

Il range di variabilità dei parametri geotecnici scelti per l'unità BSS\* (BSSa, BSS e BSSb), rappresentato in Figura 6-7 e in Figura 6-8, è di seguito riportato:

$$BSS^* (BSSa, BSS, BSSb): \quad 35 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 80 \text{ MPa}$$

$$17 \text{ GPa} \leq E_i \leq 35 \text{ GPa}$$

Al fine di tener conto della maggiore percentuale di quarzo presente nelle filladi BSSa e in funzione dei range di variabilità sopra riportati, sono stati definiti i seguenti valori caratteristici della matrice litoide da utilizzare nelle analisi:

$$BSSa: \quad \sigma_{ci} = 55 \text{ MPa}$$

$$E_i = 27 \text{ GPa}$$

$$BSS/BSSb: \quad \sigma_{ci} = 40 \text{ MPa}$$

$$E_i = 22 \text{ GPa}$$

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
GALLERIE		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 31 di 285
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale						

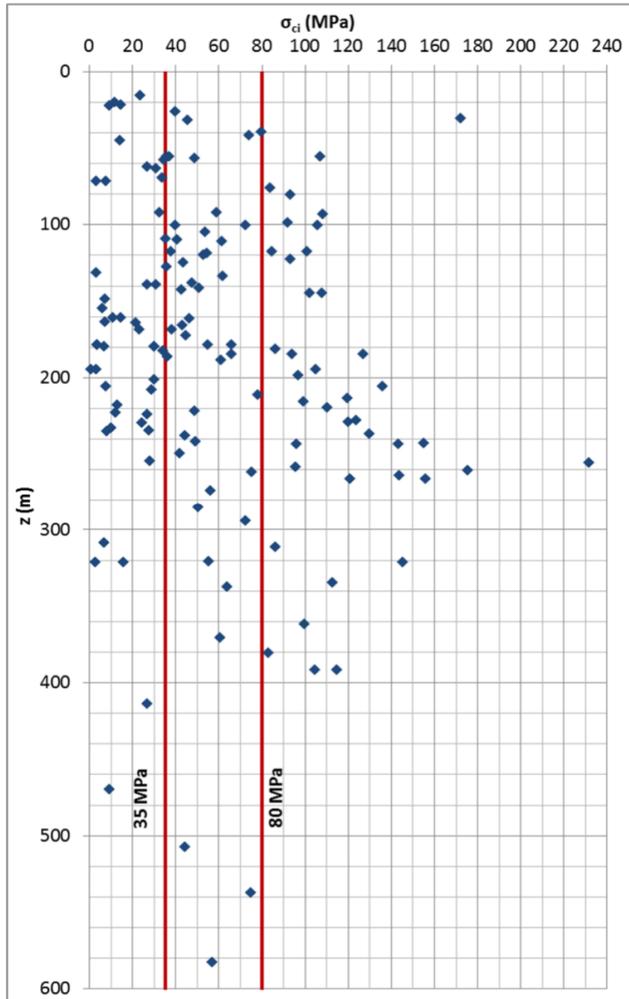


Figura 6-7 – Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide BSS\* (BSSa, BSS/BSSb)

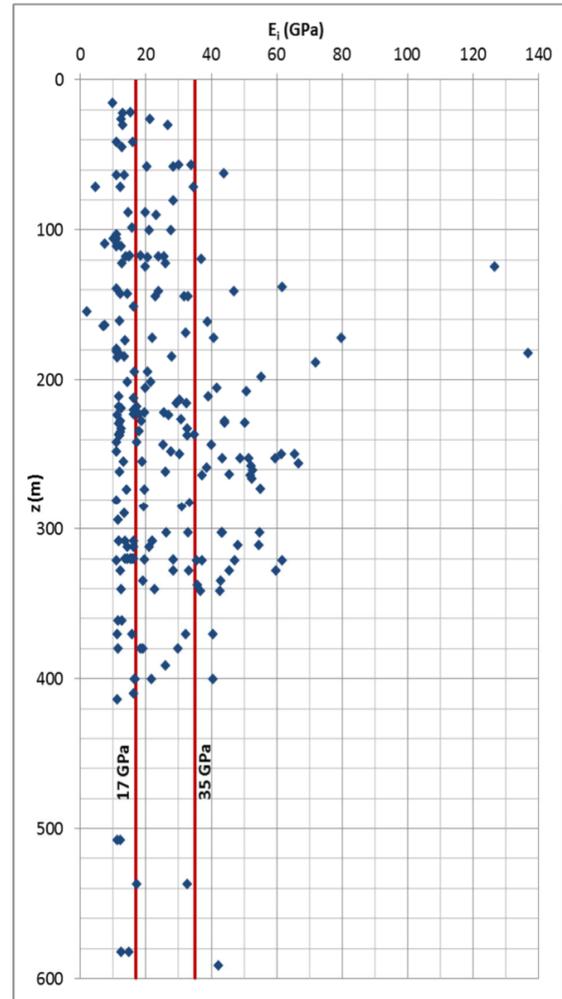


Figura 6-8 – Modulo elastico della matrice litoide BSS\* (BSSa, BSS/BSSb).

Per definire il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$  per le Filladi grafitose (BSSc), si è scelto di non considerare il valore della  $\sigma_{ci}$  pari a 139.3 MPa ricavato dalla prova triassiale, poiché è un valore molto elevato rispetto alla popolazione di dati disponibili. Per cui il range di variabilità dei parametri geotecnici scelti per l'unità BSSc, rappresentato in Figura 6-9 e in Figura 6-10, è di seguito riportato:

$$BSSc: \quad 13 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 34 \text{ MPa}$$

$$19 \text{ GPa} \leq E_i \leq 42 \text{ GPa}$$

In funzione dei range di variabilità sopra riportati, sono stati definiti i seguenti valori caratteristici della matrice litoide da utilizzare nelle analisi:

$$BSSc: \quad \sigma_{ci} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_i = 19 \text{ GPa}$$

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	32 di 285

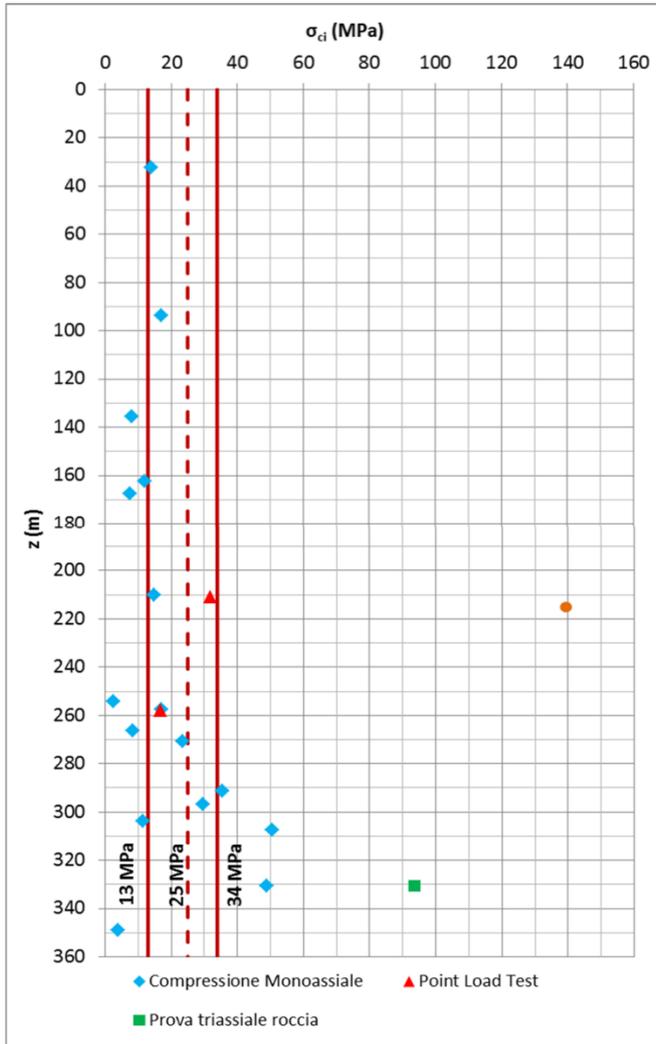


Figura 6-9 – Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide BSSc.

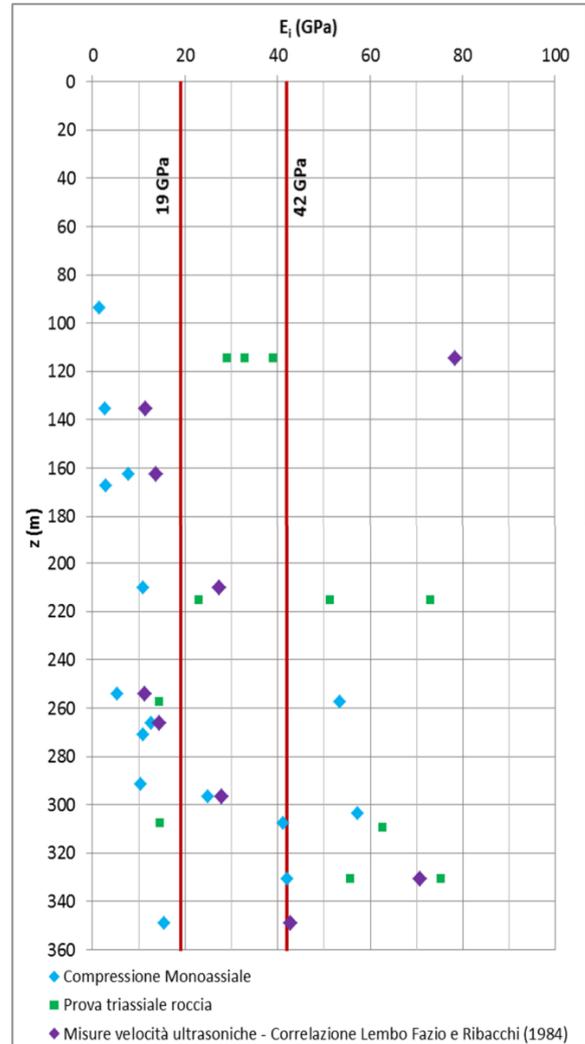


Figura 6-10 – Modulo elastico della matrice litoide BSSc.

### 6.3.1.2. 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. [12]) e alla definizione dell'indice GSI (Geological Strength Index method, 1994) come riportato in Figura 6-11 (Rif. [13]).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	33 di 285

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

Figura 6-11 – Stima dell'indice GSI sulla base della descrizione geologica dell'ammasso (Hoek e Marinos, 2000).

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  $RMR_{base}$ :

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	34 di 285

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1997) (Rif. [12]) 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:

$\sigma'_1$  è la tensione principale efficace maggiore a rottura;

$\sigma'_3$  è la tensione principale efficace minore a rottura;

$\sigma_{ci}$  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  $\varphi'$ , 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. [14]).

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 (§6.2) (Rif. [9]). Considerando che il  $GSI$ , determinato attraverso i rilievi su carote, è affetto da incertezze e da indeterminazioni e quindi può risultare non rappresentativo e non affidabile per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è dato maggior peso al  $GSI$  determinato da rilievi di superficie.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse e di definire un range di variazione del Geological Strength Index ( $GSI$ ) in funzione della profondità e dello stato di fratturazione come riportato in Tabella 6-1 – Range di variabilità dell'indice  $GSI$ .

. 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]-[7]).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	35 di 285

Classi di copertura (m)	GSI – Galleria Gardena			
	$\rho$	$\alpha$	$BSS^*$ ( $BSSa, BSS, BSSb$ )	$BSSc$
< 30	30 ÷ 40	-	-	-
30 ÷ 50	40 ÷ 45	50 ÷ 55	35 ÷ 45	-
50 ÷ 100	45 ÷ 50	50 ÷ 55	40 ÷ 50	-
100 ÷ 150	50 ÷ 60	-	40 ÷ 50	-
150 ÷ 300	-	-	45 ÷ 55	40 ÷ 50
300 ÷ 450	-	-	55 ÷ 60	45 ÷ 50
450 ÷ 600	-	60 ÷ 70	60 ÷ 70	50 ÷ 60
> 600	-	-	-	-

Tabella 6-1 – Range di variabilità dell'indice GSI.

### 6.3.2 Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità di interessate dalle opere

Di seguito si riportano gli intervalli dei principali parametri fisico-meccanici delle unità interessate dalle opere afferenti la Galleria Gardena.

Unità	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\sigma_{ci}$ (MPa)	E (GPa)
$\rho$	27	40 ÷ 60	12 ÷ 33
$\alpha$	26	100 ÷ 150	30 ÷ 50
$BSS^*$	27	35 ÷ 80	17 ÷ 35
$BSSc$	27	13 ÷ 34	19 ÷ 42

Tabella 6-2– Riepilogo dei parametri meccanici della matrice litoide.

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, sono stati individuati in Tabella 6-3 i parametri caratteristici appropriati per le verifiche delle opere in sotterraneo. In funzione della copertura e dell'indice GSI potranno essere definite le caratteristiche dell'ammasso roccioso (§6.3.1.2).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	36 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

Unità	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{ci}$ (MPa)	E (GPa)	$m_i$ (-)
$p$	27	50	22.5	7
$\alpha$	26	100	30	25
BSS*	27	55	27	7
BSSc	27	25	19	7

Tabella 6-3 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici della matrice litoide usati nelle analisi.

### 6.3.3 Il 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.

Per il gruppo delle *Filladi* (BSS, BSSa, BSSb, BSSc), sulla base delle prove di permeabilità in foro, si osserva che il grado di conducibilità idraulica diminuisce con la profondità (il cui campo di variabilità totale è compreso fra valori massimi di  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s e valori minimi di  $10^{-9}$  m/s).

In Tabella 6-4 sono riportate le cinque classi di permeabilità definite per il presente progetto e i rispettivi range di variabilità della permeabilità (Rif. [9]), mentre nella Tabella 6-5 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 6-4 – Classi di permeabilità.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	37 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

CLASSI DI PERMEABILITA'		RANGE DI PERMEABILITA' (m/s)	
Molto Bassa	K1	<i>Dioriti quarzifere di Chiusa</i>	$\delta$
		<i>Granito di Bressanone</i>	$\gamma_{bi}$
		<i>Granodioriti di tiles</i>	<i>GDT</i>
		<i>Brecce di intrusione</i>	<i>BDI</i>
Bassa	K2	<i>Filladi a granato</i>	<i>BSS</i>
		<i>Filladi ricche in quarzo</i>	<i>BSSa</i>
		<i>Filladi</i>	<i>BSSb</i>
		<i>Filladi carboniose</i>	<i>BSSc</i>
		<i>Aureola metamorfica</i>	<i>MPC</i>
		<i>Porfiroidi</i>	$p$
		<i>Paragneiss di Laion</i>	<i>PRL</i>
Medio - Alta	K4	<i>andesiti</i>	$\alpha$
		<i>Depositi alluvionali - deltizi</i>	<i>Dlt, at, ar</i>
		<i>Depositi colluviali</i>	$c$
		<i>Conoidi di detrito</i>	$cd$
		<i>Conoide fluviale</i>	$cf$
		<i>Detrito di versante</i>	$d$
Alta	K5	<i>Deposito fluvioglaciali</i>	$df$
		<i>Accumulo di frana</i>	$f$
		<i>Depositi antropici</i>	$h$

Tabella 6-5 – 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 6-5.

Sul profilo geotecnico è riportata l'attribuzione degli intervalli di permeabilità sopra definiti (Rif. [4]-[7]).

La stima delle possibili interferenze dell'opera in progetto sulle risorse idriche è stata effettuata utilizzando l'indice DHI Drawdon Hazard Index (Rif. [9]). L'indice DHI prevede la modellazione dell'ammasso roccioso 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 6-6.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	38 di 285

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

Tabella 6-6 – 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 nulla, 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. [9]).

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. [9]).

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. [9]). 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
- 5.  $q > 20$  l/s/10m

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	39 di 285

## 7. 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. [7]), 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.

### 7.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [7]) 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 eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	40 di 285

tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento a contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un compartimento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

## 7.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle curve caratteristiche, poiché le opere in esame sono caratterizzate da coperture medio-alte e si possono classificare come gallerie profonde ( $C > 2.5 \div 3 D$ ).

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

### 7.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

#### 7.2.1.1. 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  $\lambda$  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;
- stato tensionale iniziale isotropo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	41 di 285	

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, ottenuto linearizzando il criterio di resistenza di Hoek-Bronw nell'opportuno intervallo tensionale (Hoek & Brown, 1997) (Rif. [12]). Per il calcolo della curva caratteristica del fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche. In tutti i casi si sono considerate condizioni asciutte ed un valore del coefficiente di Poisson pari a 0.25.

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.

#### 7.2.1.2. 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 individuate le sezioni di analisi riepilogate nella tabella seguente:

Cameroni di comunicazione – Sezioni analizzate										
Sezione di calcolo	Unità	pk [km]	H [m]	A <sub>scavo</sub> [m <sup>2</sup> ]	R <sub>eq</sub> [m]	S <sub>m</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>k</sub> [kPa]	φ' <sub>k</sub> [kPa]	E <sub>k</sub> [Gpa]
C0 tipo 1	BSSa	21+310	524.0	139.6	6.7	14.15	27	2255	37.7	17.06
C0 tipo 2	BSSa	21+310	524.0	139.6	6.7	14.15	27	1266	30.7	4.311
C1 tipo 1	BSSa	21+304	536.8	169.0	7.3	14.49	27	2279	37.5	17.06
C1 tipo 2	BSSa	21+304	536.8	169.0	7.3	14.49	27	1285	30,5	4.311
C2 (scen 1)	BSSa	21+254	545.6	239.0	8.7	14.73	27	2295	37.4	17.06
C2 (scen 2)	BSSa	21+254	540	239.0	8.7	14.58	27	1289	30.5	4.311
C3	BSSa	21+201	555.3	315.4	10.0	14.99	27	2313	37.2	17.06
I1	BSSa	20+729	599.0	160.2	7.1	16.17	27	2392	36.7	17.06
I2	BSSa	20+661	599.4	230.0	8.6	16.18	27	2393	36.7	17.06
LTs	BSSa	21+115	567.3	93.7	5.5	15.32	27	2335	37.1	17.06
Lms	BSSa	20+506	585	95.0	5.5	15.79	27	2367	36.8	17.06
Ltt	BSSa	20+576	590	95.0	5.5	15.93	27	2376	36.8	17.06
A2allargata	BSSa	20+861	590	128.6	6.4	15.93	27	2376	36.8	17.06

H: profondità dell'asse della galleria  
S<sub>m</sub> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	42 di 285

<p><math>A_{scavo}</math>: area di scavo</p> <p><math>R_{eq}</math>: raggio di scavo equivalente</p> <p><math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso</p> <p><math>c'_k</math>: valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso</p> <p><math>\phi'_k</math>: valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso</p> <p><math>E_k</math>: valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso</p>
---

Tabella 7-1– Cameroni di comunicazione - Sezioni analizzate con il metodo delle curve caratteristiche: dati di input.

Cameroni di interconnessione – Sezioni analizzate										
Sezione di calcolo	Unità	pk [km]	H [m]	$A_{scavo}$ [m <sup>2</sup> ]	$R_{eq}$ [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [kPa]	$E_k$ [Mpa]
I0	BSSa	21+895	525.4	132.7	6.5	14.19	27	2258	37.6	17.06
I3	BSSa	22+075	547.4	304.5	9.8	14.78	27	2299	37.3	17.06

<p>H: profondità dell'asse della galleria</p> <p><math>S_m</math> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria</p> <p><math>A_{scavo}</math>: area di scavo</p> <p><math>R_{eq}</math>: raggio di scavo equivalente</p> <p><math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso</p> <p><math>c'_k</math>: valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso</p> <p><math>\phi'_k</math>: valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso</p> <p><math>E_k</math>: valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso</p>
---

Tabella 7-2– Cameroni di interconnessione - Sezioni analizzate con il metodo delle curve caratteristiche: dati di input.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	43 di 285

### 7.2.1.3. Risultati delle analisi

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

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso  $\sigma_c = (2c' \cos\varphi') / (1-\sin\varphi')$  la pressione critica al fronte  $p_c = (3S_m - 2\sigma_c) / (1+2K_p)$ , con  $K_p$  coefficiente di spinta passiva, 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:

$\sigma_c/p_c$	Classe di comportamento
$\geq 1.2$	A
$< 1.2$ e $\geq 0.8$	A / B
$< 0.8$ e $\geq 0.2$	B / C
$< 0.2$	C

$\sigma_c = (2c' \cos\varphi') / (1-\sin\varphi')$ : resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso.  
 $p_c = (3S_m - 2\sigma_c) / (1+2K_p)$ : pressione critica al fronte.

Tabella 7-3 – Criterio 1

$u_F/R_{eq}$	$R_{pF}/R_{eq}$	Classe di comportamento
$\leq 0.2 \%$	$\leq 1.1$	A
$> 0.2 \%$ e $\leq 0.5 \%$	$> 1.1$ e $\leq 1.5$	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 7-4 – 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 nelle tabelle a seguire. Per maggior completezza la tabella riporta anche la convergenza radiale ( $u_\infty$ ) e il raggio plastico ( $R_p$ ) finali in assenza di sostegno.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 44 di 285

Per le sezioni che prevedono lo scavo parzializzato si riporta la curva caratteristica corrispondente all' area di scavo totale, comprensiva cioè delle tre porzioni del fronte scavate in sequenza: calotta, strozzo e arco rovescio.

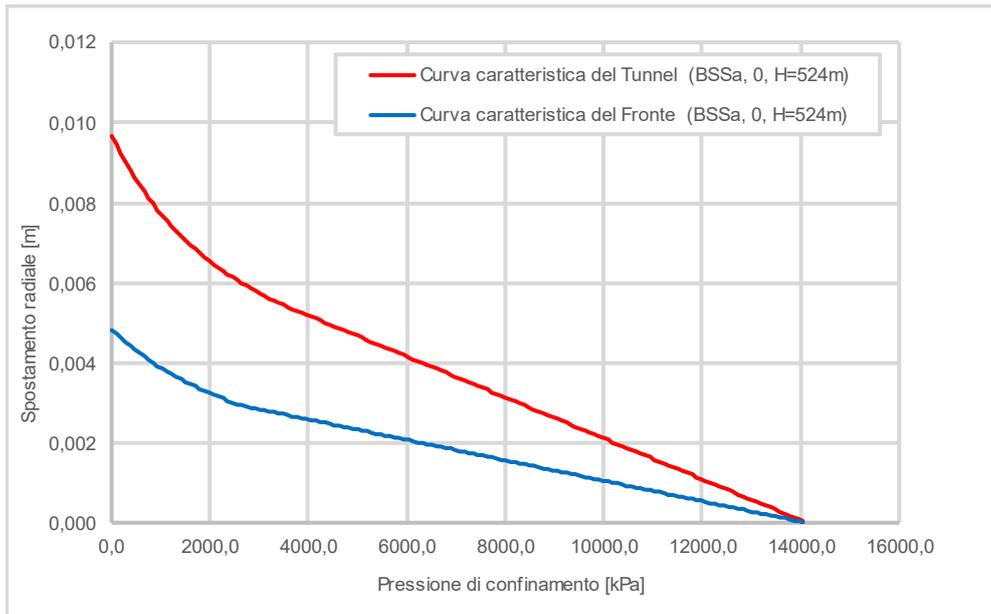


Figura 7-1 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo CO\_TIP01

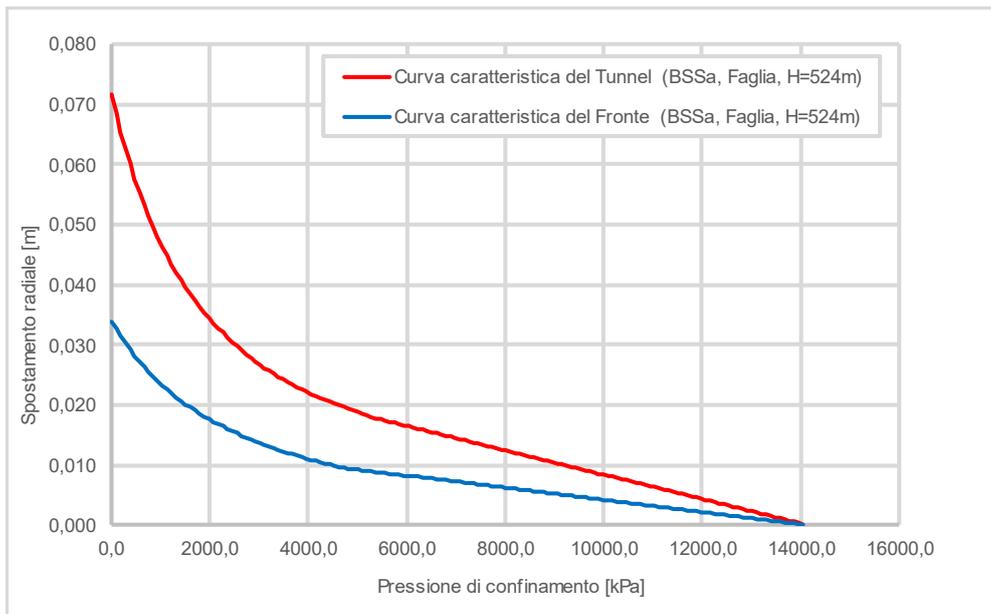


Figura 7-2– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo CO\_TIP02

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 45 di 285

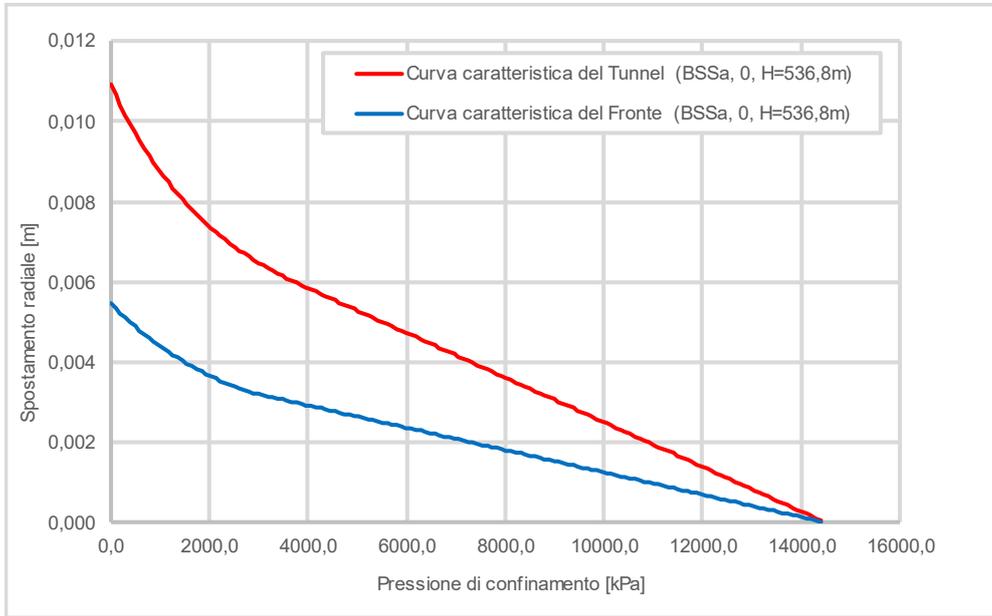


Figura 7-3 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo C1\_TIP01

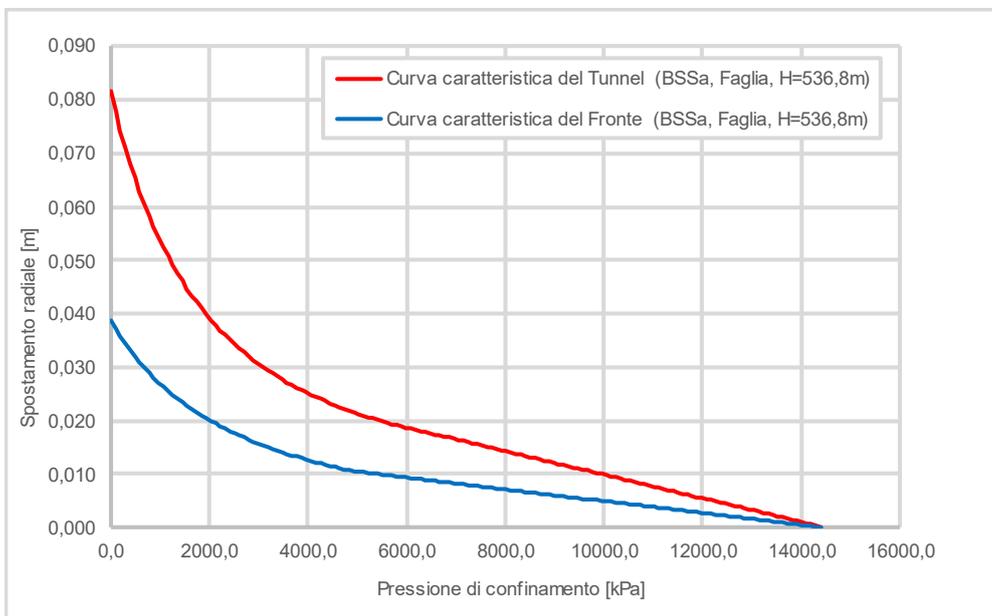


Figura 7-4 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo C1\_TIP02

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 46 di 285

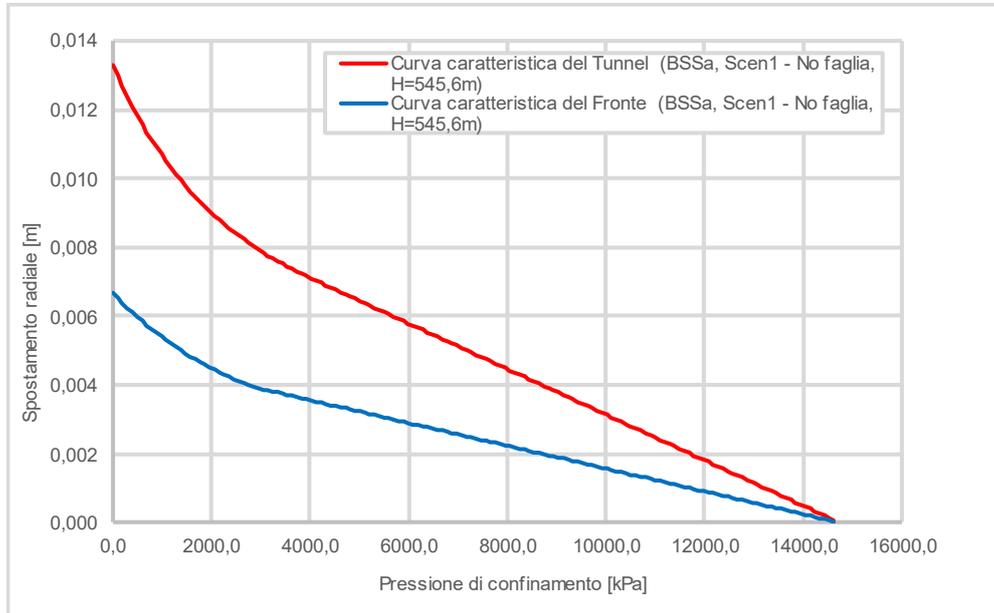


Figura 7-5 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo C2<sub>SCEN1</sub>.

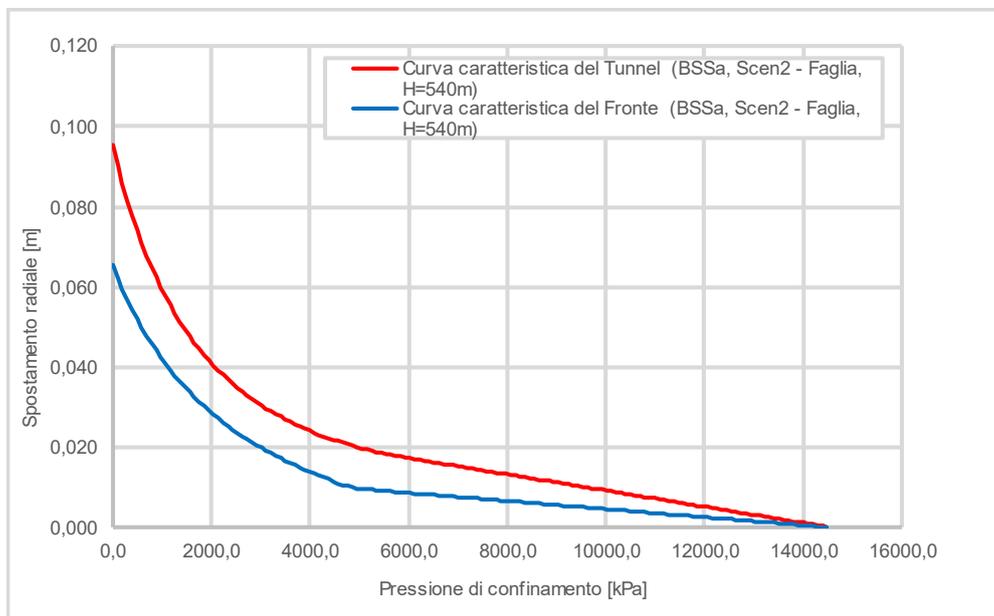


Figura 7-6 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo C2<sub>SCEN2</sub>.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 47 di 285

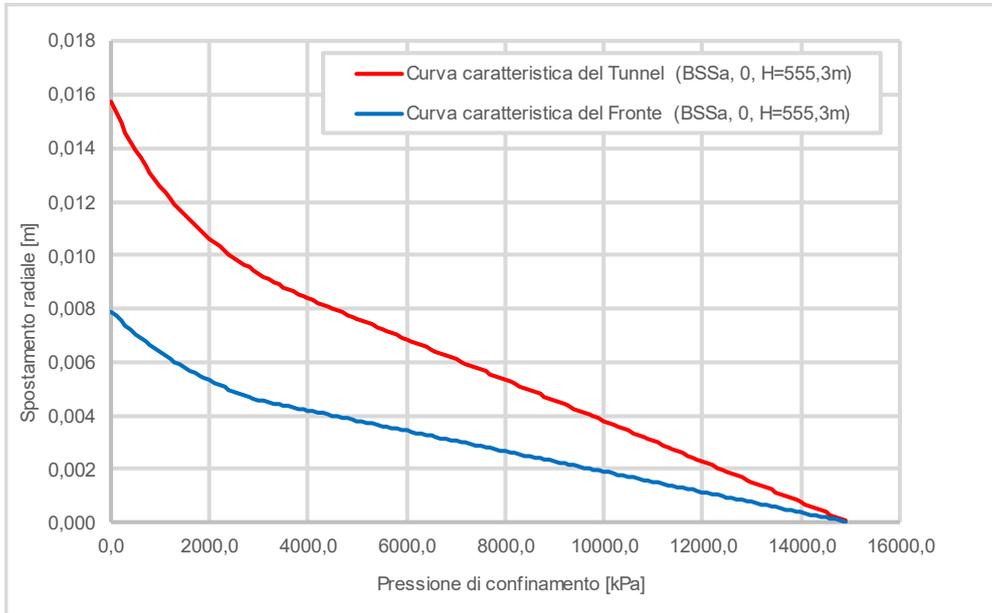


Figura 7-7 – Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo C3

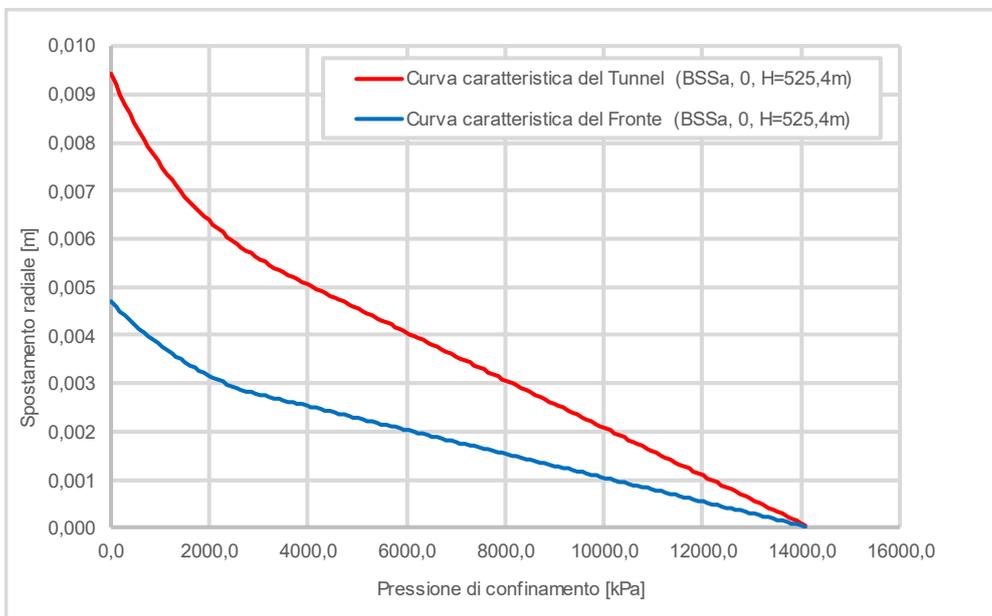


Figura 7-8– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 10

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 48 di 285

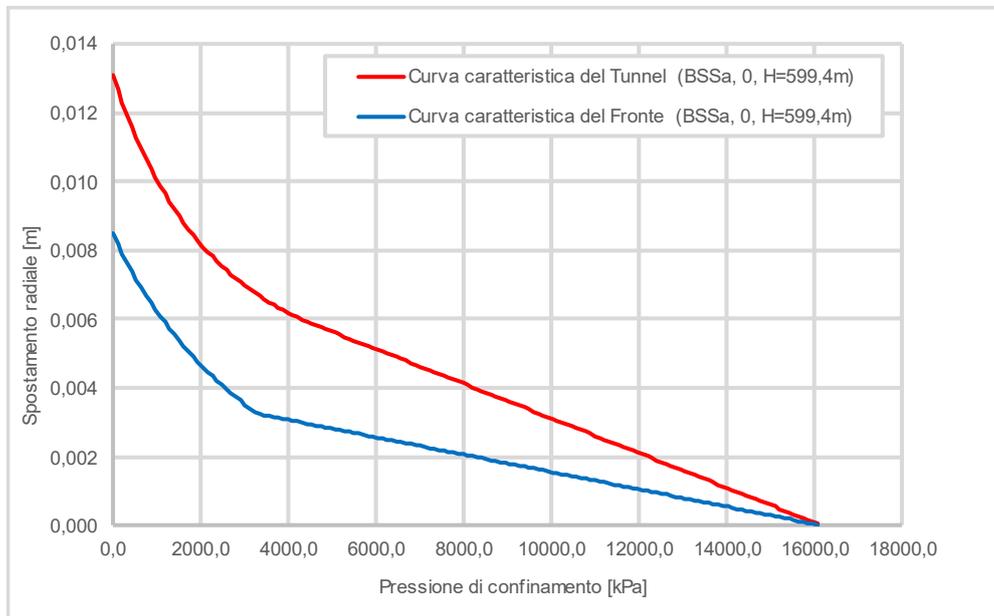


Figura 7-9– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo I2

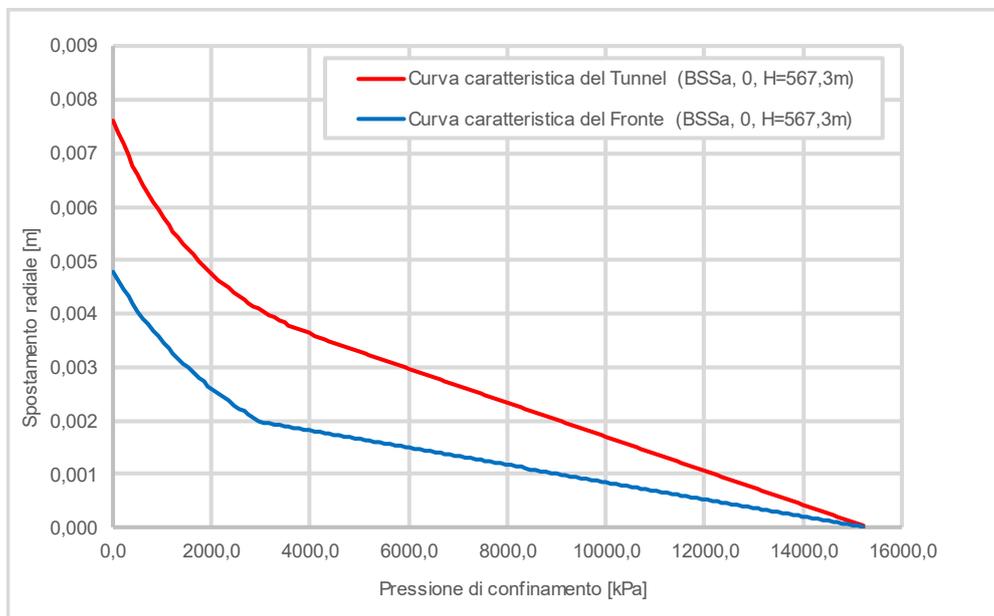


Figura 7-10– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo LTs.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 49 di 285

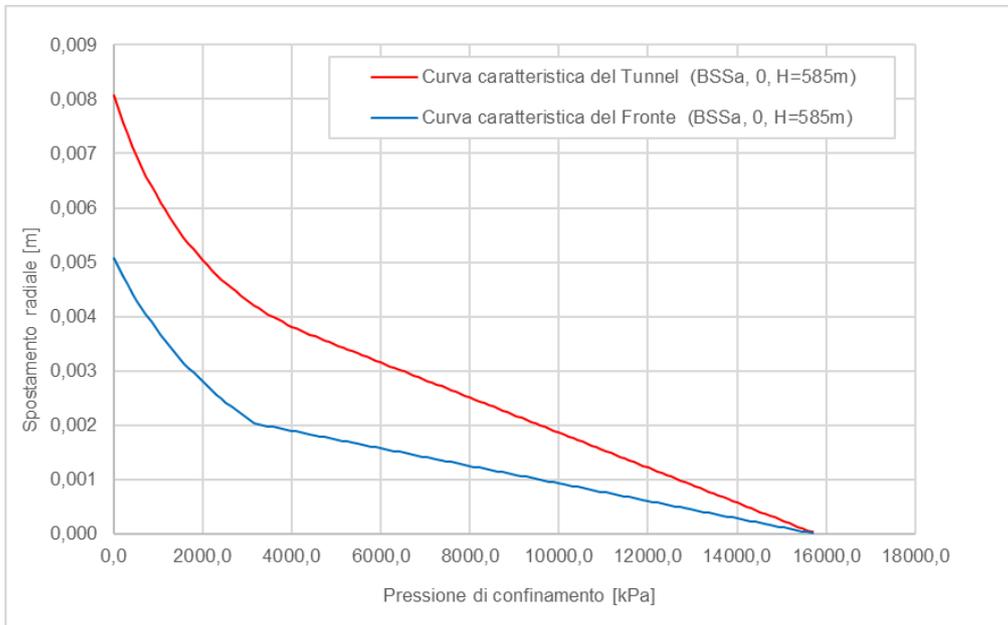


Figura 7-11– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo Lms.

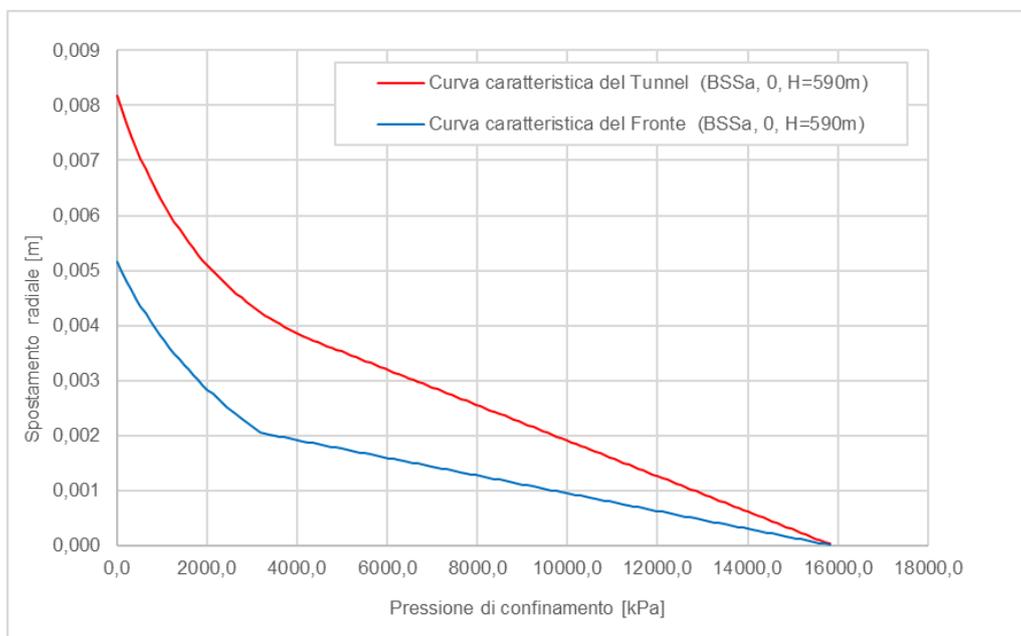


Figura 7-12– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo LTt.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 50 di 285

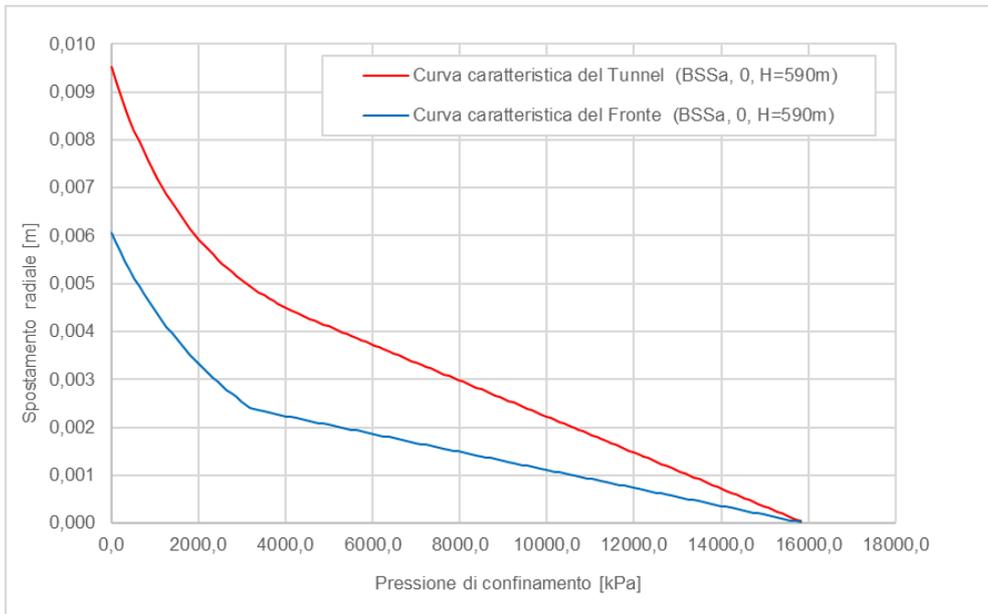


Figura 7-13– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo A2allargata.

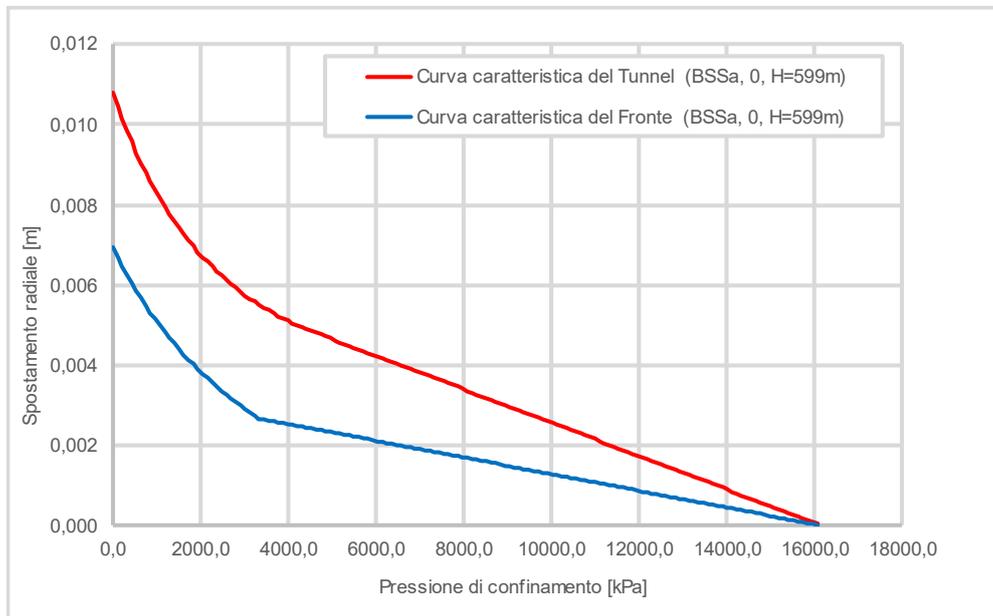


Figura 7-14– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo 11

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 51 di 285

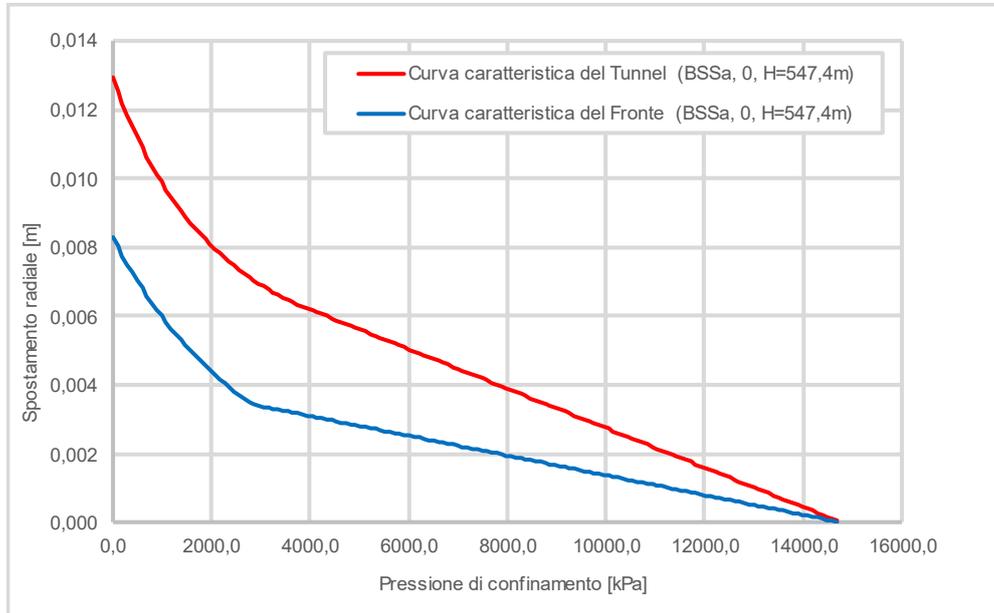


Figura 7-15– Curva caratteristica del fronte e della galleria per la sezione di calcolo I3

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 52 di 285

Sezione di calcolo	$\sigma_c$ [MPa]	$p_c$ [MPa]	$\sigma_c / p_c$ [-]	$u_F$ [cm]	$u_F / R_{eq}$ [%]	$R_{pF}$ [m]	$R_{pF} / R_{eq}$ [-]	$u_\infty$ [cm]	$R_p$ [m]	Criterio		
										1 $\sigma_c / p_c$	2.1 $u_F / R_{eq}$	2.2 $R_{pF} / R_{eq}$
C0 <sub>TIPO1</sub>	9,181	2,594	3,54	0,48	0,07	7,41	1,11	0,97	6,39	A	A	B
C0 <sub>TIPO2</sub>	4,450	4,677	0,95	3,40	0,51	8,85	1,32	7,18	7,48	A/B	C	B
C1 <sub>TIPO1</sub>	9,241	2,711	3,41	0,55	0,07	8,10	1,11	1,09	6,98	A	A	B
C1 <sub>TIPO2</sub>	4,497	4,839	0,93	3,87	0,53	9,69	1,33	8,16	8,17	A/B	C	B
C2 <sub>SCEN 1</sub>	9,282	2,793	3,32	0,67	0,08	9,68	1,11	1,33	8,32	A	A	B
C2 <sub>SCEN 2</sub>	4,509	4,879	0,92	4,68	0,54	11,56	1,33	9,82	9,75	A/B	C	B
C3	9,328	2,884	3,23	0,79	0,08	11,15	1,11	1,57	9,59	A	A	B
I0	9,188	2,607	3,52	0,50	0,08	7,19	1,11	0,80	6,20	A	A	B
I2	9,530	3,303	2,89	0,85	0,10	9,69	1,13	1,31	8,31	A	A	B
LTs	9,383	2,996	3,13	0,48	0,09	6,10	1,12	0,76	5,25	A	A	B
Lms	9,464	3,165	2,99	0,51	0,09	6,18	1,12	0,81	5,31	A	A	B
LTt	9,487	3,212	2,95	0,52	0,09	6,18	1,12	0,82	5,31	A	A	B
A2allargata	9,487	3,212	2,95	0,61	0,09	7,19	1,12	0,95	6,18	A	A	B
I1	9,528	3,299	2,89	0,69	0,10	8,00	1,13	1,08	6,86	A	A	B
I3	9,291	2,810	3,31	0,83	0,08	10,90	1,11	1,29	9,38	A	A	B

$\sigma_c$ : resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso  
 $p_c$ : pressione critica al fronte  
 $u_F$ : convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $R_{pF}$ : raggio plastico al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $u_\infty$ : convergenza finale del cavo  
 $R_p$ : raggio plastico finale al contorno del cavo  
 $R_{eq}$ : raggio di scavo equivalente della galleria

Figura 7-16 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi.

L'analisi permette di valutare le condizioni di stabilità del fronte di scavo nei diversi contesti geotecnici in funzione delle coperture. Attraverso l'osservazione dei risultati riassunti in tabella, si deduce che le sezioni presentano un comportamento sostanzialmente stabile del fronte.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	53 di 285

## 8. CRITERI DI VERIFICA

### 8.1.1 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'Approccio 1-Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2=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 sul fronte, o al coefficiente di sicurezza globale o a sviluppo di elevate deformazioni/plasticizzazioni al fronte).

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).

### 8.1.2 Interazione opera terreno

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche agli elementi finiti (FEM), utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D (V20). Tale codice permette di eseguire analisi di stabilità e di deformabilità nell'ambito della geotecnica e della meccanica delle rocce.

Nell'ambito delle analisi condotte per le gallerie in esame, sono state adottate leggi costitutive di tipo elastico lineare per le strutture e leggi elasto-plastiche con il criterio di resistenza "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'Approccio 1- Combinazione 1, con R1 =1. Pertanto, con la combinazione dei carichi fondamentale si è proceduto secondo questo schema:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	54 di 285

- 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 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 di esercizio, secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008 (Rif. [1]) e Circolare n.617 (Rif. [2]).

## 8.2 CRITERI DI VERIFICA DEI RIVESTIMENTI IN CONDIZIONI STATICHE

Le verifiche strutturali del rivestimento sono state condotte secondo quanto prescritto dal D.M. del 17/01/2008 (Norme Tecniche per le costruzioni) ed in accordo al manuale di progettazione delle opere civili di RFI ( Parte II – Sezione 4 – Gallerie, codifica: RFI DTC SI GA MA IFS 001 A) e alle *Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali* di ITALFERR (PPA.0002403).

In particolare, per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi sono condotte con i valori caratteristici dei parametri geotecnici e applicando i coefficienti parziali all'effetto delle azioni (le sollecitazioni negli elementi strutturali) secondo l'Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1).

Pertanto, per le verifiche SLU sul rivestimento sia di prima fase sia definitivo si impiega il coefficiente  $\gamma_E=1.3$  alle sollecitazioni agenti risultanti dalla modello numerico ottenuto con i parametri caratteristici.

La modellazione priva dell'utilizzo dei coefficienti parziali di sicurezza consente di determinare la reale risposta tensio-deformativa del terreno e degli elementi strutturali. I risultati dell'analisi sono infatti rappresentativi del campo delle deformazioni e dello sviluppo di eventuali zone di plasticizzazione.

Le verifiche del rispetto degli Stati Limite di Esercizio sono condotte secondo le combinazioni indicate dalla normativa con coefficienti di sicurezza parziali unitari.

### 8.2.1 Rivestimenti di prima fase

#### 8.2.1.1. Stato limite ultimo per compressione del calcestruzzo proiettato

La verifica del rivestimento provvisorio è eseguita ripartendo la sollecitazione normale (N) agente tra centine e spritz-beton in base alle rigidzze assiali, mentre il taglio (T) ed il momento flettente (M) agiscono interamente sulle centine.

Lo spritz-beton viene verificato a semplice compressione secondo la seguente disuguaglianza (in accordo con la relazione 2.2.1 del D.M. 14/01/2008):

$$\sigma_{sb,max} = \frac{N_{sd, sb}}{A_{sb}} \leq f_{cd}$$

dove:

- $N_{sd, sb}$  rappresenta lo sforzo normale di calcolo sulla spritz-beton

$$N_{sd, sb} = N_{sd} \frac{E_{sb} \cdot A_{sb}}{E_{sb} \cdot A_{sb} + E_{cent} \cdot A_{cent}}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 55 di 285

- $N_{sd}$  rappresenta lo sforzo normale di calcolo allo SLU, ovvero quello di Plaxis moltiplicato per 1.3 (coefficiente SLU)
- $A_{sb}$  rappresenta l'area resistente dello spritz-beton
- $E_{sb} A_{sb}$  rappresenta la rigidezza assiale dello spritz-beton
- $E_{cent} A_{cent}$  rappresenta la rigidezza assiale della centina

### 8.2.1.2. Stato limite ultimo per flessione e taglio delle centine

La verifica delle centine a taglio e pressoflessione (per tutte le classi di sezione, tenendo in conto eventuali instabilità locali) può essere condotta confrontando la tensione ideale calcolata a partire dalle tensioni indotte da ciascuna caratteristica della sollecitazione, con la resistenza di calcolo dell'acciaio, come di seguito specificato (cfr D.M. 14/01/2008 nel § 4.2.4.1.2):

$$\sigma_{cent,d,max} = \frac{N_{sd,cent}}{A_{cent}} + \frac{M_{sd}}{W_{cent}}$$

$$\tau_{cent,d} = \frac{V_{sd}}{A_{v,cent}}$$

$$\sigma_{id,cent,d} = \sqrt{\sigma_{cent,d,max}^2 + 3\tau_{cent,d}^2} \leq f_{yd}$$

dove:

- $N_{sd,cent}$  rappresenta lo sforzo normale di calcolo sulla centina:

$$N_{sd,cent} = N_{sd} \frac{E_{cent} \cdot A_{cent}}{E_{sb} \cdot A_{sb} + E_{cent} \cdot A_{cent}}$$

- $N_{sd}$  rappresenta lo sforzo normale di calcolo
- $A_{cent}$  rappresenta l'area resistente della centina
- $E_{sb} A_{sb}$  rappresenta la rigidezza assiale dello spritz-beton
- $E_{cent} A_{cent}$  rappresenta la rigidezza assiale della centina
- $W_{cent}$  rappresenta il modulo resistente elastico della centina
- $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  rappresentano il momento flettente e il taglio di calcolo
- $A_{v,cent}$  rappresenta l'area resistente a taglio della centina

## 8.2.2 Rivestimenti definitivi

### 8.2.2.1. Stato Limite Ultimo per pressoflessione

La verifica a pressoflessione a stato limite ultimo è stata eseguita controllando l'inclusione delle coppie Sforzo Normale-Momento flettente agenti all'interno del dominio di resistenza della sezione:

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

Dove:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	56 di 285

$M_{Rd}$  è il momento resistente della sezione;

$N_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

$M_{ed}$  è il valore di progetto del momento flettente sollecitante;

La verifica è stata condotta su tutte le coppie Sforzo Normale – Momento agenti ricavate dall'analisi numerica su sezioni a passo costante nel rivestimento.

### 8.2.2.2. Stato Limite Ultimo per taglio

La verifica a taglio è stata eseguita secondo quanto previsto per sezioni in cemento armato, trascurando in prima approssimazione e a favore di sicurezza la presenza di armatura specifica per le sollecitazioni taglianti (cfr. Par 4.1.2.1.3.1 delle NTC2008 - D.M. 14 Gennaio 2008).

La verifica risulta soddisfatta se:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta pari a:

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

con

- $f_{ck}$  : resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo [MPa]
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$  dove  $d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);
- $v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$
- $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0.02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{bd} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{bd}$  è la lunghezza di ancoraggio;
- $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza della sezione (in mm).

### 8.2.2.3. Stato Limite di Esercizio di fessurazione

La verifica a fessurazione viene eseguita con riferimento al *Manuale di progettazione delle opere civili* (RFI DTC SI MA IFS 001).

A tal proposito le verifiche a fessurazione sono condotte con riferimento alla combinazione di carico caratteristica (rara). A favore di sicurezza si considera lo stato limite di apertura delle fessure con riferimento a:

- Condizioni ambientali aggressive

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	57 di 285

- Sensibilità delle armature alla corrosione: poco sensibile.

Ne deriva un limite all'apertura delle fessure pari al valore  $w_1 = 0.2$  mm.

La verifica viene ricondotta alla forma:

$$w_k \leq w_1$$

Per la valutazione del valore caratteristico dell'apertura delle fessure si è adottato l'approccio dell'Eurocodice 2 (UNI ENV 1992-1-1):

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Ove

- $s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff}$  con  $c$  il copriferro dell'armatura longitudinale,  $k_1=0.8$  (barre ad aderenza migliorata),  $k_2=0.5$  per la flessione,  $k_3=3.4$ ,  $k_4=0.425$  e  $\rho_{p,eff}$  la percentuale di armatura con riferimento all'area tesa efficace di calcestruzzo;
- $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t f_{ct,eff}}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$  con  $\sigma_s$  tensione nell'armatura tesa della sezione fessurata,  $\alpha_e$  il rapporto di omogeneizzazione,  $k_t=0.4$  per carichi di lunga durata e  $f_{ct,eff}$  valore medio della resistenza a trazione del calcestruzzo all'insorgere della fessurazione (assunto pari a  $f_{ctm}$  in quanto il carico è successivo alla fase di curing).

#### 8.2.2.4. Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

La verifica a stato limite di limitazione delle tensioni risulta soddisfatta nel caso le tensioni agenti nei materiali siano inferiori ai valori limite:

$$\sigma_{c,max} \leq \sigma_{c,lim}$$

$$\sigma_{s,max} \leq \sigma_{s,lim}$$

dove:

- $\sigma_{c,max}$  rappresenta la massima tensione di compressione del calcestruzzo nella sezione;
- $\sigma_{s,max}$  rappresenta la massima tensione di trazione nell'armatura riferita alla sezione;
- $\sigma_{c,lim}$  rappresenta il limite massimo alla tensione di compressione del calcestruzzo;
- $\sigma_{s,lim}$  rappresenta il limite massimo alla tensione di trazione dell'acciaio di armatura.

I limiti sono stati posti pari a quelli previsti nelle *Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari* e precisamente:

- Stato limite di tensione nel calcestruzzo

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	58 di 285

- combinazione di carico caratteristica (rara):  $\sigma_{c,lim} = 0.55 f_{ck}$
- combinazione di carico quasi permanente:  $\sigma_{c,lim} = 0.4 f_{ck}$
- Stato limite di tensione nell'acciaio
  - combinazione di carico caratteristica (rara):  $\sigma_{s,lim} = 0.75 f_{yk}$

Ove  $f_{ck}$  e  $f_{yk}$  rappresentano i valori caratteristici di resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo e di snervamento dell'acciaio rispettivamente.

Tutte le verifiche sopra esposte risultano soddisfatte nelle combinazioni di carico previste e in tutte le sezioni analizzate nel seguito. Si rimanda ai paragrafi successivi per il dettaglio.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	59 di 285

## 9. IPOTESI DI BASE DI MODELLAZIONE

### 9.1.1 PARAMETRI GEOTECNICI

Nelle analisi numeriche l'ammasso, assimilato ad un continuo equivalente, caratterizzato da un legame costitutivo elasto-plastico ideale e criterio di rottura di Mohr Coulomb.

I parametri meccanici utilizzati nelle simulazioni numeriche sono stati ricavati dalla linearizzazione del criterio di Hoek e Brown nel piano tensione di taglio  $\tau - \sigma'_n$ , ove  $\tau$  è lo sforzo di taglio e  $\sigma'_n$  lo sforzo efficace normale.

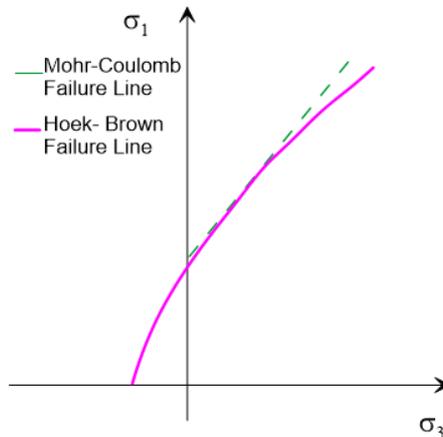


Figura 9-1 - Linearizzazione del criterio di Hoek & Brown

Come si evince dalla Figura 9-1, parametri di resistenza  $c'$  e  $\phi'$  sono funzione dell'intervallo tensionale a cui si fa riferimento: per bassi sforzi normali si ha un valore basso di coesione ed un valore alto di angolo di attrito, mentre per valori di  $\sigma'_n$  elevati si hanno valori elevati di angolo di coesione e valori inferiori dell'angolo di attrito.

L'intervallo di tensioni utilizzato per la linearizzazione è dunque quello corrispondente alla copertura della galleria.

I parametri di resistenza ottenuti dalla linearizzazione sono calcolati mediante le seguenti formule:

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right)$$

$$c = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{\frac{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})}{(1+a)(2+a)}}}$$

Il modulo di Young viene stimato in funzione del GSI e del fattore di disturbo D, con la seguente correlazione empirica ((Hoek e Diederichs, 2006):

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	60 di 285

$$E_{rm} = E_i \left( 0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\frac{60+15D-GSI}{11}}} \right)$$

ove:

- $E_i$  è il modulo elastico della roccia intatta;
- $D$  è il fattore che tiene conto del disturbo indotto dallo scavo
- $a$  e  $s$  sono costanti per gli ammassi rocciosi pari a:

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

$$s = e^{-\frac{GSI-100}{9-3D}}$$

- $m_b$  è la riduzione del valore  $m_i$ , calcolato come  $m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$
- $\sigma_{3n} = \frac{\sigma'_{3\_max}}{\sigma_{ci}}$

Con  $\sigma_{3\_max} = \sigma'_{cm} 0.47 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$  limite superiore degli sforzi di confinamento

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s)) \left( \frac{m_b}{4+s} \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$
 tensione dell'ammasso roccioso

### 9.1.2 STATO TENSIONALE IN SITO

In accordo con i risultati ottenuti dalle prove di fratturazione idraulica nella relazione geotecnica è stato assunto  $K_0$  pari a 0.9, vedi documento S.3 (Relazione Geotecnica IBOU1BEZZGEGN0000001).

### 9.1.3 MODELLAZIONE DEL REGIME IDROGEOLOGICO

In linea generale la modellazione del regime idrogeologico e della sua interazione con lo scavo in sotterraneo è molto complessa e la scelta progettuale della simulazione di tali aspetti è legata a diversi fattori dipendenti sia dalla metodologia di scavo che dalle caratteristiche del mezzo attraversato, nonché dalle eventuali interferenze con gli acquiferi e/o la superficie del piano campagna.

In accordo con i contenuti delle relazioni specialistiche, nell'area studiata in generale si rinvennero acquiferi fessurati di scarsa trasmissività. La permeabilità riscontrata nella campagna d'indagine risulta bassa.

In generale, la circolazione idrica sotterranea è tendenzialmente poco sviluppata, data la natura dei materiali incontrati durante lo scavo.

Ciò nonostante, tenendo conto di un malfunzionamento dei sistemi di drenaggio posti in opera, il carico idraulico è stato assunto agente sui rivestimenti definitivi nel lungo termine attraverso l'applicazione di un carico distribuito equivalente a quello esercitato dall'innalzamento del livello di falda fino a 20m sopra la quota di colmo della calotta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	61 di 285

#### 9.1.4 CONSOLIDAMENTO DEL FRONTE E DEL CAVO

Gli interventi di consolidamento al contorno del cavo, invece, sono simulati nelle elaborazioni numeriche in termini di incremento di coesione nella fascia di terreno trattato.

In particolare, gli interventi di consolidamento del fronte, realizzati mediante barre autoperforanti DYWI tipo R51N, sono simulati mediante un incremento di coesione equivalente del fronte ( $\Delta c'$ ) valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte ( $\sigma'_3$ ) determinata sulla base del valore più basso tra resistenza a trazione e resistenza a sfilamento dei singoli elementi, secondo le seguenti relazioni:

$$\Delta c' = \frac{1}{2} \sqrt{K_p \sigma'^{R51N}_3}$$

con:

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

$$\sigma'^{R51N}_3 = \min(\sigma'^{R51N}_{3,A}, \sigma'^{R51N}_{3,B}) = \min\left(\frac{\tau_{bk} \cdot L_A \cdot p_A}{A_i}, \frac{f_{tk} \cdot A_T}{A_i}\right)$$

dove:

- $\tau_{bk}$  tensione di aderenza all'interfaccia con il terreno
- $L_A$  lunghezza utile dell'elemento R51N
- $p_A$  perimetro dell'interfaccia con il terreno
- $f_{tk}$  resistenza a trazione dell'elemento R51N
- $A_T$  sezione resistente a trazione dell'elemento R51N
- $A_i$  area di influenza del singolo elemento di consolidamento

In particolare, si assume  $\tau_{bk} = 250$  kPa,  $A_T = 0.001170$  m<sup>2</sup> e  $f_{tk} = 850$  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 il calcolo dell'incremento di coesione sul cavo si sono applicate le stesse formule per il calcolo dell'incremento di coesione ma ovviamente varia l'area d'influenza del singolo elemento, variando l'area della zona di intervento.

Spesso nella pratica progettuale si simula la presenza degli elementi di consolidamento sul fronte e al contorno dello scavo, applicando in queste zone un incremento di GSI di 10-12 punti maggiore rispetto ai parametri del terreno naturale. L'incremento di GSI produce però, oltre ad un incremento di coesione (volendo trascurare quello relativo all'angolo di attrito) anche un incremento del modulo di Young, quindi della rigidità. La maggiore rigidità della fascia di terreno trattata, fa sì che le sollecitazioni che si hanno sui rivestimenti (provvisorio e definitivo) sia di minore entità rispetto a quella che si ottiene considerando il solo incremento di coesione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	62 di 285

Quindi, a favore di sicurezza, si è preferito stimare la presenza degli elementi di consolidamento al fronte esclusivamente con l'aumento di coesione del materiale, incremento che risulta essere funzione dell'area trattata.

### 9.1.5 RIVESTIMENTO PROVVISORIO E DEFINITIVO

I rivestimenti vengono modellati utilizzando elementi *plate*, con la differenza sostanziale che al provvisorio si assegnano le reali caratteristiche di rigidità assiale e flessionale, mentre per il definitivo si riproduce l'esatta geometria assegnando al materiale che lo costituisce le proprietà del calcestruzzo, disponendo però sulla linea media un "Ghost Element", cioè un *plate* dotato di rigidità assiale e flessionale divise per  $10^6$  necessario a determinare le sollecitazioni agenti sul rivestimento, senza però che la deformazione di quest'ultimo venga influenzata dalla presenza del *plate* stesso. Il valore effettivo delle sollecitazioni viene poi determinato rimoltiplicando per il fattore di scala considerato.

Gli interventi radiali sono stati invece modellati per mezzo di elementi *embedded beam row*.

### 9.1.6 Metodo agli elementi finiti e mesh di calcolo

Le analisi tenso-deformative piane sono state condotte per mezzo del codice di calcolo PLAXIS-2D versione 2022, commercializzato da Bentley System Inc., che consente di eseguire analisi di stabilità e di deformazione per applicazioni geotecniche in condizioni di deformazioni piane e condizioni assialsimmetriche.

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

Nel caso in cui le analisi riguardino lo scavo di gallerie profonde con metodo tradizionale, il modello in stato piano viene utilizzato per lo studio di problemi di interazione relativi alla sezione trasversale dell'opera, assumendo che questa, in direzione longitudinale (asse z ortogonale alla sezione di studio) abbia una lunghezza significativa.

In tal senso lo scavo della galleria viene simulato attraverso la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti, attraverso l'utilizzo della funzione "1-β" che viene progressivamente incrementato da 0 ad 100%.

Lo stato tensionale del terreno è determinato dal peso del materiale e dalla storia geologica ed è solitamente caratterizzato da una tensione verticale efficace iniziale  $\sigma'_{v,0}$ . La tensione efficace orizzontale iniziale  $\sigma'_{h,0}$  è legata alla tensione efficace verticale iniziale attraverso il coefficiente di spinta a riposo,  $K_0$  ( $\sigma'_{h,0} = K_0 \cdot \sigma'_{v,0}$ ). Il codice di calcolo PLAXIS 2D permette di generare lo stato tensionale efficace sia specificando il valore del coefficiente di spinta a riposo che utilizzando la procedura "Gravity loading", (generazione delle tensioni iniziali per incremento della gravità). Nel caso in specifico (gallerie profonde in ammassi rocciosi) si fa riferimento all'utilizzo del  $K_0$ , che viene ricavato dall'analisi dei risultati delle prove eseguite in seno alle campagne di indagini.

Le dimensioni della mesh di elementi finiti sono fissate in maniera tale da evitare che il problema in esame risulti influenzato dalle condizioni di vincolo al contorno. Per quanto concerne le condizioni di vincolo applicate, esse sono definite come "Standard fixities" all'interno del programma PLAXIS e constano essenzialmente in un doppio vincolo allo spostamento al contorno inferiore e spostamento orizzontale

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	63 di 285

impedito alle posizioni laterali. La formulazione del vincolo laterale permette dunque lo sviluppo di tensioni normali di compressione ma non di tensioni di taglio agenti in direzione verticale. Tali tensioni sono invece generate al contorno inferiore.

Un esempio di modello numerico è mostrato in figura, 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, Rif. [15], Rif. [19]. 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  $H_{\text{numerico}} \geq 5D$  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 1m.

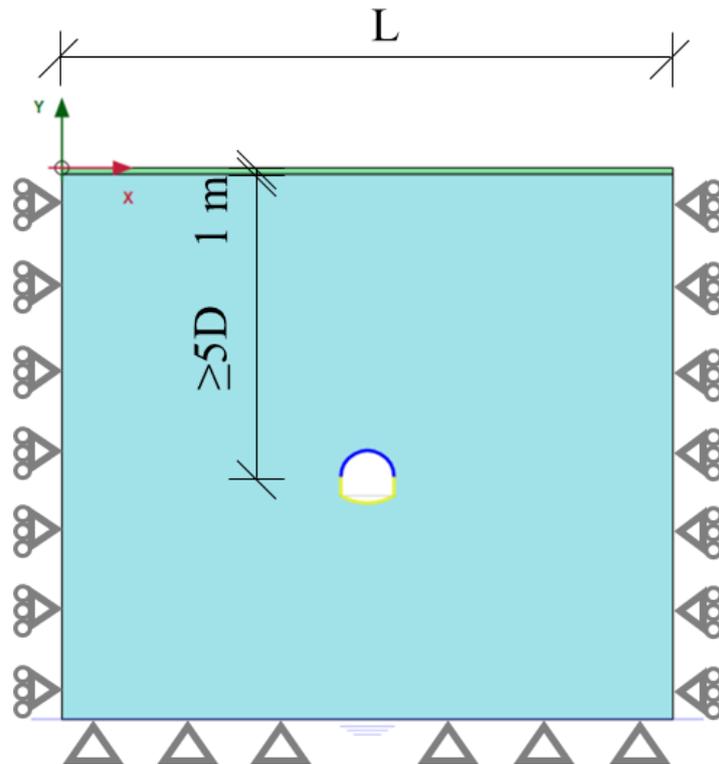


Fig. 1 - Esempio di modello numerico in condizioni di deformazione piana

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	64 di 285

## 10. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi 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 e della Circolare n.617/2009.

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 – Quadro sinottico".

### 10.1 RIVESTIMENTI PROVVISORI

<b>Calcestruzzo proiettato fibrorinforzato</b>	
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

<b>Calcestruzzo proiettato fibrorinforzato</b>	
Classe di resistenza	C30/37
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{0.85f_{ck}}{1.5} = 17 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 33000 \text{ MPa}$
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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>GALLERIE</b>		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0200002</td> <td>C</td> <td>65 di 285</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	65 di 285
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	65 di 285									
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale														

Acciaio per centine		
Tipo	S 275	S 355
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430$ MPa	$f_{tk} \geq 510$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275$ MPa	$f_{yk} \geq 355$ MPa
Modulo elastico	$E_s = 210000$ MPa	$E_s = 210000$ MPa

Bulloni aderenza continua	
Acciaio	B 450 C
Diametro	da 24 mm a 30 mm
Diametro di perforazione	>51 mm

Bulloni autoproforanti 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

## 10.2 RIVESTIMENTI DEFINITIVI

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{0.85f_{ck}}{1.5} = 14.11$ 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

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	66 di 285

## 11. FASE DI TERAPIA

Nei seguenti paragrafi sono riportati i risultati delle analisi numeriche che hanno permesso di investigare il regime tenso-deformativo nei rivestimenti strutturali previsti in progetto.

Questo è stato raggiunto tramite tre approcci differenti:

- Stabilità del fronte
- Metodo delle Linee Caratteristiche
- Analisi numeriche

Le analisi di stabilità del fronte consentono di cogliere le caratteristiche deformative del fronte in funzione della copertura e del materiale di scavo e quindi di predimensionare, qualora le analisi ne avessero evidenziato la necessità, gli interventi di preconsolidamento del fronte.

Il Metodo delle Linee Caratteristiche permette di cogliere approssimativamente l'entità delle sollecitazioni e delle convergenze nel pririvestimento e nel rivestimento definitivo, rappresentando una fase di predimensionamento degli interventi di sostegno e di guidare le scelte circa le sezioni di galleria da sottoporre ad analisi più accurate.

L'analisi agli elementi finiti permette invece di indagare più dettagliatamente per le condizioni più rappresentative il regime tensionale e deformativo nelle strutture e nell'ammasso circostante, nelle principali fasi esecutive fino alla completa realizzazione dell'opera, consentendo quindi di valutare l'evoluzione del comportamento dell'opera nel breve, medio e lungo termine.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	67 di 285

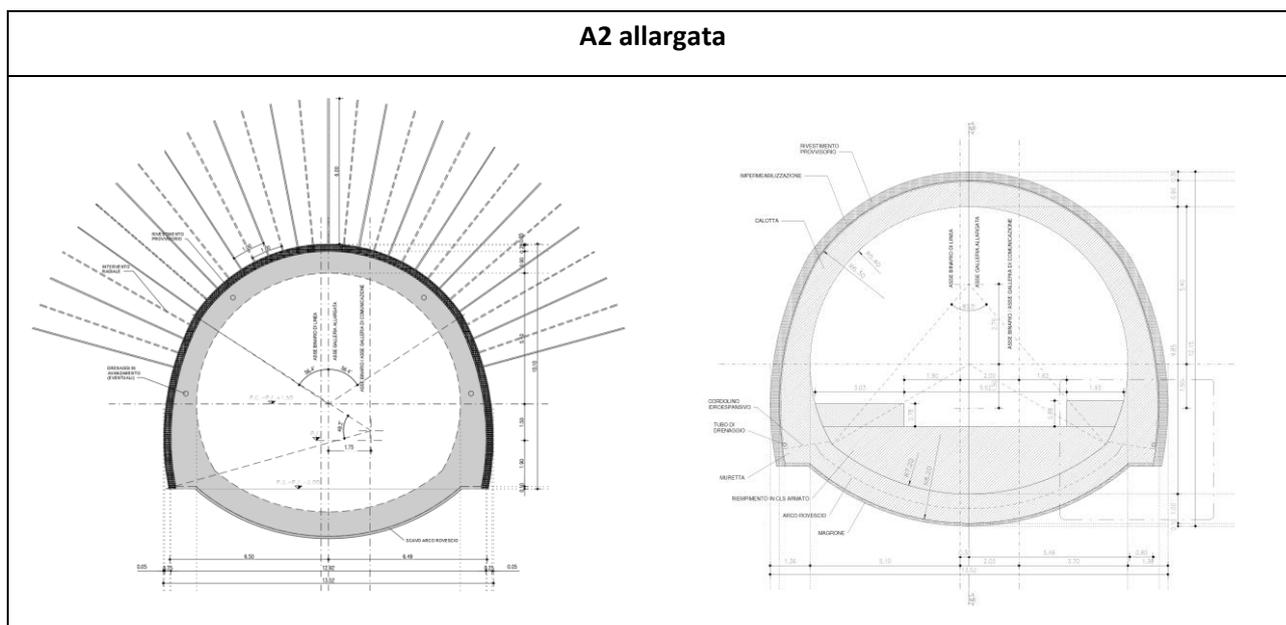
## 11.1 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Nel presente capitolo viene riportata una descrizione delle diverse sezioni e gli interventi previsti.

### 11.1.1 Sezione A2 allargata

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	5 cm di SB fibrorinforzato su ogni sfondo e 10 cm a fine campo	
<b>Sostegno radiale</b>	15+14 bulloni radiali Ø24 o Swellex equivalenti, L= 6.0, i <sub>LONG</sub> =1.2 m, i <sub>TRASV</sub> =1.0m (±20%)	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno Ø > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB 180, i=1.2 m (±20%)
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	s <sub>min</sub> = 100 cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	s <sub>min</sub> = 90 cm, in cls armato

Tabella 11-1. Sezione tipo A2 allargata

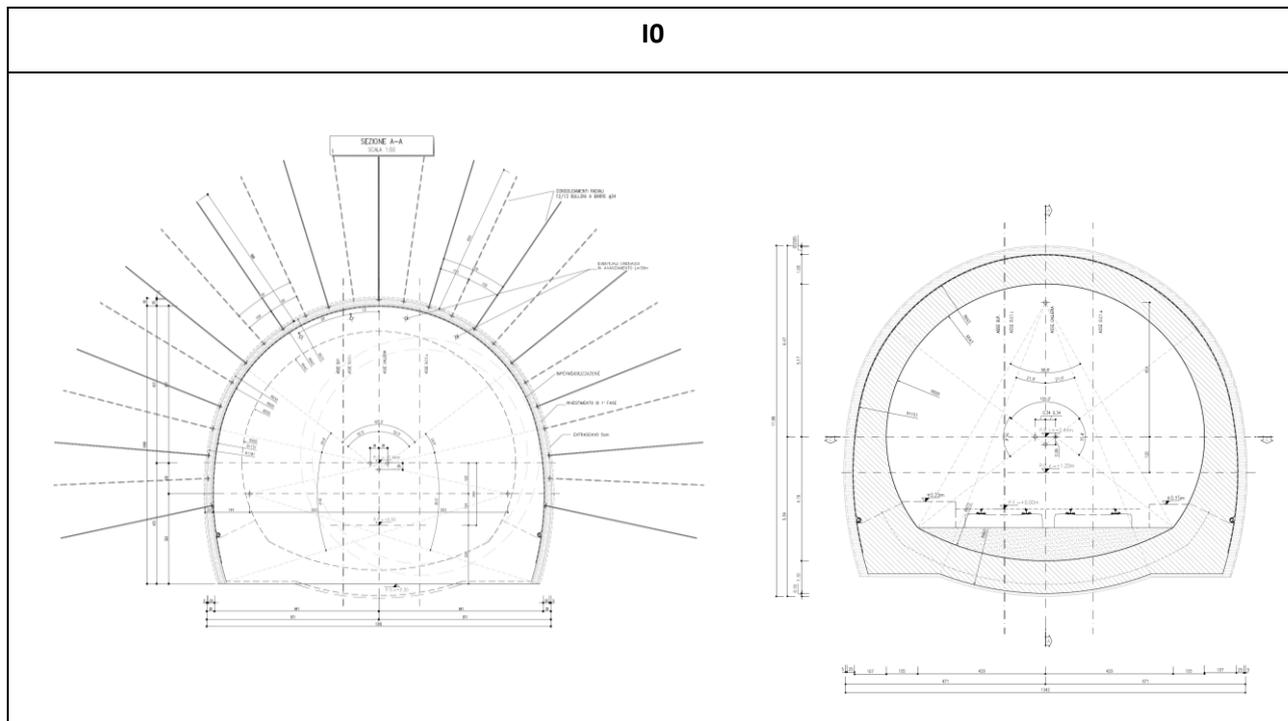


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 68 di 285

### 11.1.2 Sezione IO

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m scavo calotta (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con $Sp=5$ cm ogni sfondo e $sp=10$ cm a fine campo di avanzamento	
<b>Sostegno radiale</b>	12+13 bulloni radiali a barre $\varnothing 24$ o Swellex equivalenti, $L=6.0$ m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV}=2.0$ ( $\pm 20\%$ )	
<b>Sostegno al contorno</b>	Non previsto	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	$s = 5$ cm, prima fase $s = 25$ cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB180, $i=1.0$ m ( $\pm 20\%$ )
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 100$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 100$ cm, in cls armato

Tabella 11-2. Sezione tipo IO

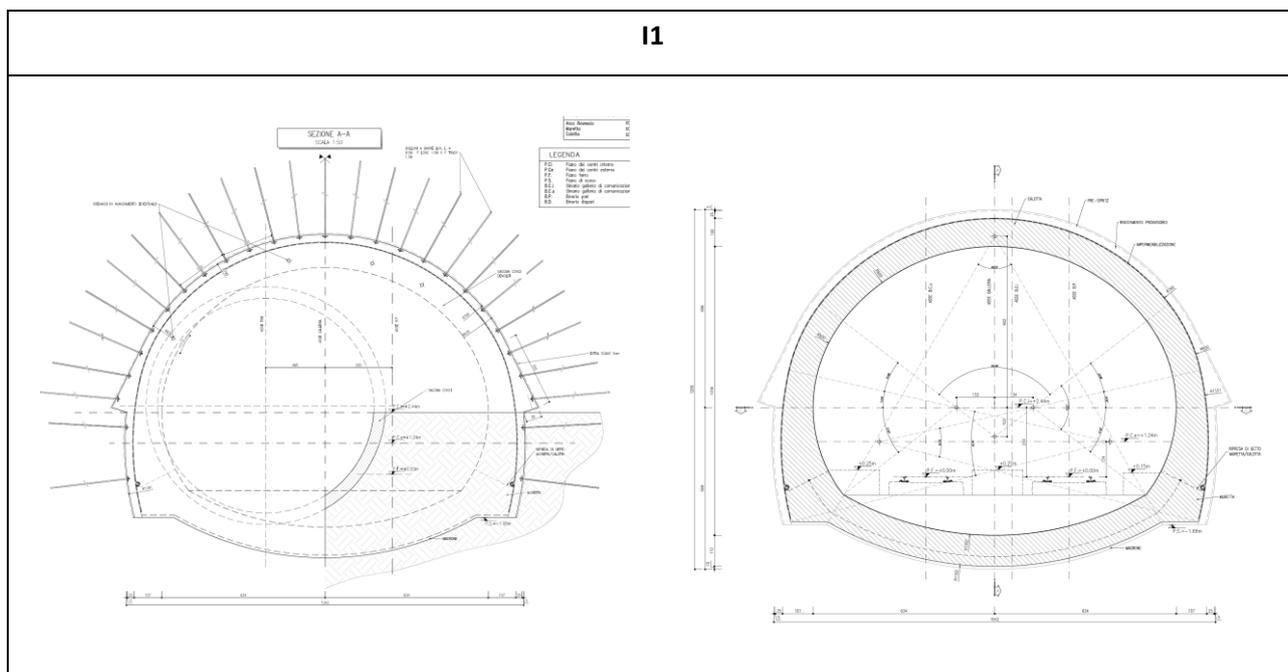


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	69 di 285

### 11.1.3 Sezione I1

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0 m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e sp=10 cm a fine campo di avanzamento di calotta / Sp=5 cm ogni sfondo per scavo strozzo	
<b>Sostegno radiale</b>	13+14 bulloni radiali Ø24 (o Swellex equivalenti), disposti in raggere alternate L=6.0 m, i <sub>LONG</sub> = 1.0m, i <sub>TRASV</sub> =2.0m. (±20%)	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno Ø > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB200, i=1.0 m (±20%)
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	S <sub>min</sub> = 110 cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	S <sub>min</sub> = 100 cm, in cls armato

Tabella 11-3. Sezione tipo I1

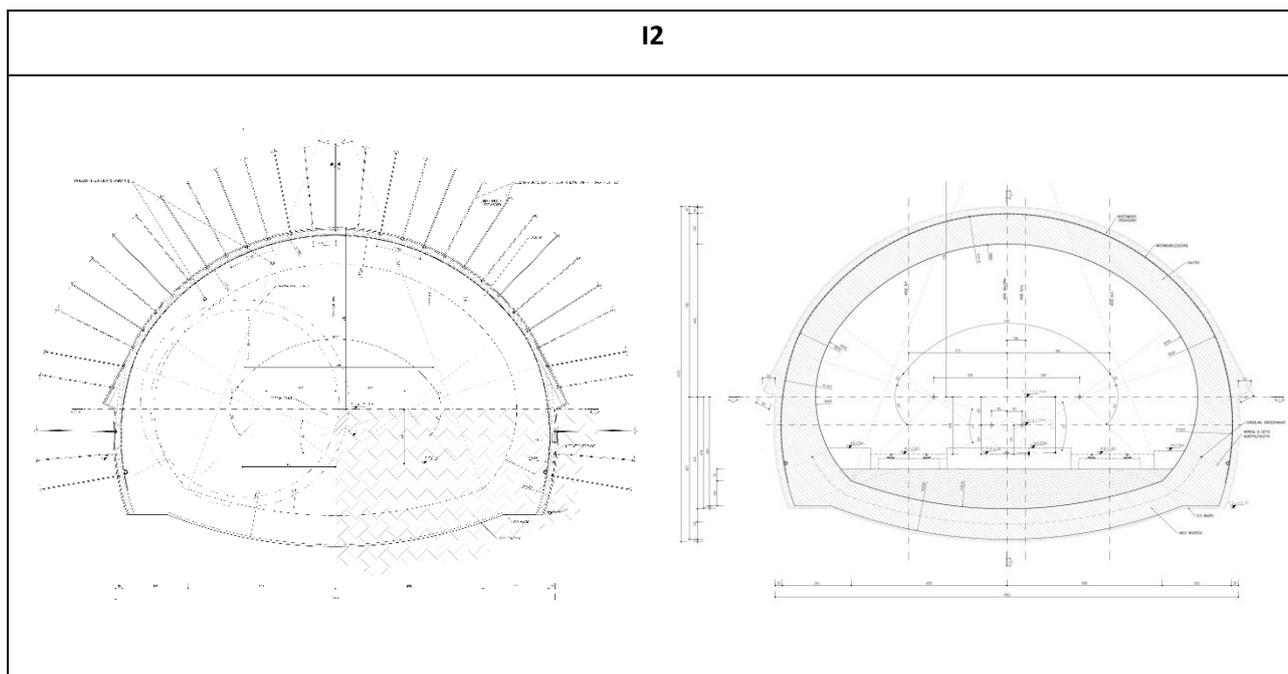


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. FOGLIO. C 70 di 285

### 11.1.4 Sezione I2

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0 m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con $S_p=5$ cm ogni sfondo e $s_p=10$ cm a fine campo di avanzamento di calotta, $S_p=5$ cm ogni sfondo per scavo strozzo	
<b>Sostegno radiale</b>	16+17 bulloni radiali a barre $\varnothing 24$ , (o Swellex equivalenti) disposti in raggiera alternate, $L=8.0$ m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV}=2.0$ m ( $\pm 20\%$ )	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	$s = 5$ cm, prima fase $s = 25$ cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB200, $i=1.0$ m ( $\pm 20\%$ )
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 130$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 130$ cm, cls armato

Tabella 11-4. Sezione tipo I2

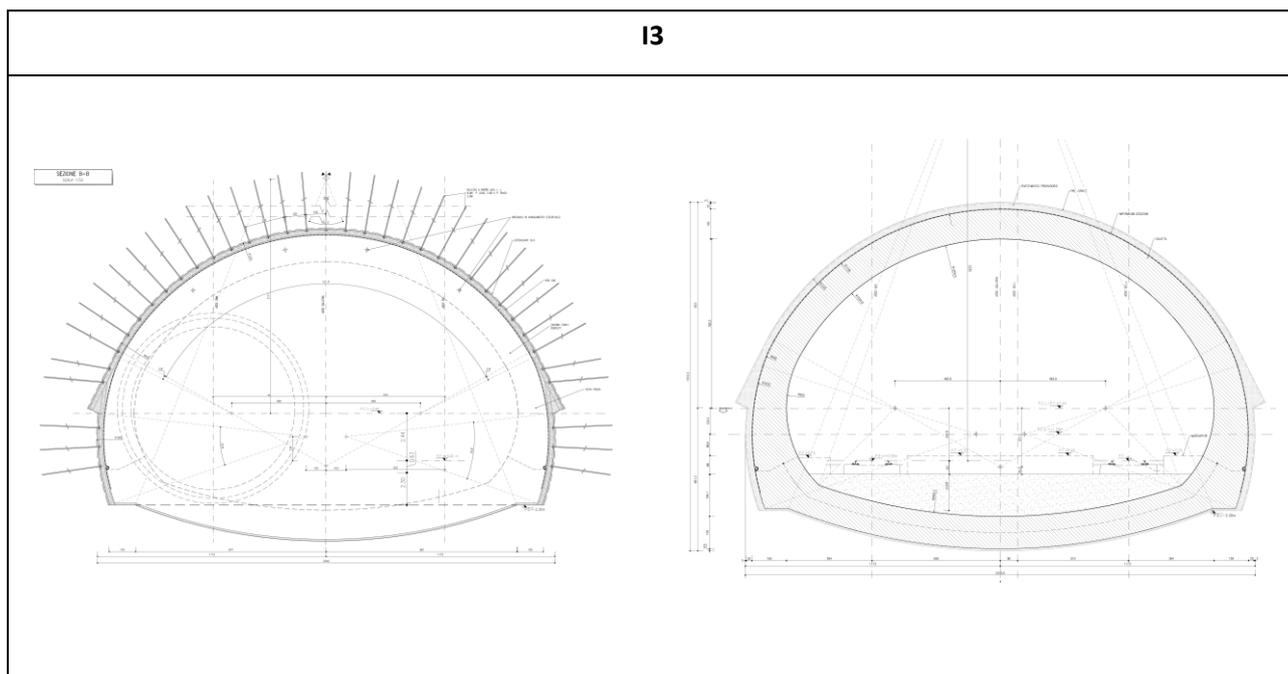


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	71 di 285

### 11.1.5 Sezione I3

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con $S_p=5$ cm ogni sfondo e $s_p=10$ cm a fine campo di avanzamento di calotta, $S_p=5$ cm ogni sfondo per scavo strozzo	
<b>Sostegno radiale</b>	18+19 bulloni radiali a barre $\varnothing 24$ o Swellex equivalenti, $L=8.0$ m, $i_{LONG} = 1.0$ m $i_{TRASV}=2.0$ m ( $\pm 20\%$ )	
<b>Sostegno al contorno</b>	Non previsto	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	$s = 5$ cm, prima fase $s = 25$ cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB220, $i=1.0$ m ( $\pm 20\%$ )
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 150$ cm, cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 140$ cm, cls armato

Tabella 11-5. Sezione tipo I3

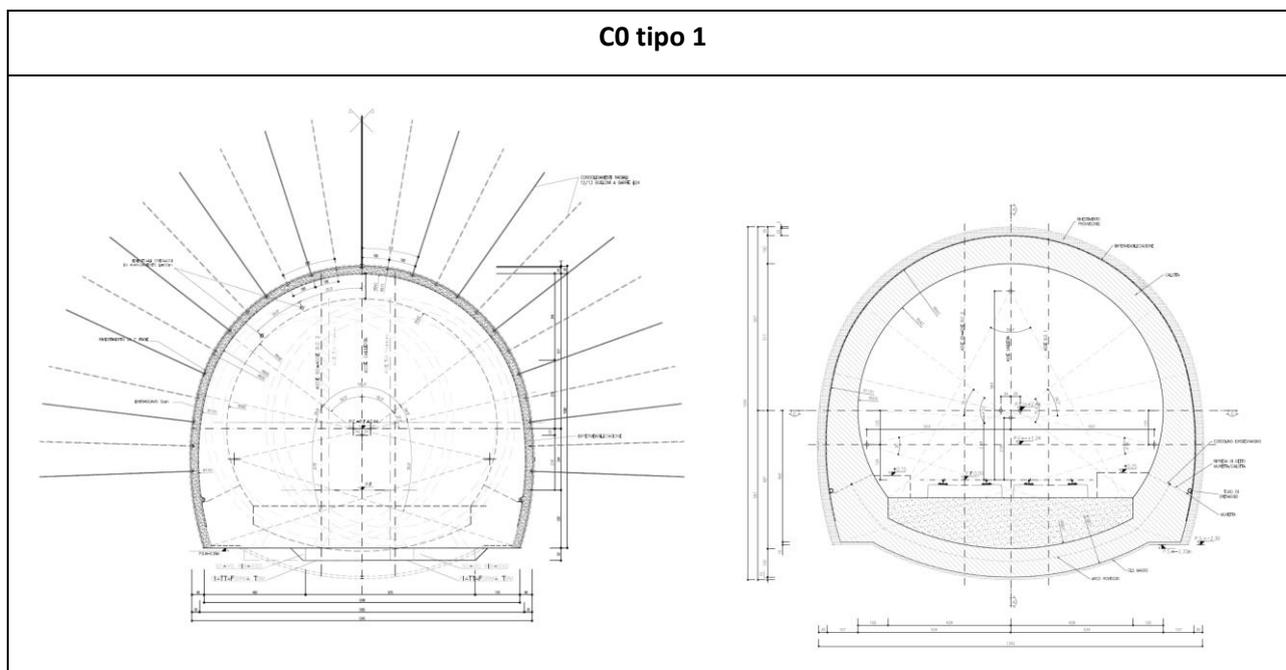


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 72 di 285

### 11.1.6 Sezione C0 tipo 1

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0m con esplosivo) scavo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e sp=10 cm a fine campo di avanzamento	
<b>Sostegno radiale</b>	12+13 bulloni radiali a barre Ø24 o Swellex equivalenti, disposti in raggere alternate, L=6.0 m, i <sub>LONG</sub> = 1.0 m, i <sub>TRASV</sub> =2.0 m (±20%)	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno Ø > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB180, i=1.0 m (±20%)
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	s <sub>min</sub> = 100 cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	s <sub>min</sub> = 100 cm, in cls armato

Tabella 11-6. Sezione tipo C0 tipo1

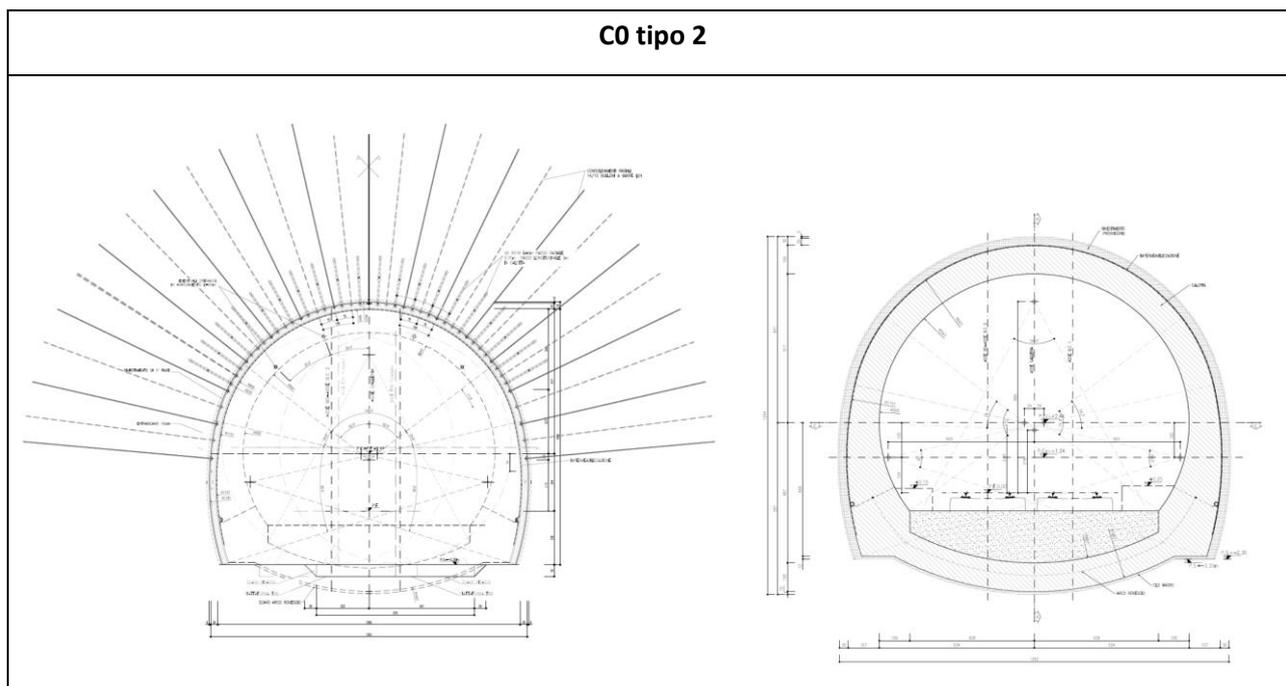


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	73 di 285

### 11.1.7 Sezione C0 tipo 2

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	2.0 m scavo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=10 cm ogni sfondo e sp=15 cm a fine campo di avanzamento; 24 barre autopercoranti tipo R51N, L=12.0 m, sovrapposizione minima 6.0m, maglia 1.80x1.80m	
<b>Sostegno radiale</b>	14+15 bulloni radiali a barre Ø24 (o Swellex equivalenti), L=8.0 m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV} = 1.5$ m ( $\pm 20\%$ )	
<b>Sostegno al contorno</b>	20 barre autopercoranti tipo R51N, L=6.0 m $i_{LONG} = 3.0$ m, $i_{TRASV} = 0.75$ m	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase
		s = 25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB220, $i = 1.0$ m ( $\pm 20\%$ )
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 100$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 100$ cm, in cls armato

Tabella 11-7. Sezione tipo C0 tipo2

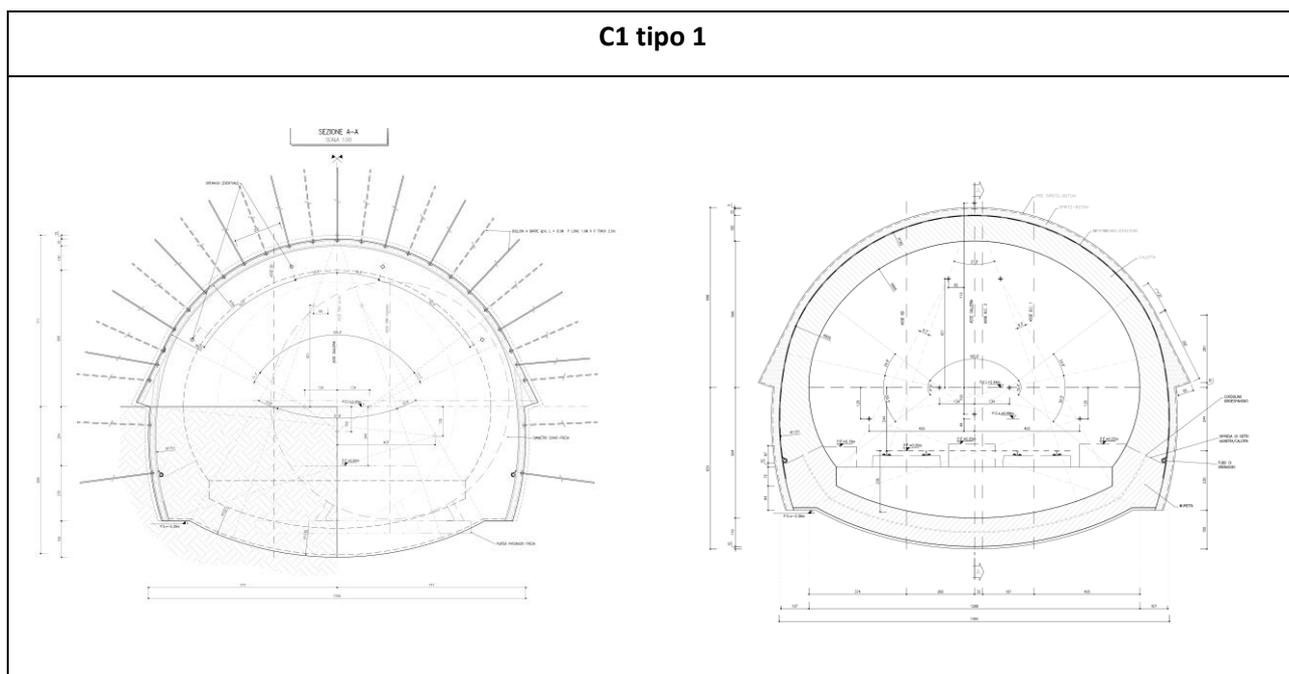


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	74 di 285

### 11.1.8 Sezione C1 tipo 1

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e sp=15 cm a fine campo di avanzamento di calotta, Sp=5 cm ogni sfondo per scavo strozzo;	
<b>Sostegno radiale</b>	13+14 bulloni radiali a barre Ø24 (o Swellex equivalenti), disposti in raggiere alternate, L=6.0 m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV}=2.0$ m ( $\pm 20\%$ )	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB200, $i=1.0$ ( $\pm 20\%$ )
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$S_{min} = 110$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$S_{min} = 100$ cm, in cls armato

Tabella 11-8. Sezione tipo C1 tipo1

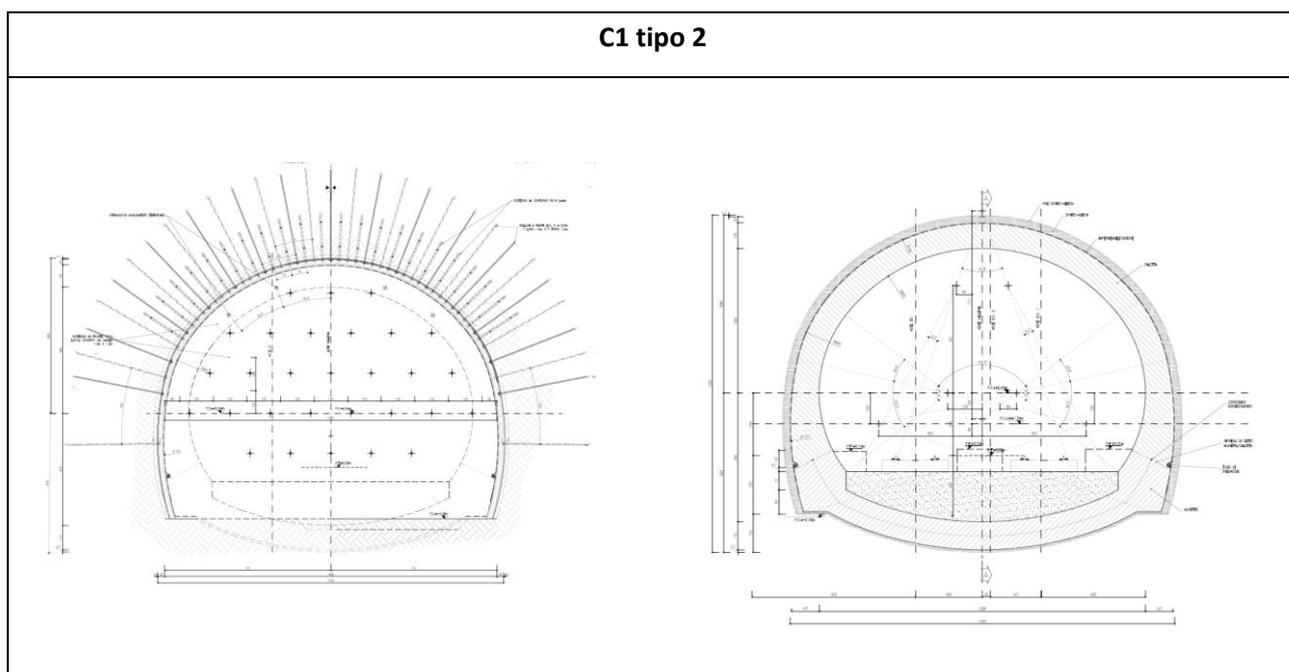


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	75 di 285

### 11.1.9 Sezione C1 tipo 2

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	2.0 m scavo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con $S_p=10$ cm ogni sfondo e $s_p=15$ cm a fine campo di avanzamento; 29 barre autoperforanti tipo R51N, L=12.0 m, sovrapposizione minima 6.0m, maglia 1.80x1.80m	
<b>Sostegno radiale</b>	15+16 bulloni radiali a barre $\varnothing 24$ (o Swellex equivalenti) disposti in raggiere alternate, L=8.0 m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV}=1.5$ m $\pm 20\%$ .	
<b>Sostegno al contorno</b>	22 barre autoperforanti tipo R51N, L=6.0 m, $i_{LONG} = 3.0$ m, $i_{TRASV} = 0.75$ m	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	$s = 5$ cm, prima fase $s = 25$ cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB220, $i=1.0$ m $\pm 20\%$
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$S_{min} = 110$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$S_{min} = 100$ cm, in cls armato

Tabella 11-9. Sezione tipo C1 tipo2

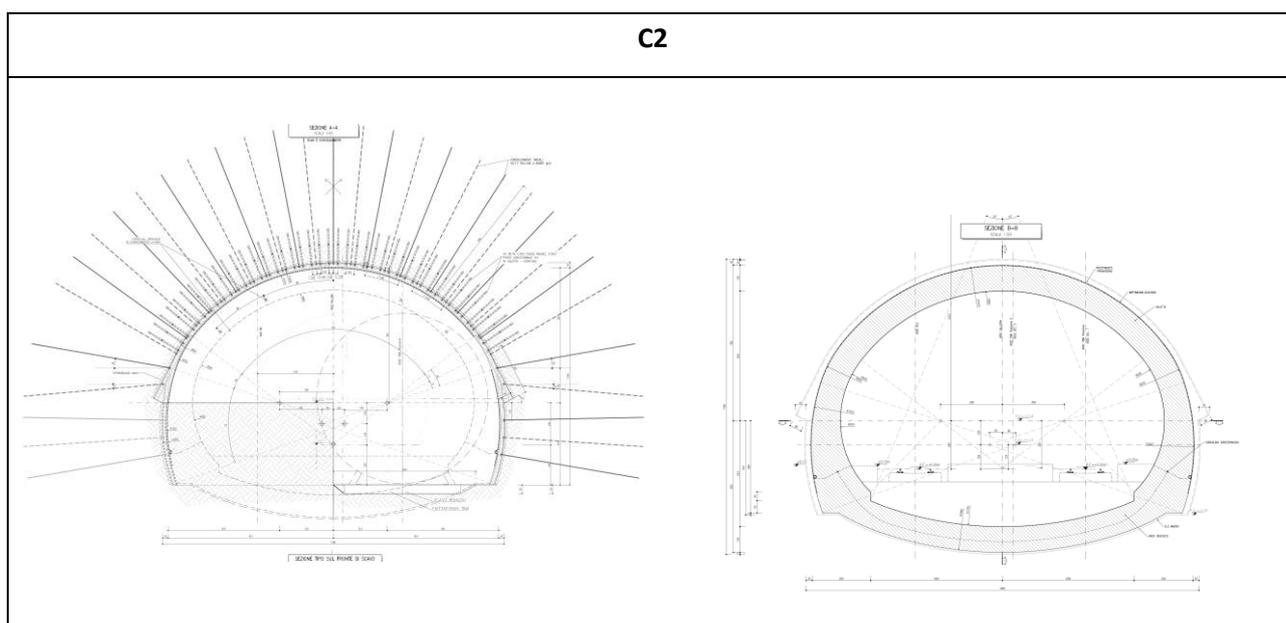


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	76 di 285

### 11.1.10 Sezione C2

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con $S_p=5$ cm ogni sfondo e $s_p=10$ cm a fine campo di avanzamento di calotta, $S_p=5$ cm ogni sfondo per scavo strozzo. Eventuali 44 ancoraggi al fronte in calotta R51N L=12m sovrapp. 6m maglia 1.5m x 1.5m.	
<b>Sostegno radiale</b>	16+17 bulloni radiali a barre $\varnothing 24$ (o Swellex equivalenti), disposti in raggiera alternate, L=8.0 m, $i_{LONG} = 1.0$ m, $i_{TRASV}=2.0$ m $\pm 20\%$	
<b>Sostegno al contorno</b>	Eventuali in calotta R51N L=6m passo radiale 0.5m ; longitudinale 3m	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\varnothing > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	$s = 5$ cm, prima fase
	Centine metalliche	$s = 25$ cm, seconda fase
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 130$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 130$ cm, in cls armato

Tabella 11-10. Sezione tipo C2

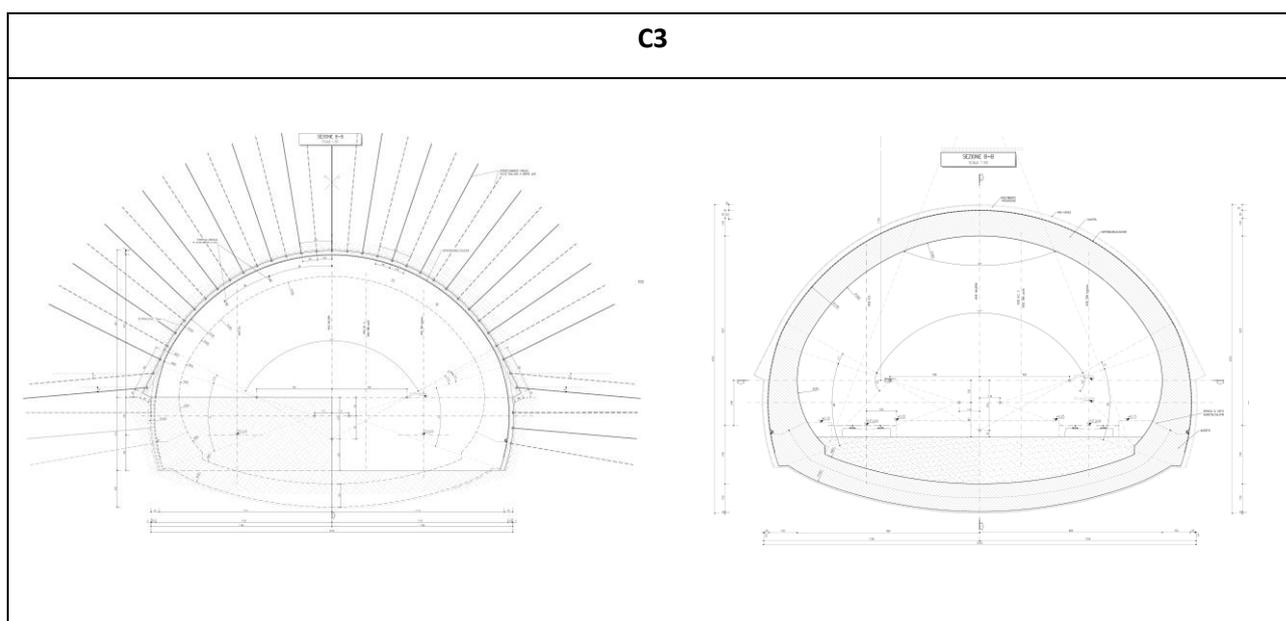


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	77 di 285

### 11.1.11 Sezione C3

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (3.0m con esplosivo) scavo calotta, 1.0 m scavo strozzo (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e sp=10 cm a fine campo di avanzamento di calotta, Sp=5 cm ogni sfondo per scavo strozzo	
<b>Sostegno radiale</b>	19+20 bulloni radiali a barre Ø30 (o Swellex equivalenti), disposti in raggiere alternate, L=8.0 m, i <sub>LONG</sub> = 1.0 m, i <sub>TRASV</sub> =2.0 m. ±20%	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno Ø > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase
		s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB220, i=1.0 m ±20%
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	s <sub>min</sub> = 150 cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	s <sub>min</sub> = 140 cm, in cls armato

Tabella 11-11. Sezione tipo C3

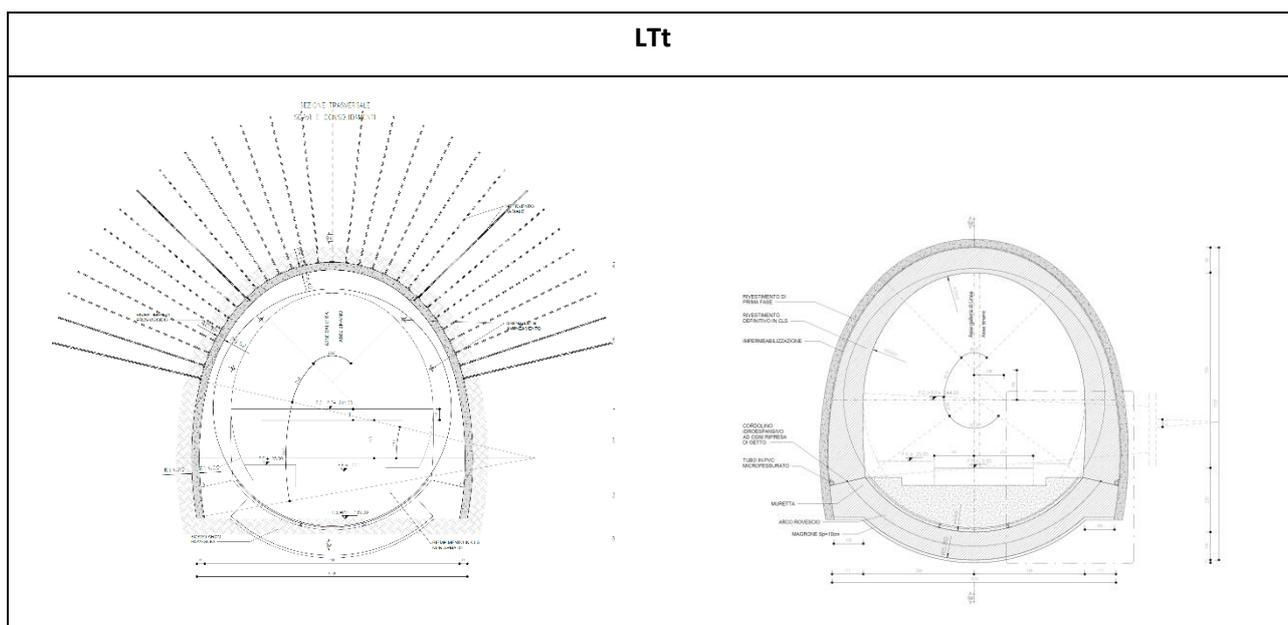


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	78 di 285

### 11.1.12 Sezione LTt

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	3.0 m (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e 10 ogni campo di avanzamento	
<b>Sostegno radiale</b>	14+15 bulloni $\phi 24$ , o Swellex equivalenti L = 6.0m p long 1.2m x p trasv 1.0m	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, $L_{tot} = 30$ m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s = 25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB180, i=1.4 m
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	$s_{min} = 100$ cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	$s_{min} = 90$ cm, in cls armato

Tabella 11-12. Sezione tipo LTt

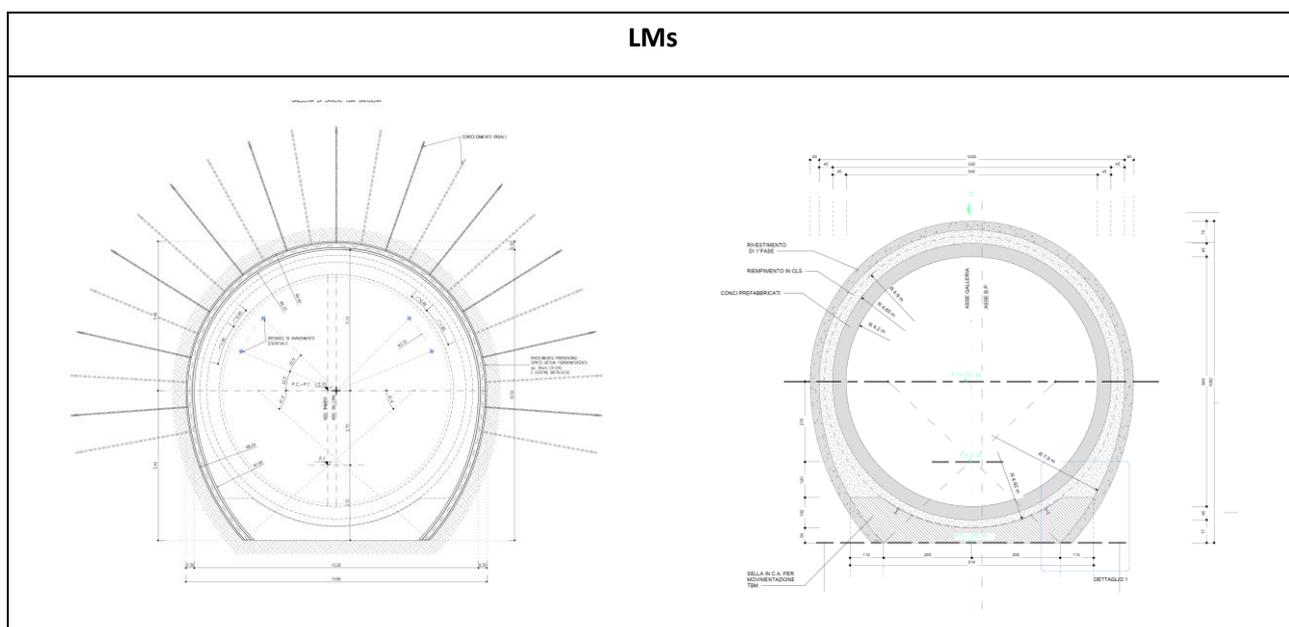


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	79 di 285

### 11.1.13 Sezione LMs

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	1.0 m (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e sp=30 cm parete di fondo partenza TBM	
<b>Sostegno radiale</b>	11+12 bulloni radiali a barre Ø24 (o Swellex equivalenti), L=6.0 m, i <sub>LONG</sub> = 1.2 m, i <sub>TRASV</sub> =1.8 m.	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno Ø > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase
		s = 25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	2 IPN180, i=1.0 m ±20%
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	conci TBM
	Calotta e piedritti	conci TBM

Tabella 11-13. Sezione tipo LMs

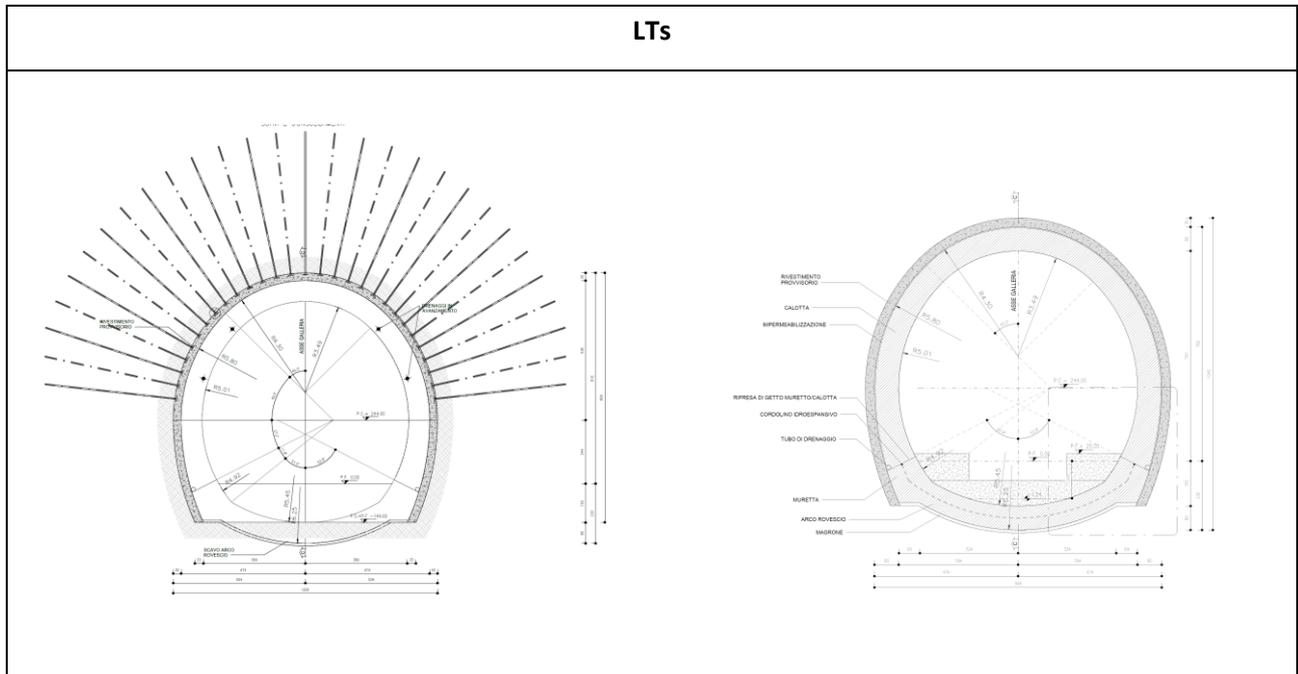


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 80 di 285

### 11.1.14 Sezione LTs

<b>Campo di avanzamento</b>	-	
<b>Sfondo massimo</b>	2.80 m (sagomatura del fronte a forma concava)	
<b>Sostegno al fronte</b>	Spritz beton fibrorinforzato con Sp=5 cm ogni sfondo e 10 a fine campo	
<b>Sostegno radiale</b>	14+15 bulloni $\phi 24$ , o Swellex equivalenti L = 6.0m p long 1.2m x p trasv 1.0m	
<b>Sostegno al contorno</b>	-	
<b>Sostegno al piede delle centine</b>	Non previsto	
<b>Drenaggi in avanzamento (in caso di presenza di acqua)</b>	n° 4 (2+2) tubi microfessurati in PVC, L <sub>tot</sub> = 30 m (sovrapp. minima 12 m) diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT	
<b>Rivestimento di prima fase</b>	Spritz-beton fibrorinforzato	s = 5 cm, prima fase s =25 cm, seconda fase
	Centine metalliche	HEB180, i=1.4 m $\pm 20\%$
<b>Impermeabilizzazione</b>	Tessuto non tessuto e manto impermeabile in PVC	
<b>Rivestimento definitivo</b>	Arco rovescio e murette	S <sub>min</sub> = 80 cm, in cls armato
	Calotta e piedritti	S <sub>min</sub> = 80 cm, in cls armato

Tabella 11-14. Sezione tipo LTs



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	81 di 285

## 11.2 MODALITÀ DI SCAVO PREVISTE

Le modalità di scavo previste sono a piena sezione per tutte le sezioni della galleria. Nell'ambito dei cameroni si prevede, per le sezioni che sono caratterizzate da una maggiore estensione del fronte di scavo, la modalità di scavo a sezione parzializzata.

Nello specifico le modalità di scavo parzializzato prevedono la seguente modalità realizzativa (vedasi **Errore. L 'origine riferimento non è stata trovata.**):

1. Scavo del settore di calotta (sostenuto da bulloni radiali la cui installazione avviene per ogni singolo sfondo e successiva iniezione entro 3 m dal fronte di scavo);
2. Scavo del ribasso (sempre preceduto dalla posa in opera del prinvestimento nel settore di calotta) e contestuale posa in opera del relativo prinvestimento ;
3. Scavo dell' arco rovescio (A.R.)

La fasistica esecutiva di ogni sezione tipo è descritta dettagliatamente nell'ambito delle relazioni di calcolo delle opere ed in specifici elaborati grafici.

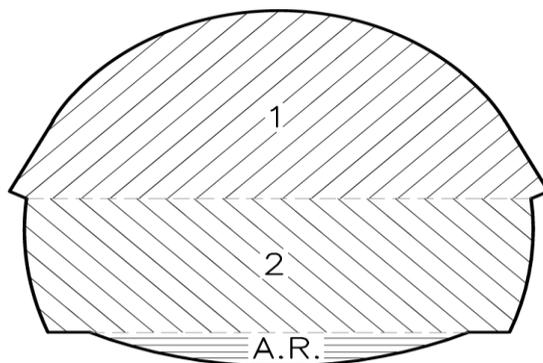


Figura 11-1– Schema realizzativo scavo parzializzato cameroni

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	82 di 285	

### 11.3 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 (§6) e nel rispetto della normativa vigente (Rif. [1] e Rif. [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 C0 Tipo 2 e C1 di Tipo 2, vengono eseguiti oltre i modelli con il software agli elementi finiti Plaxis, anche le verifiche della stabilità del fronte mediante il software UnWedge 4.0 (RocScience). Negli allegati 1-2 sono riportate le verifiche per le sezioni in questione con le ipotesi di calcolo e procedura di verifica adottata.
- 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.

#### 11.3.1 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.

Cameroni di comunicazione – Sezioni analizzate								
Sezione di calcolo	Unità	pk [km]	H [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [kPa]	$E_k$ [GPa]	Modello di calcolo
C0 tipo 1*	BSSa	21+310	524.0	27	2255	37.7	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
C0 tipo 2	BSSa	21+310	524.0	27	1266	30.7	4.311	Verifica stabilità del fronte mediante analisi a blocchi con software UnWedge Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
C1 tipo 1	BSSa	21+304	536.8	27	2279	37.5	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:							
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	83 di 285

<b>C1 tipo 2</b>	BSSa	21+304	536.8	27	1285	30,5	4.311	Verifica stabilità del fronte mediante analisi a blocchi con software UnWedge Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>C2 (scen 1)</b>	BSSa	21+254	545.6	27	2295	37.4	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>C2 (scen 2)</b>	BSSa	21+254	540	27	1289	30.5	4.311	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>C3</b>	BSSa	21+201	555.3	27	2313	37.2	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>I1</b>	BSSa	20+729	599.0	27	2392	36.7	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>I2</b>	BSSa	20+661	599.4	27	2393	36.7	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>LTs</b>	BSSa	21+115	567.3	27	2335	37.1	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>Lms</b>	BSSa	20+506	585	27	2367	36.8	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>Ltt</b>	BSSa	20+576	590	27	2376	36.8	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
<b>A2allargata</b>	BSSa	20+861	590	27	2376	36.8	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D

*H*: profondità dell'asse della galleria

$\gamma$ : peso dell'unità di volume dell'ammasso

$c'$ : valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

$\phi'_k$ : valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

$E_k$ : valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

\*la camera disconnessione fumi è rappresentata da una sezione C0 Tipo 1. L'analisi numerica in questione è considerata più critica e pertanto rappresentativa anche della camera disconnessione fumi.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>GALLERIE</b>		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0200002</td> <td>C</td> <td>84 di 285</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	84 di 285
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	84 di 285									
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale														

Cameroni di interconnessione – Sezioni analizzate								
Sezione di calcolo	Unità	pk [km]	H [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [kPa]	$E_k$ [GPa]	Modello di calcolo
I0	BSSa	21+895	525.4	27	2258	37.6	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D
I3	BSSa	22+075	547.4	27	2299	37.3	17.06	Verifica pre-rivestimento e rivestimento definitivo con modelli FEM Plaxis 2D

H: profondità dell'asse della galleria  
 $\gamma$ : peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_k$ : valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso  
 $\phi'_k$ : valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso  
 $E_k$ : valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	85 di 285

## 11.4 SEZIONE C0<sub>Tipo 1</sub>

### 11.4.1 Stabilità del fronte

La sezione è stata analizzata assumendo, uno scavo a sezione piena, come descritto al §11.1.6 **Errore. L 'origine riferimento non è stata trovata..** Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C0<sub>Tipo1</sub> eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R <sub>eq</sub> [m]	H [m]	S <sub>m</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>d</sub> [kPa]	φ' <sub>d</sub> [°]	E <sub>d</sub> [MPa]
C0	6.7	524	14.15	27	1805	31.7	17056
H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria S <sub>m</sub> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria γ: peso dell'unità di volume dell'ammasso c' <sub>d</sub> : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso φ' <sub>d</sub> : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso E <sub>d</sub> : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso							

Tab. 11-15– Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C0<sub>Tipo1</sub>.

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	u <sub>F</sub> [mm]	u <sub>F</sub> /R <sub>eq</sub> [%]	R <sub>PF</sub> [m]	R <sub>PF</sub> /R <sub>eq</sub> [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C0 <sub>Tipo1</sub>	6.5	0.09	8.12	1.21	A	A	B

Tab. 11-16– Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C0<sub>Tipo1</sub>.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 86 di 285

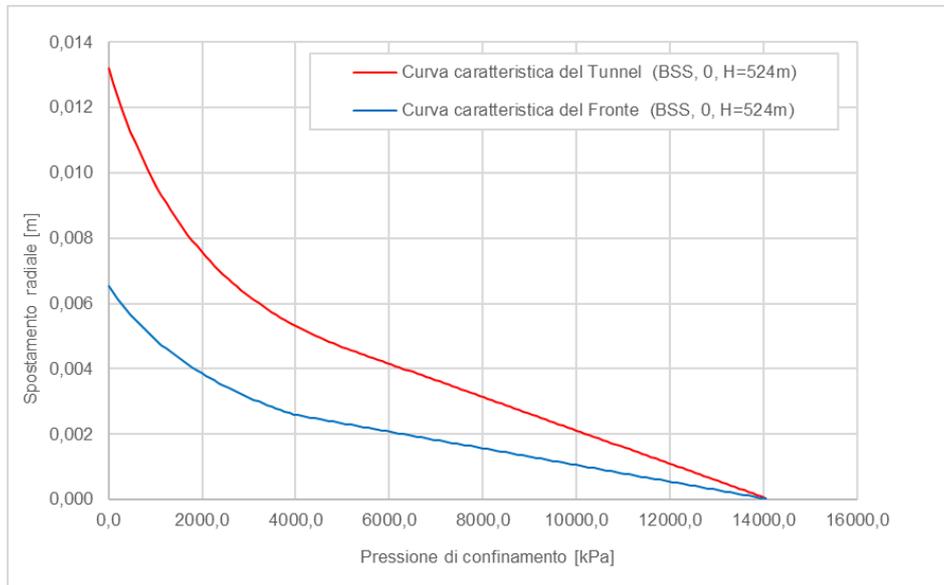


Fig. 11-2 – Curve caratteristiche – Sezione CO<sub>Tipo1</sub>.

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.

#### 11.4.2 INTERAZIONE OPERA TERRENO

Vista l'analogia della sezione con la CO Tipo1 presente in Scaleres, ed essendo quest'ultima stata verificata con parametri geomeccanici peggiori, possono ritenersi soddisfatte le verifiche di interazione opera-terreno sulla sezione in esame.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	87 di 285

## 11.5 SEZIONE CO<sub>TIPO2</sub>

### 11.5.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo CO<sub>TIPO2</sub> eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	Req_SETT1 [m]	Req_SETT2 [m]	H [m]	S <sub>m</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>d</sub> [kPa]	φ' <sub>d</sub> [°]	E <sub>d</sub> [MPa]
CO <sub>TIPO2</sub>	4.7	4.7	524	14.15	27	1013	25.4	4311
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  S<sub>m</sub> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  γ: peso dell'unità di volume dell'ammasso  c'<sub>d</sub>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  φ'<sub>d</sub>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  E<sub>d</sub>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-17 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione CO<sub>TIPO2</sub>.

Nella seguente tabella si riassumono i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento mediante barre autopercoranti R51N.

c' [kPa]	φ' [°]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	n. [-]	τ [kPa]	Ø <sub>bh</sub> [mm]	f <sub>y</sub> [MPa]	f <sub>u</sub> [MPa]	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>3,A</sub> <sup>DYWI</sup>	σ <sub>3,B</sub> <sup>DYWI</sup>	σ <sub>3</sub> <sup>DYWI</sup>	Δc <sup>DYWI</sup>	c' <sup>DYWI</sup>
1266	30.7	138	6	24	250	110	670	850	940	92	142	92	81	1347
<p>c', φ': coesione e angolo di resistenza al taglio iniziale  A: area di scavo  L, n: lunghezza minima di sovrapposizione e numero delle barre  τ: resistenza allo sfilamento all'interfaccia bulbo/terreno  Ø<sub>bh</sub>: diametro perforazione  F<sub>y</sub>, f<sub>u</sub>: carico a snervamento (f<sub>y</sub>) e rottura (f<sub>u</sub>) della barra  A<sub>s</sub>: area della sezione trasversale della barra  σ<sub>3,A</sub><sup>DYWI</sup>, σ<sub>3,B</sub><sup>DYWI</sup>: resistenza rispettivamente allo sfilamento e a rottura dell'intervento  σ<sub>3</sub><sup>DYWI</sup>: resistenza dell'intervento (minimo tra i due valori a sfilamento e rottura)  Δc<sup>DYWI</sup>, c'<sup>DYWI</sup>: incremento di coesione dovuto all'intervento e valore totale di coesione</p>														

Tabella 11-18 – Incremento di coesione equivalente al fronte

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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 88 di 285

Sezione di analisi	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C0Tipo2	53.9	0.81	7.35	1.53	B/C	C	C

Tabella 11-19– Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C0Tipo2.

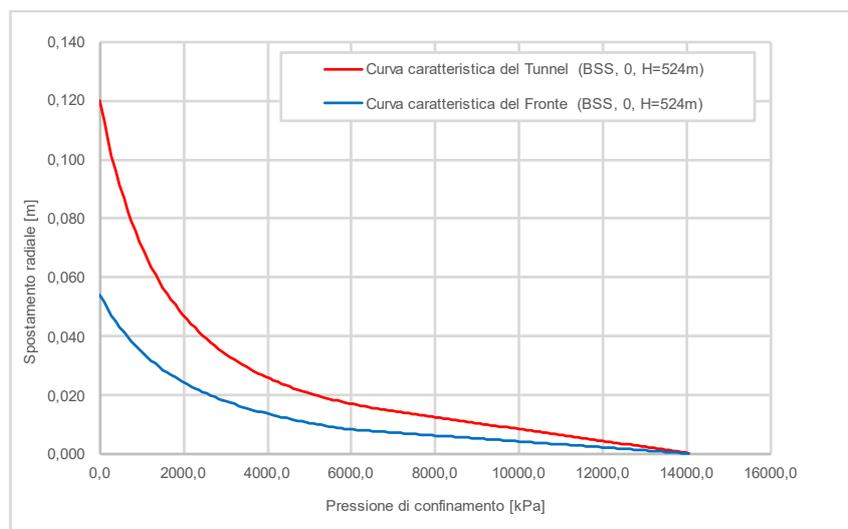


Figura 11-3 – Curve caratteristiche della Sezione C0Tipo2.

Le analisi evidenziano che, con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, il raggio plastico risulta elevato e l'entità degli spostamenti attesi è decimetrica. Per questi motivi è previsto, per garantire la stabilità, oltre agli ancoraggi radiali ed al sostegno al contorno ed al fronte, un extra-scavo pari a 10 cm ed uno strato di spritz-beton ad ogni sfondo pari a 10 cm.

### 11.5.2 Interazione opera-terreno

La sezione C0tipo2 viene prevista in faglia anche in Scaleres, dove però i parametri geomeccanici sono peggiori. Per questo motivo, per le verifiche di interazione opera-terreno della sezione in esame si rimanda alla relazione dei cameroni di Scaleres.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	89 di 285

## 11.6 SEZIONE C1<sub>TIP01</sub>

### 11.6.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C0<sub>tipo1</sub> eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R <sub>eq SETT1</sub> [m]	R <sub>eq SETT2</sub> [m]	H [m]	S <sub>m</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>d</sub> [kPa]	φ' <sub>d</sub> [°]	E <sub>d</sub> [MPa]
C1 <sub>Tipo1</sub>	5.2	4.7	536.8	14.5	27	1823	31.5	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  S<sub>m</sub> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  γ: peso dell'unità di volume dell'ammasso  c'<sub>d</sub>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  φ'<sub>d</sub>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  E<sub>d</sub>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-20 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C1.

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	u <sub>F</sub> [mm]	u <sub>F</sub> /R <sub>eq</sub> [%]	R <sub>PF</sub> [m]	R <sub>PF</sub> /R <sub>eq</sub> [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C1 <sub>Tipo1</sub> Settore 1	5.2	0.1	6.31	1.21	A	A	B
C1 <sub>Tipo1</sub> Settore 2	4.7	0.1	5.79	1.21	A	A	B

Tabella 11-21 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C1.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 90 di 285

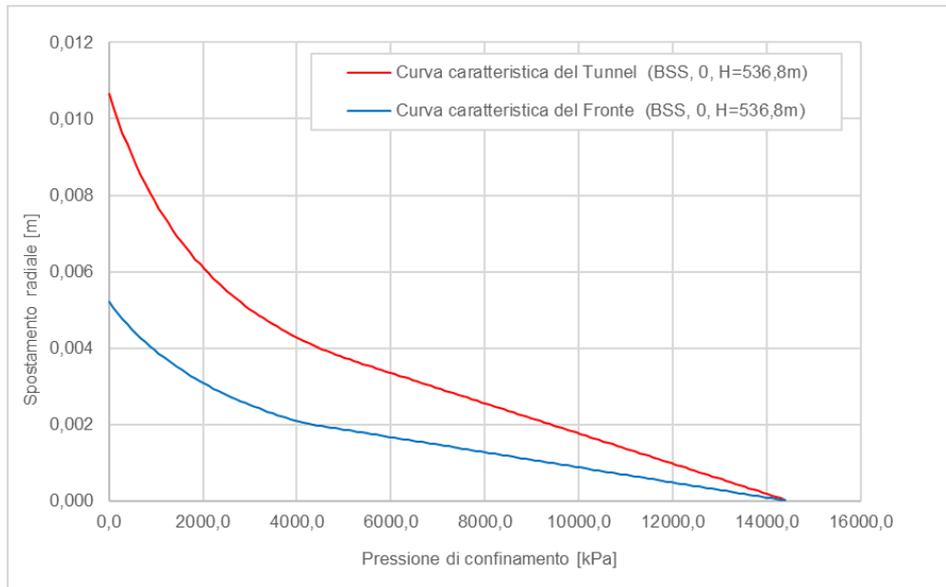


Figura 11-4 – Curve caratteristiche settore 1 – Sezione C1Tipo1

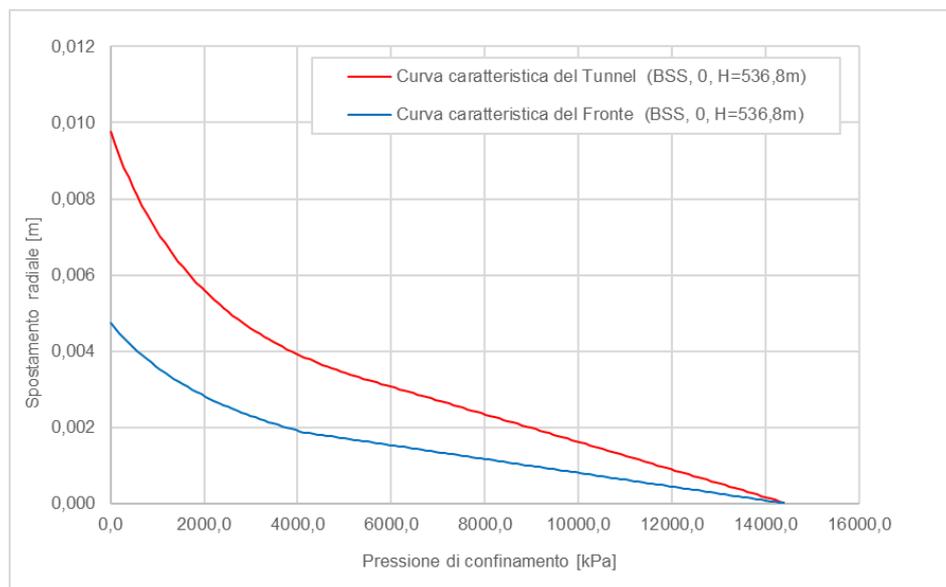


Figura 11-5 – Curve caratteristiche settore 2 – Sezione C1Tipo1

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:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	91 di 285

### 11.6.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Si riportano di seguito le analisi della sezione C1<sub>tipo1</sub>. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente.

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone C1-tipo1	BSSa	536,8	Terreno naturale	27	2279	37.5	17000.00
	BSSa (D=0.1)	536,8	Terreno naturale	27	2197	36.98	15388.00
	BSSa (D=0.2)	536,8	Terreno naturale	27	2112	36.42	13792.00

Tabella 11-22 - Sezione C1\_tipo1 – Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

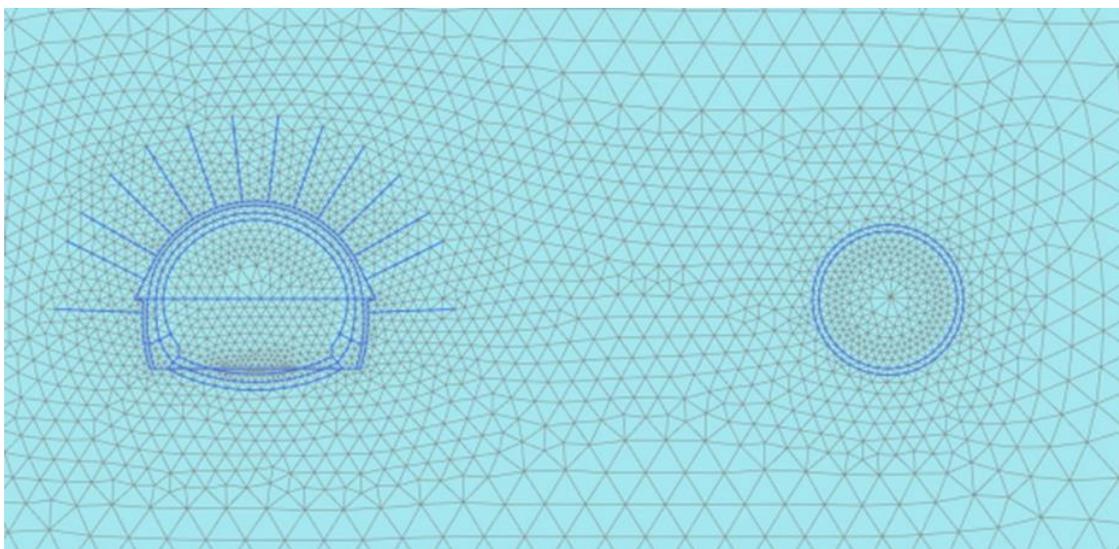


Figura 11-6 – Particolare mesh– Sezione C1<sub>tipo1</sub>

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.8.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi *plate* inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 92 di 285

I valori di rigidezza (EA ed EI) sono stati moltiplicati di un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	110	31476	0.2	34.6	3.49
Murette	C25/30	110	31476	0.2	34.6	3.49
Calotta e piedritti	C25/30	100	31476	0.2	31.4	2.62

Tabella 11-23 - Sezione tipo C1\_tipo1 – Sintesi dei parametri dei rivestimenti definitivi

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di de-confinamento applicati al modello.

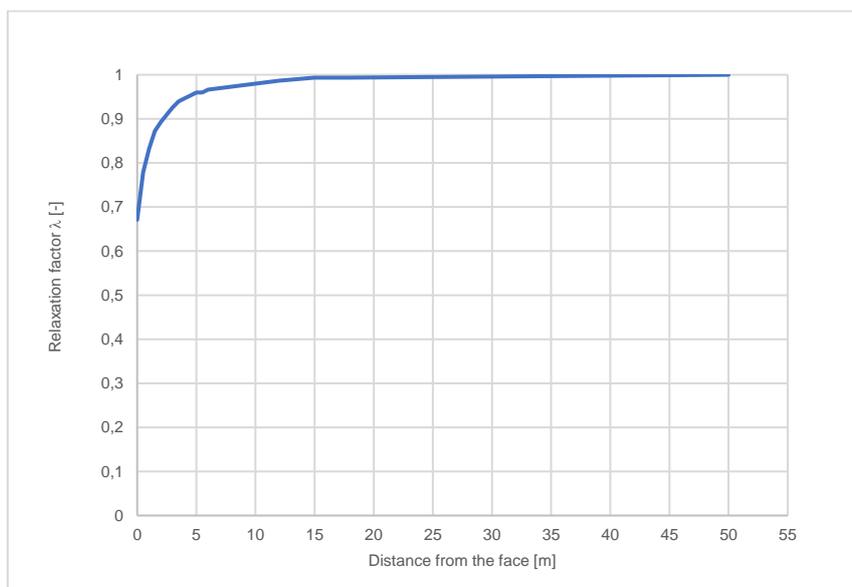


Tabella 11-24 – Curva di rilascio settore 1– Sezione C1-tipo1- Calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 93 di 285

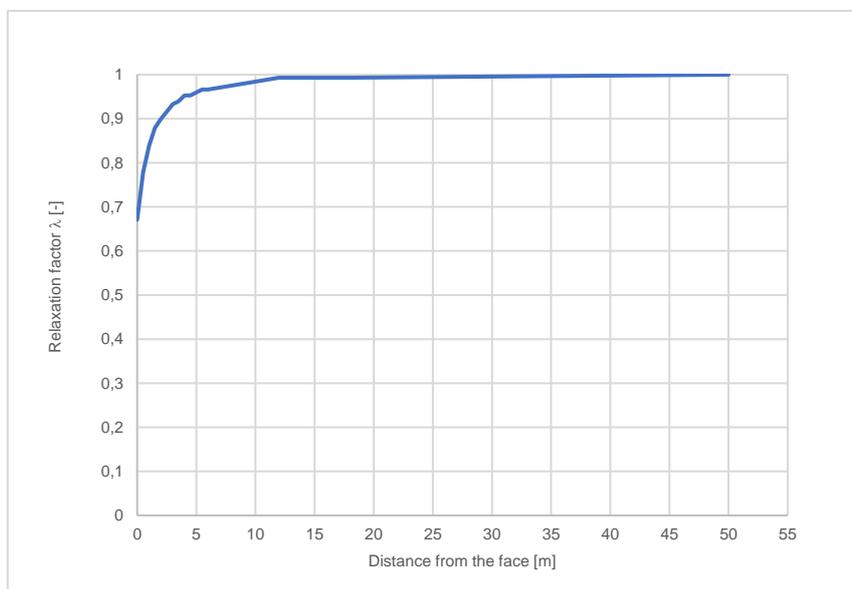


Tabella 11-25 – Curva di rilascio settore 2– Sezione C1-tipo1- Strozzo

La tabella seguente riassume i fattori di rilascio ottenuti dalle sovrastanti curve caratteristiche adottati per la sezione tipologica in esame nelle varie fasi di analisi:

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1.	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Apertura del fronte (calotta)	67.11
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento	83.22
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento	92.61
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100.00
8.	Posa in opera rivestimento di prima fase in calotta e apertura del fronte (strozzo)	67.11
9.	Scavo strozzo per 1 m di avanzamento	83.89
10.	Inserimento dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento prima fase, scavo strozzo per 6 m di avanzamento	99.32
12.	Completa maturazione spritz (x=15)	99.32
13	Scavo ribasso	100.00

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	94 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
14.	Posa in opera del rivestimento definitivo arco rovescio e piedritti	100.00
15.	Degradazione dell'ammasso roccioso: D=0.1 per ipotizzare che per almeno 5 anni il camerone sarà sostenuto dal solo pre-rivestimento costituito da spritz e centine e dall'arco rovescio	100.00
16.	Posa in opera del rivestimento definitivo calotta	100.00
17.	Attivazione carico idraulico 20 m al di sopra della calotta. Degradazione dell'ammasso roccioso: si considera una riduzione dei parametri geomeccanici dell'ammasso applicando un fattore di disturbo D=0.2 per tener conto del degrado a lungo termine.	100.0

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3 m dal fronte.*

*Tabella 11-26 – Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione tipo C1tipo1*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato precedentemente, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 11793.6 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (536.8m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 95 di 285

### 11.6.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

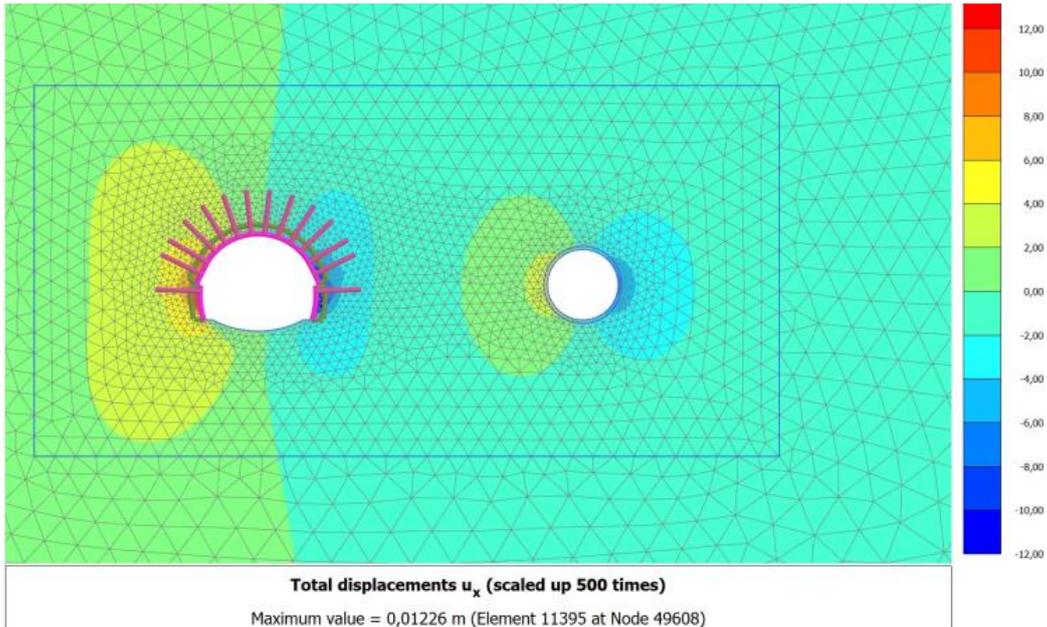


Figura 11-7: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo C1<sub>tip01</sub>. (fase 13)

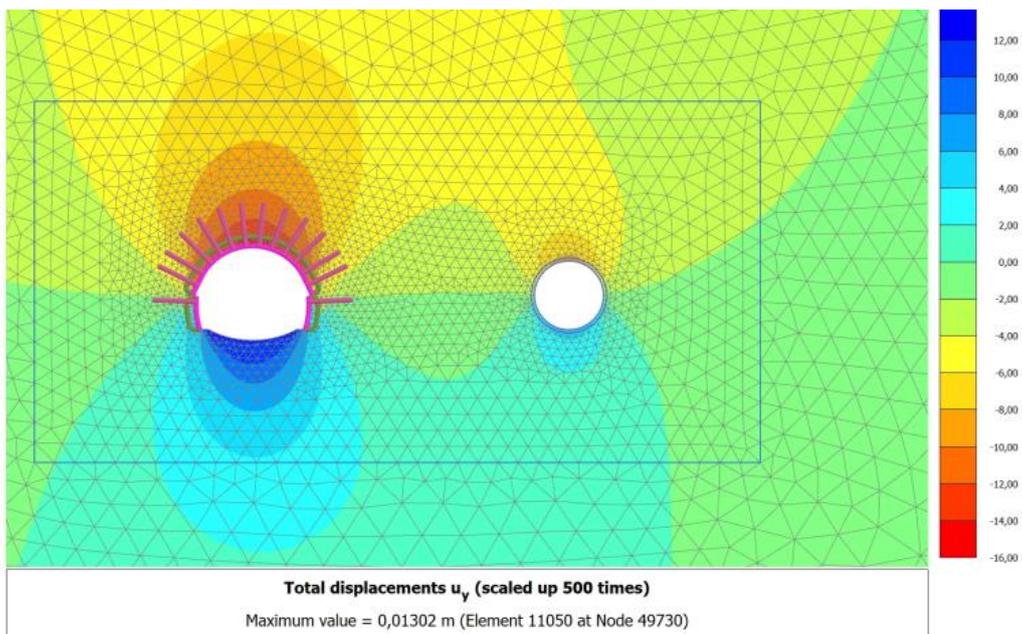


Figura 11-8: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo C1<sub>tip01</sub>. (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	96 di 285

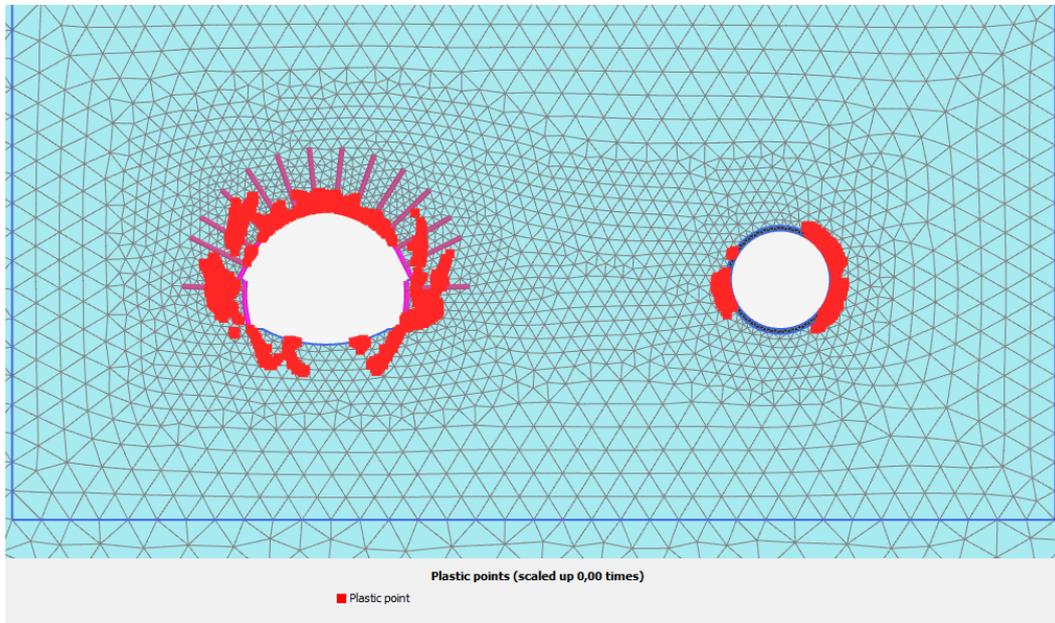


Figura 11-9: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo C1<sub>tipo1</sub>. (fase 13)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

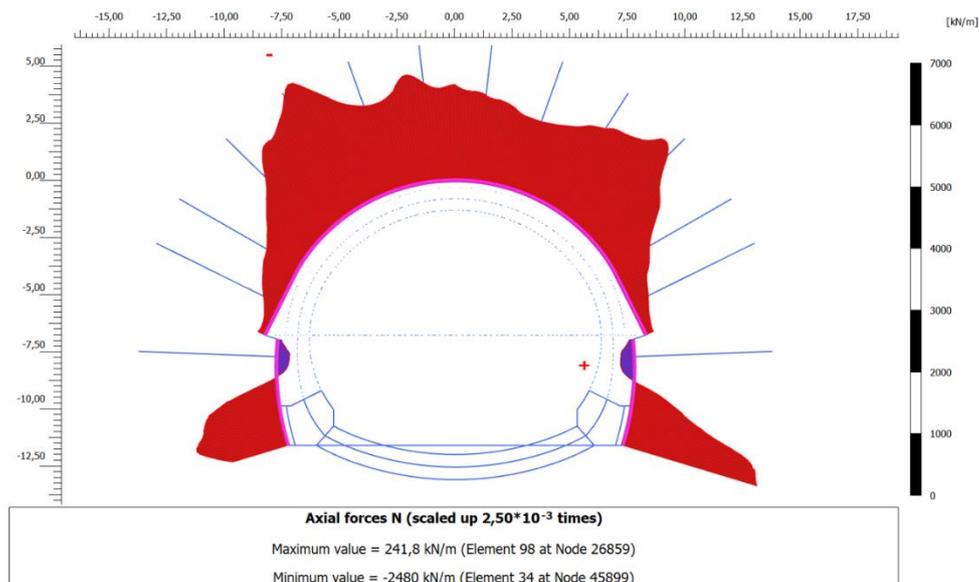


Figura 11-10 – C1<sub>tipo1</sub>. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 97 di 285

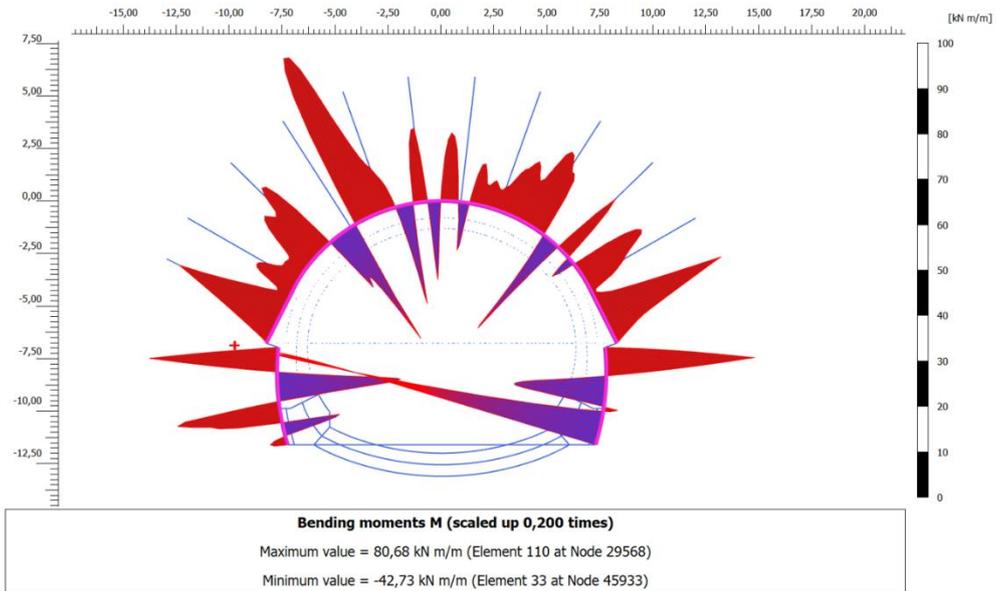


Figura 11-11 – C1<sub>tipo1</sub>. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 15)

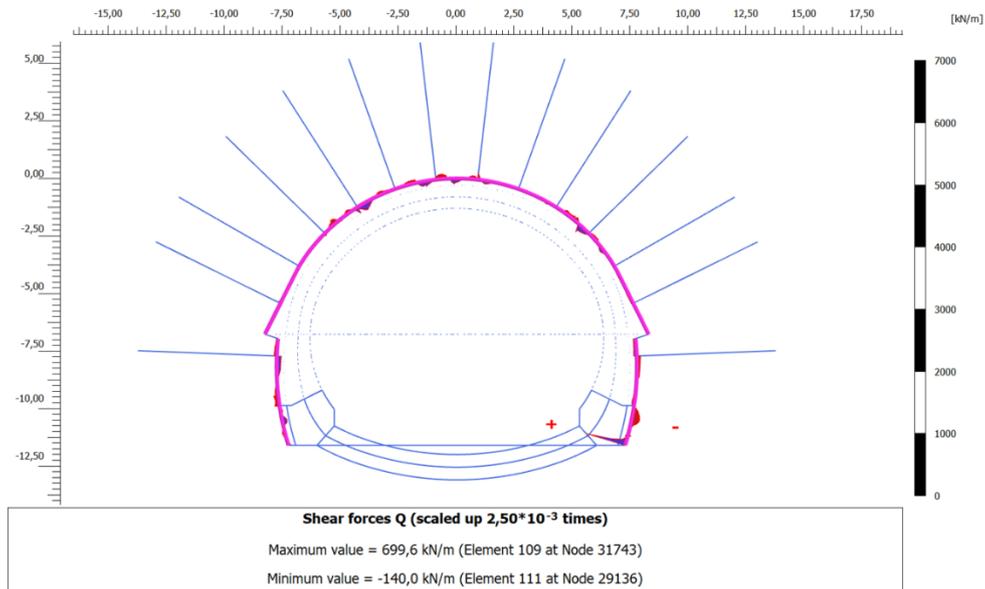


Figura 11-12 C1<sub>tipo1</sub>. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 98 di 285

**Rivestimento definitivo:**

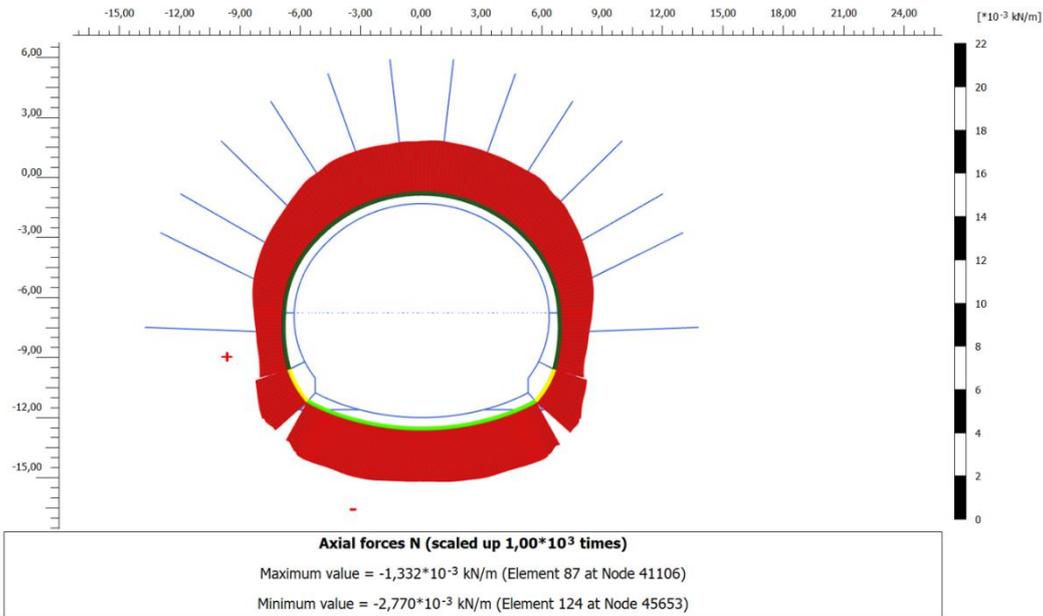


Figura 11-13 – C1<sub>tipo1</sub>. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 17)

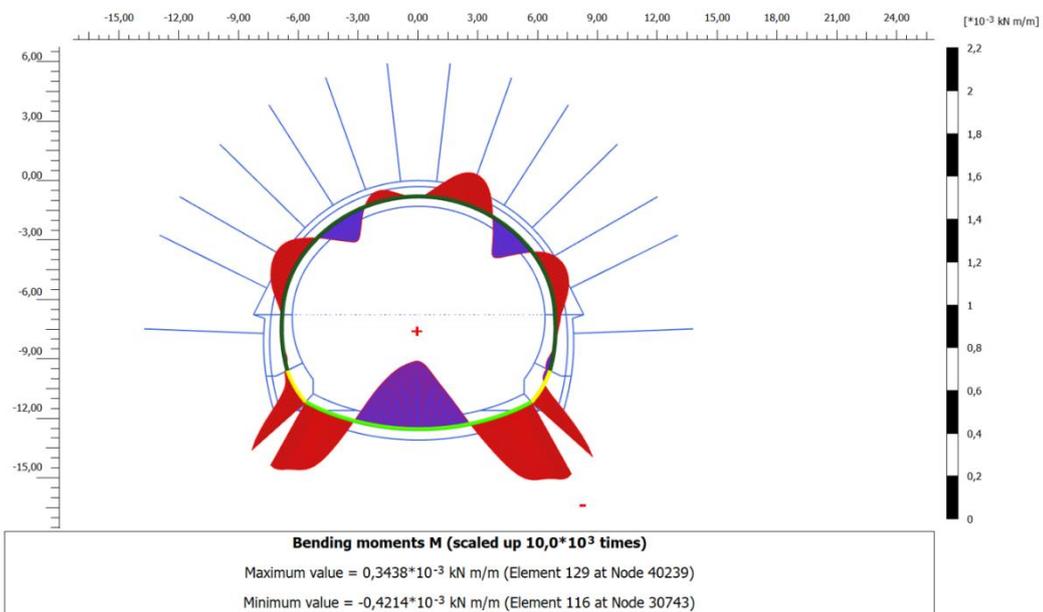


Figura 11-14 – C1<sub>tipo1</sub>. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 17)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 99 di 285

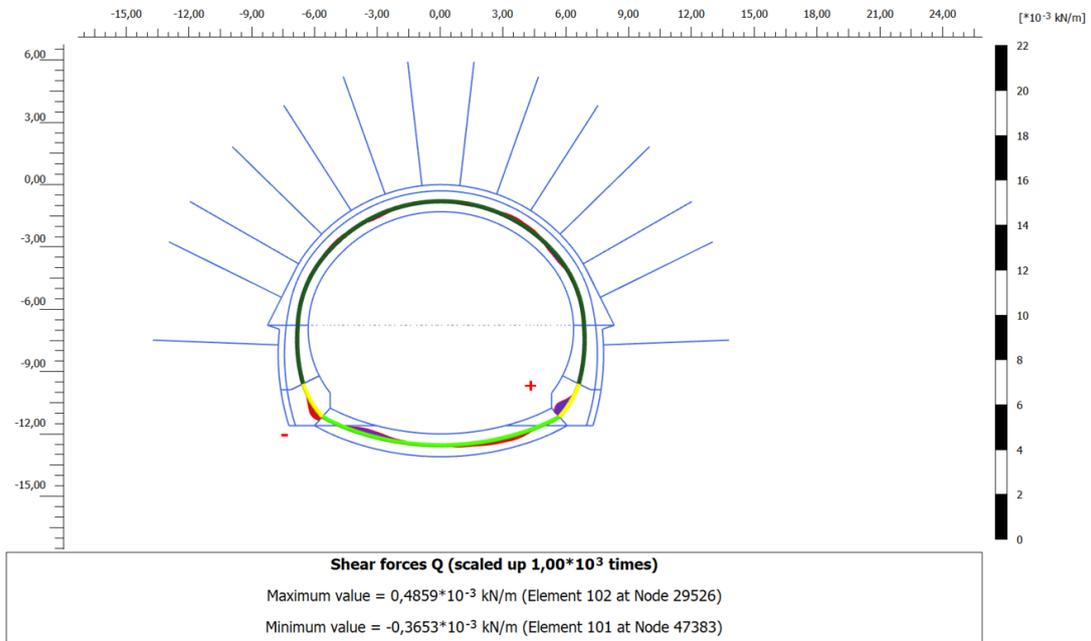
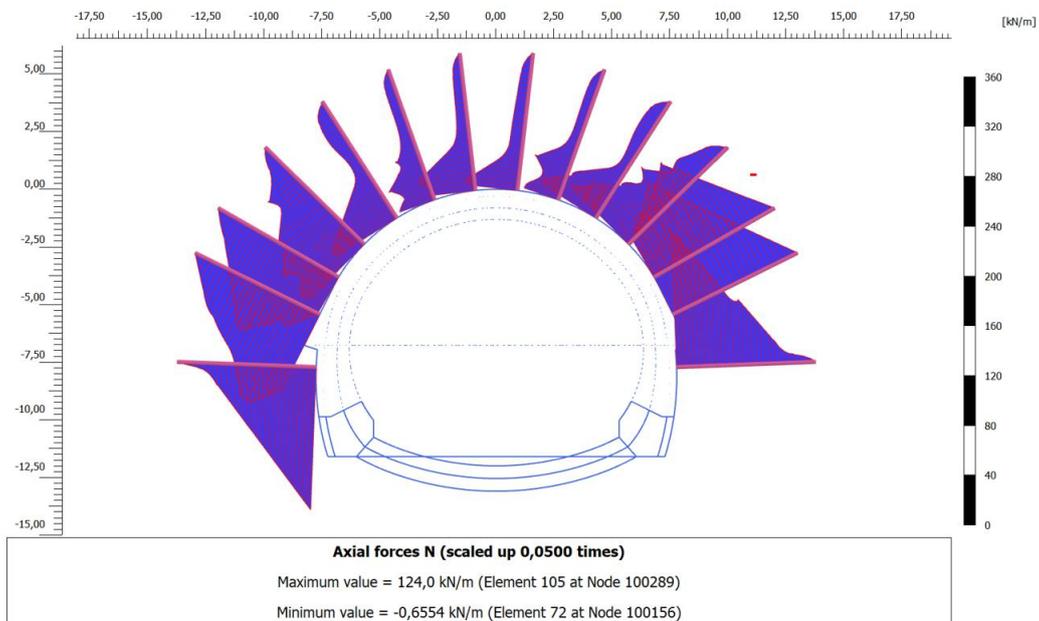


Figura 11-15 – C1<sub>tipo1</sub>. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 17)

**Bulloni radiali:**



Figura

11-16– C1<sub>tipo1</sub>. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C
						FOGLIO.
						100 di 285

### 11.6.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.6.3.1. Verifica del rivestimento provvisorio

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla degradazione dell'ammasso roccioso con  $D=0.1$  (fase 15).

Il rivestimento di prima fase della sezione C1tipo1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB200 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

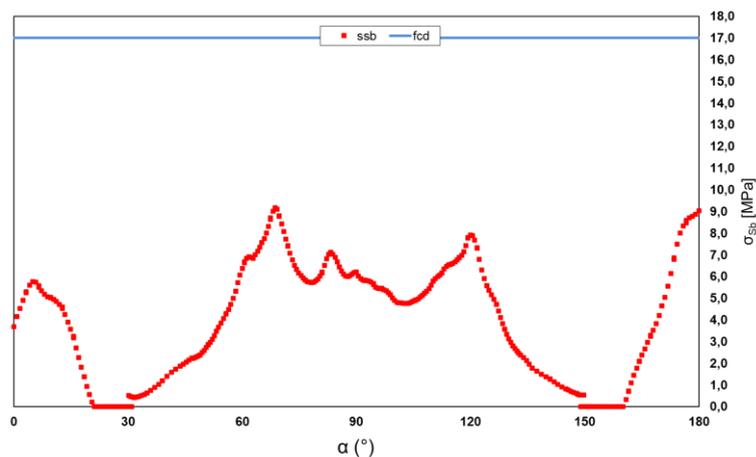


Figura 11-17: Verifica SLU per lo spritz-beton — Sezione C1tipo1

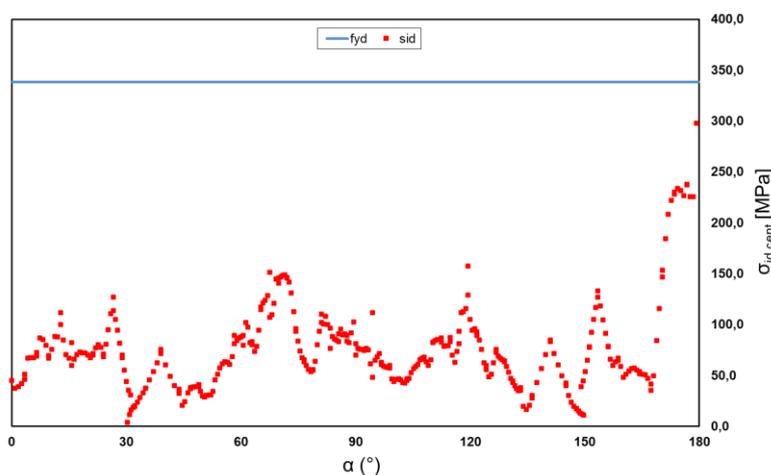


Figura 11-18: Verifica SLU per le centine – Sezione C1tipo1

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 101 di 285

### 11.6.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1,1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1,1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 17 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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.

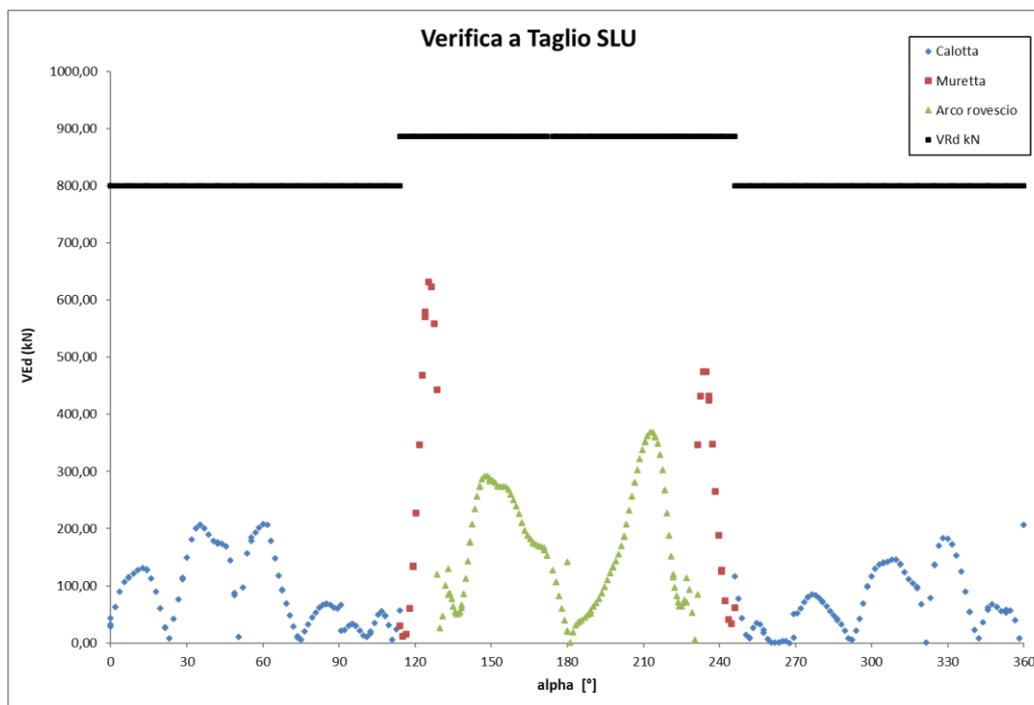


Figura 11-19 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione C1<sub>tipo1</sub>

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	102 di 285

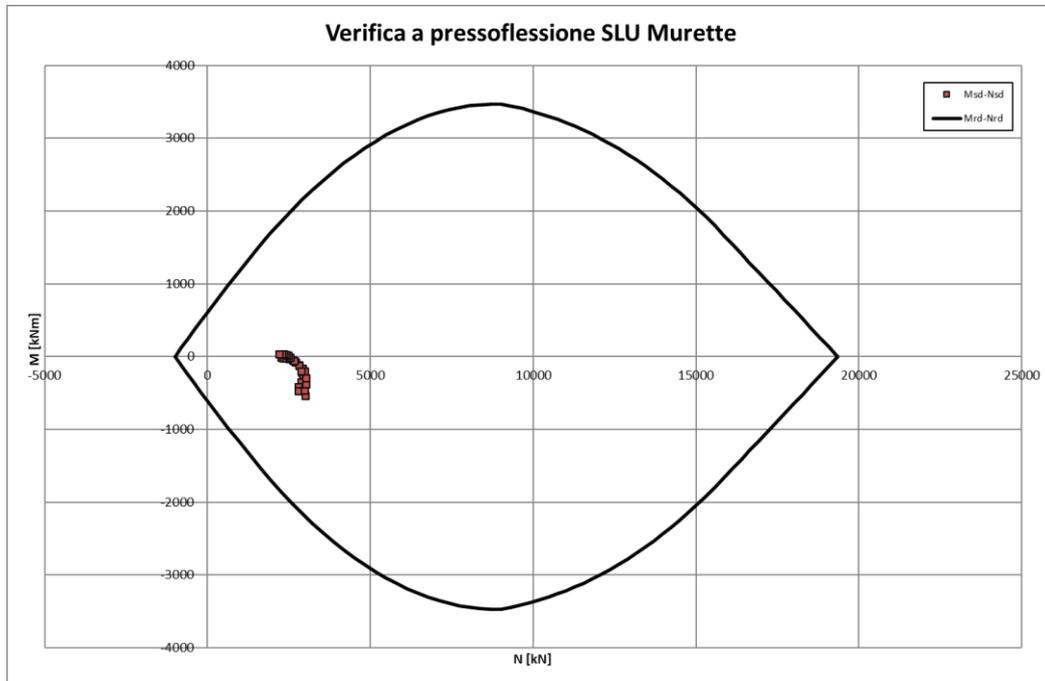


Figura 11-20 Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione C1tipo1

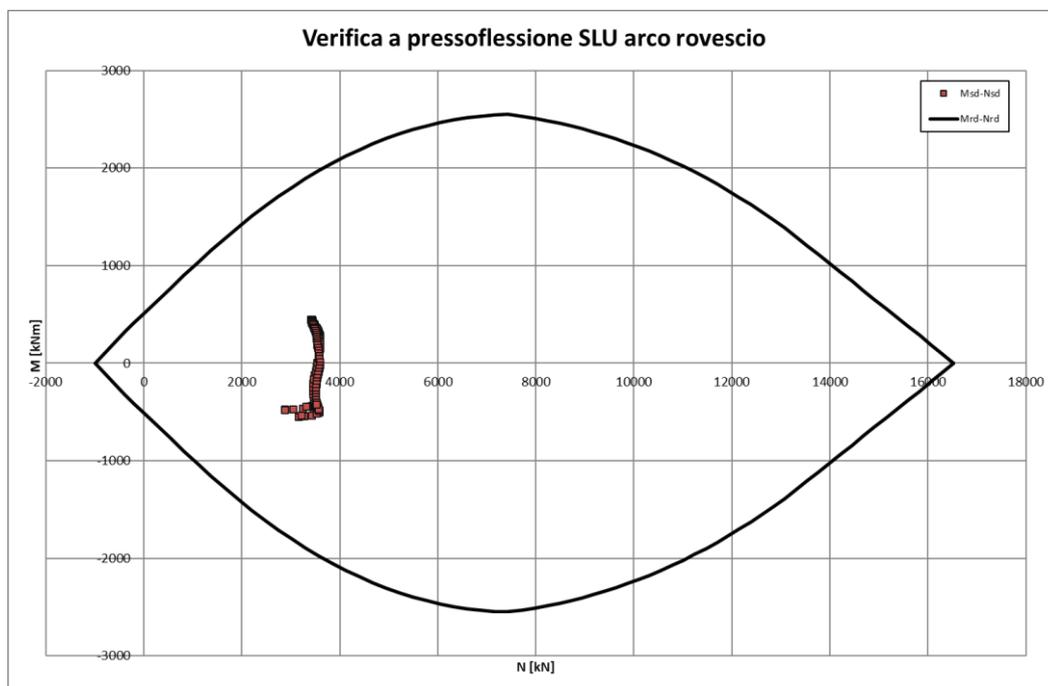


Figura 11-21 Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione C1tipo1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 103 di 285

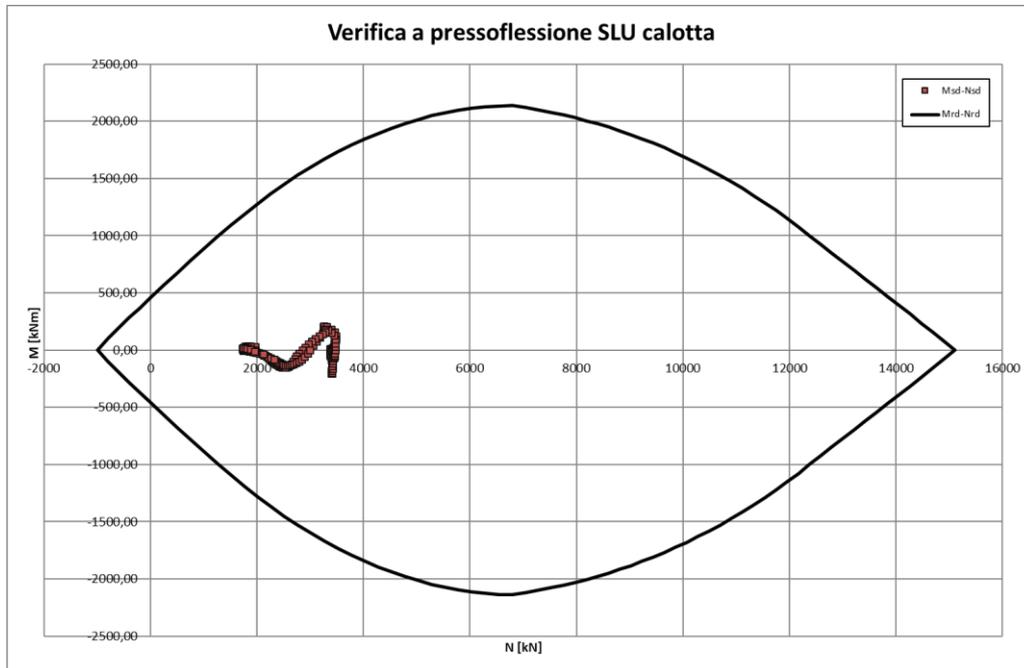


Figura 11-22 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione C1<sub>tipo1</sub>

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  $\alpha$ .

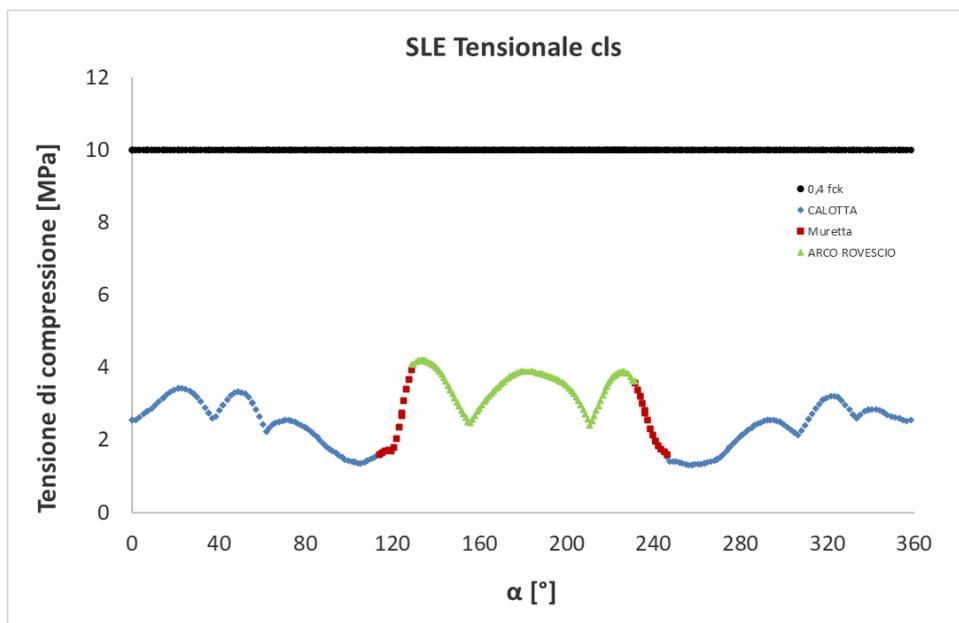


Figura 11-23 – Verifica tensioni calcestruzzo – Sezione C1<sub>tipo1</sub>

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C
						FOGLIO. 104 di 285

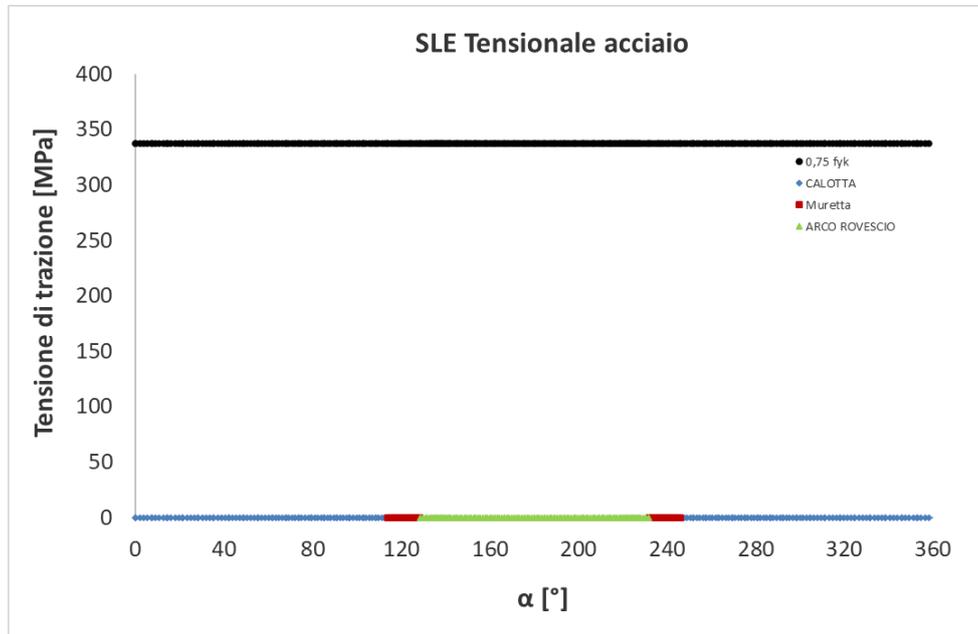


Figura 11-24 – Verifica tensioni acciaio – Sezione C1tipo1

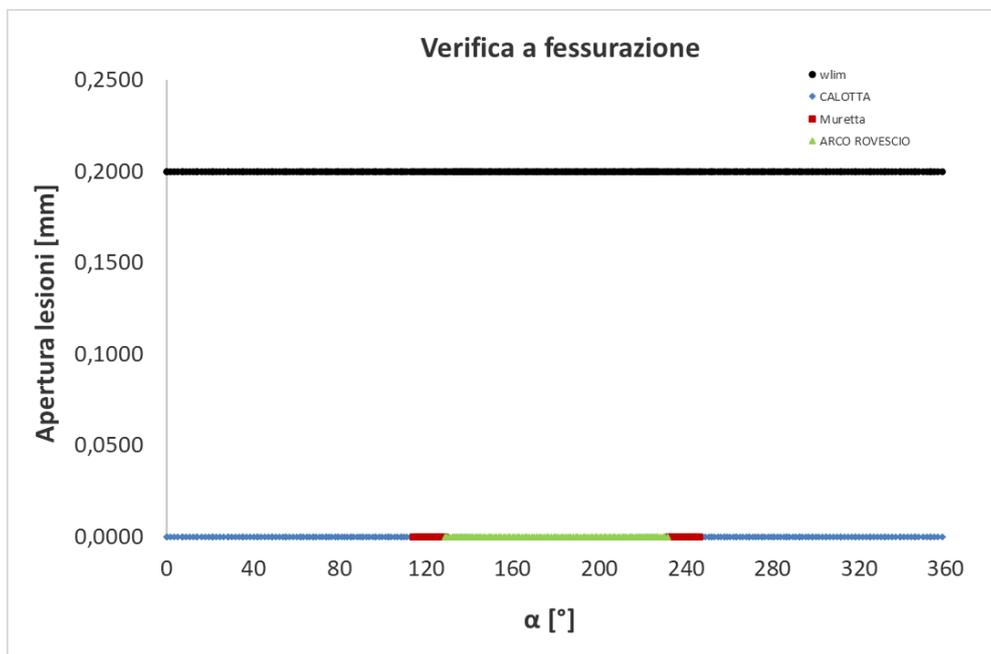


Figura 11-25 – Verifica a fessurazione – Sezione C1tipo1

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	105 di 285	

### 11.6.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione C1tipo1 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
13+14 barre $\Phi 24$	51	6	1	1.1	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 124 * 1.3 = 161.2 \text{ kN}$$

dove:

$N$  = massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 6 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 210.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d * 3.$$

Con **FS=1.3**

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=1.1**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	106 di 285

## 11.7 SEZIONE C1 TIPO 2

### 11.7.1 STABILITA' DEL FRONTE

Di seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C1 tipo 1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	Req_SETT1 [m]	Req_SETT2 [m]	H [m]	S <sub>m</sub> [MPa]	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' <sub>d</sub> [kPa]	φ' <sub>d</sub> [°]	E <sub>d</sub> [MPa]
C1 tipo 2	5.2	4.7	536.8	14.5	27	1028	25.2	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  S<sub>m</sub> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  γ: peso dell'unità di volume dell'ammasso  c'<sub>d</sub>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  φ'<sub>d</sub>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  E<sub>d</sub>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-27 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C1 tipo 2

Nella seguente tabella si riassumono i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento mediante barre autoproforanti R51N.

c' [kPa]	φ' [°]	A [m <sup>2</sup> ]	L [m]	n. [-]	τ [kPa]	Ø <sub>bh</sub> [mm]	f <sub>y</sub> [MPa]	f <sub>u</sub> [MPa]	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>3,A</sub> <sup>DYWI</sup>	σ <sub>3,B</sub> <sup>DYWI</sup>	σ <sub>3</sub> <sup>DYWI</sup>	Δc <sup>DYWI</sup>	c' <sup>DYWI</sup>
1285	30.5	167	6	29	250	110	670	850	940	90	139	90	79	1364
<p>c', φ': coesione e angolo di resistenza al taglio iniziale  A: area di scavo  L, n: lunghezza minima di sovrapposizione e numero delle barre  τ: resistenza allo sfilamento all'interfaccia bulbo/terreno  Ø<sub>bh</sub>: diametro perforazione  F<sub>y</sub>, f<sub>u</sub>: carico a snervamento (f<sub>y</sub>) e rottura (f<sub>u</sub>) della barra  A<sub>s</sub>: area della sezione trasversale della barra  σ<sub>3,A</sub><sup>DYWI</sup>, σ<sub>3,B</sub><sup>DYWI</sup>: resistenza rispettivamente allo sfilamento e a rottura dell'intervento  σ<sub>3</sub><sup>DYWI</sup>: resistenza dell'intervento (minimo tra i due valori a sfilamento e rottura)  Δc<sup>DYWI</sup>, c'<sup>DYWI</sup>: incremento di coesione dovuto all'intervento e valore totale di coesione</p>														

Tab. 1 – Incremento di coesione equivalente al fronte

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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	107 di 285

Sezione di analisi	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C1Tipo2	61.9	0.85	11.28	1.55	B/C	C	C

Tab. 2 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C1 tipo 2.

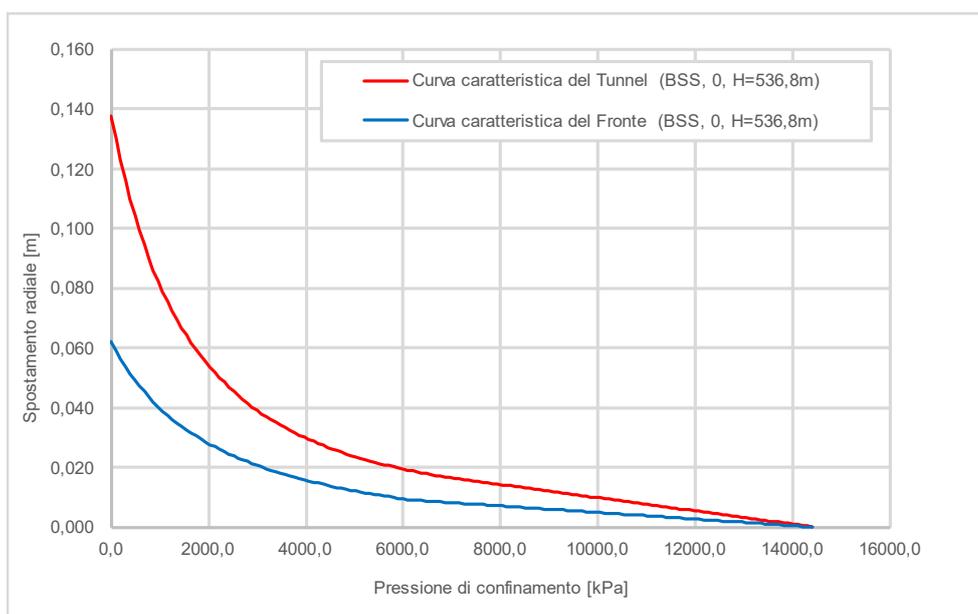


Figura 11-26 – Curve caratteristiche della Sezione C1Tipo2

Le analisi evidenziano che, con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, il raggio plastico risulta elevato e l'entità degli spostamenti attesi è decimetrica. Per questi motivi è previsto, per garantire la stabilità, oltre agli ancoraggi radiali ed al sostegno al contorno ed al fronte, un extra-scavo pari a 15 cm ed uno strato di spritz-beton ad ogni sfondo pari a 10 cm.

### 11.7.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Vista l'analogia della sezione con la C1 tipo 2 presente in Scaleres, ed essendo quest'ultima stata verificata con parametri geomeccanici peggiori, possono ritenersi soddisfatte le verifiche di interazione opera-terreno sulla sezione in esame.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	108 di 285

## 11.8 SEZIONE C2\_SCENARIO 1 (NO FAGLIA)

### 11.8.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
C2	6.3	6.0	545.6	14.7	27	1836	31.5	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-28 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C2.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C2 – Settore 1	6.5	0.10	7.66	1.22	A	A	B
C2 – Settore 2	6.2	0.10	7.38	1.22	A	A	B

Tabella 11-29– Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C2.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 109 di 285

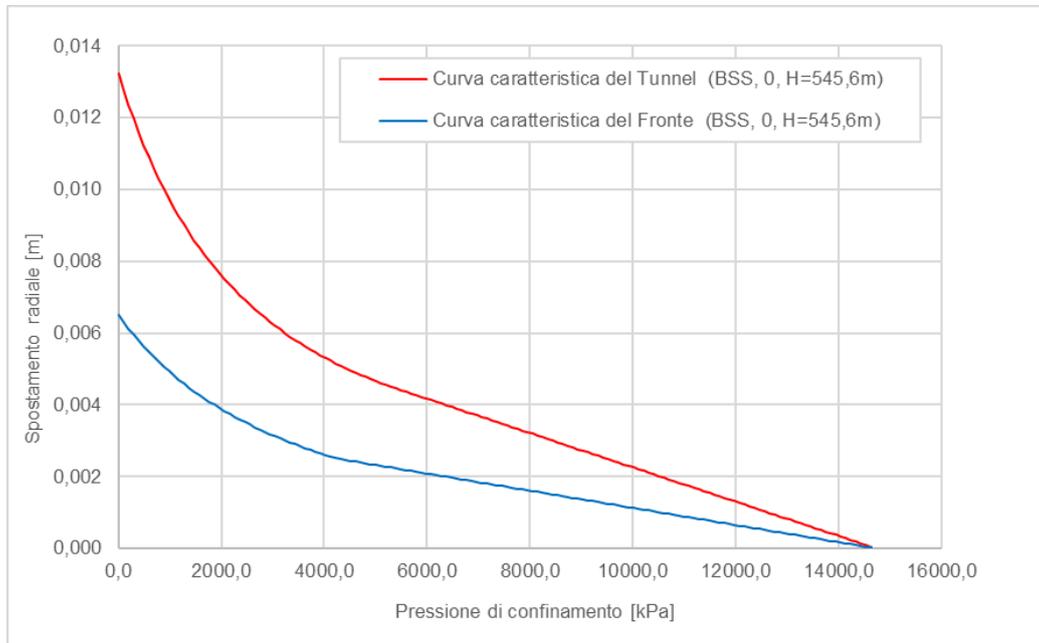


Figura 11-27 – Curve caratteristiche settore 1 – Sezione C2 (Scenario1)

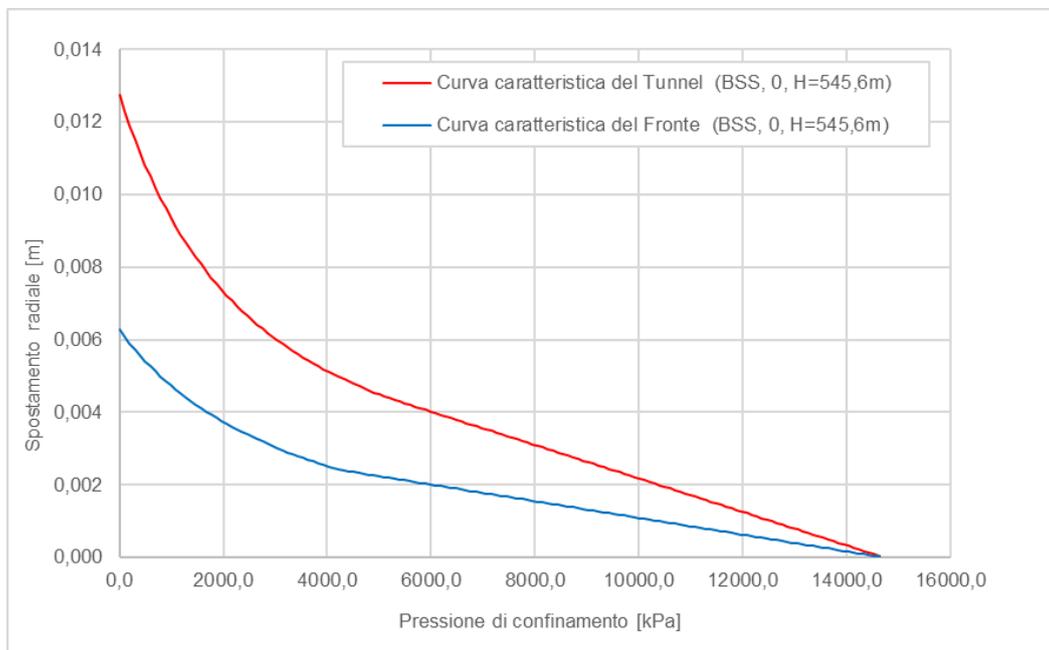


Figura 11-28 – Curve caratteristiche settore 1 – Sezione C2 (Scenario1)

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	110 di 285

### 11.8.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione C2. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone C2	BSS	545	Terreno naturale	27	2294	37.4	17056
	BSS (D=0.1)	545	Terreno naturale	27	2112	36.8	15388
	BSS (D=0.2)	545	Terreno naturale	27	2127	36.3	13792

Tabella 11-30: Sezione C2– Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

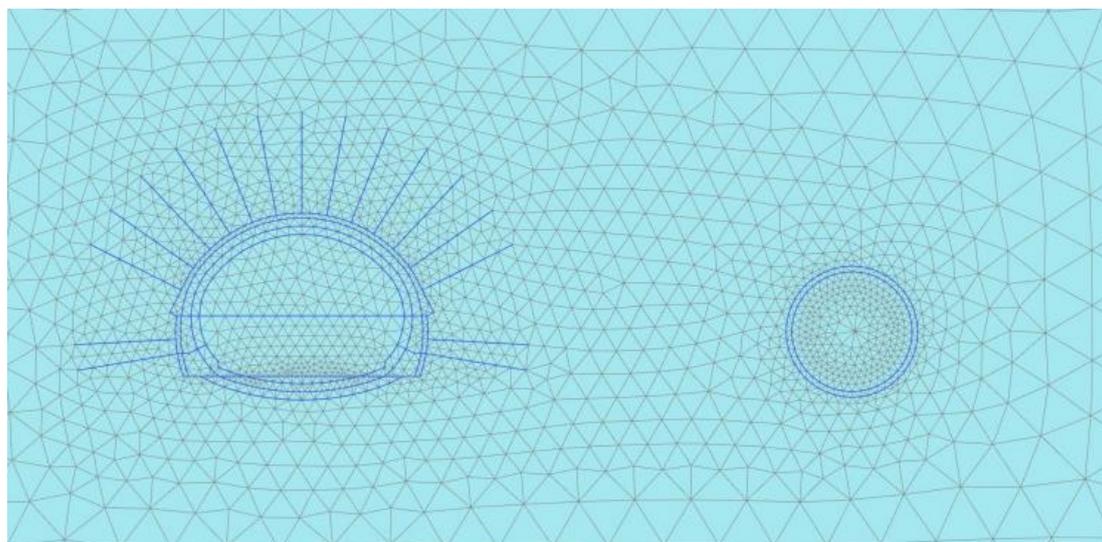


Figura 11-29– Particolare mesh– Sezione C2

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.10.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 111 di 285

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76
Murette	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76
Calotta e piedritti	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76

Tabella 11-31 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della sezione C2

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di deconfinamento applicati al modello.

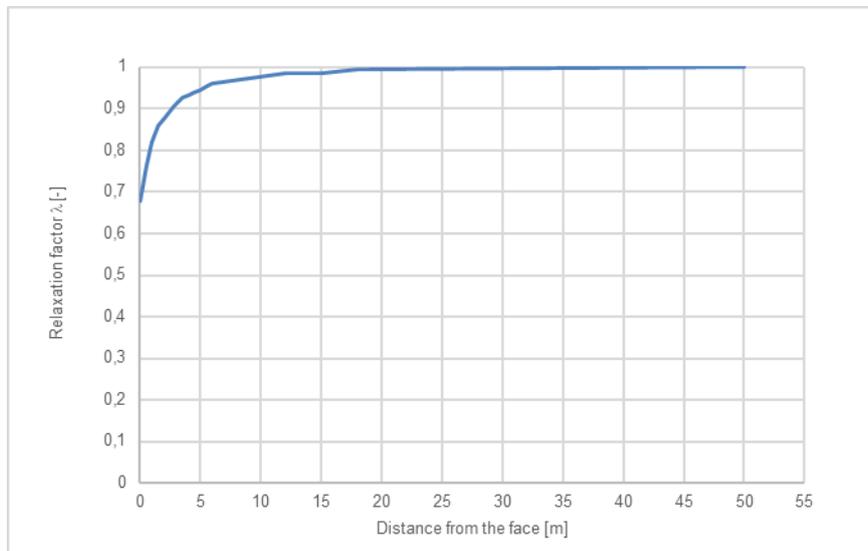


Figura 11-30– Curva di rilascio *calotta* – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	112 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

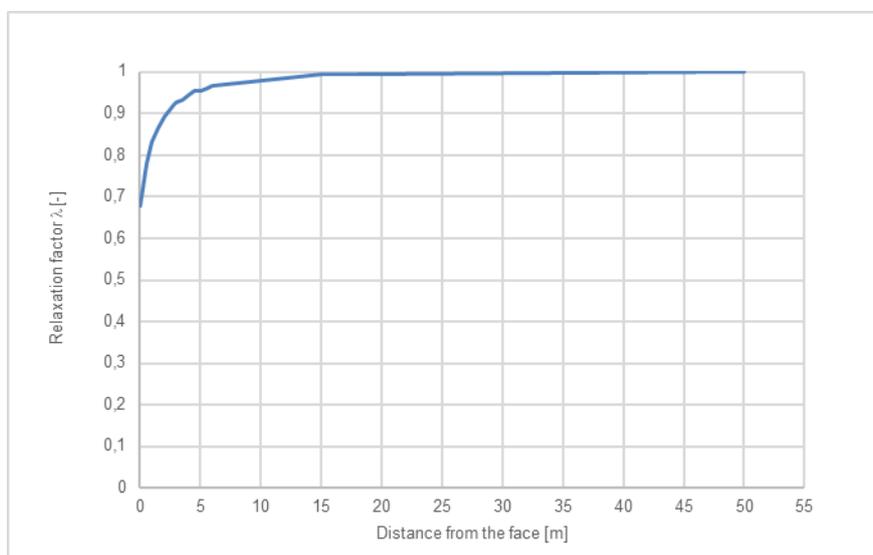


Figura 11-31– Curva di rilascio scavo **strozzo**– Sezione C2

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

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Scavo calotta del camerone-apertura del fronte (x=0m)	67.78
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	81.88
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento (x=3m)	91.27
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100
8.	Scavo dello strozzo (apertura del fronte) (x=0m) e installazione rivestimento provvisorio in calotta mezza maturazione	67.78
9.	Scavo dello strozzo per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	83.22
10.	Inserimento dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento prima fase, scavo strozzo per 6 m di avanzamento	96.64
11	Scavo dello strozzo per 15 m di avanzamento e maturazione completa provvisorio (di calotta e strozzo) (x=15m)	99.32
12.	Completamento dello scavo dello strozzo per tutto il camerone e scavo dell'arco rovescio (rilascio 100%)	100.00

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	113 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
13	Posa in opera dell'arco rovescio e delle murette	100.00
14.	Degradazione dell'ammasso roccioso (D=0.1)	100.00
15	Posa in opera della calotta	100.00
16.	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine) e degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.2)	100.0

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3 m dal fronte.*

*Tabella 11-32– Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la C2.*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 11-29, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 11988 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (545m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 114 di 285

### 11.8.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

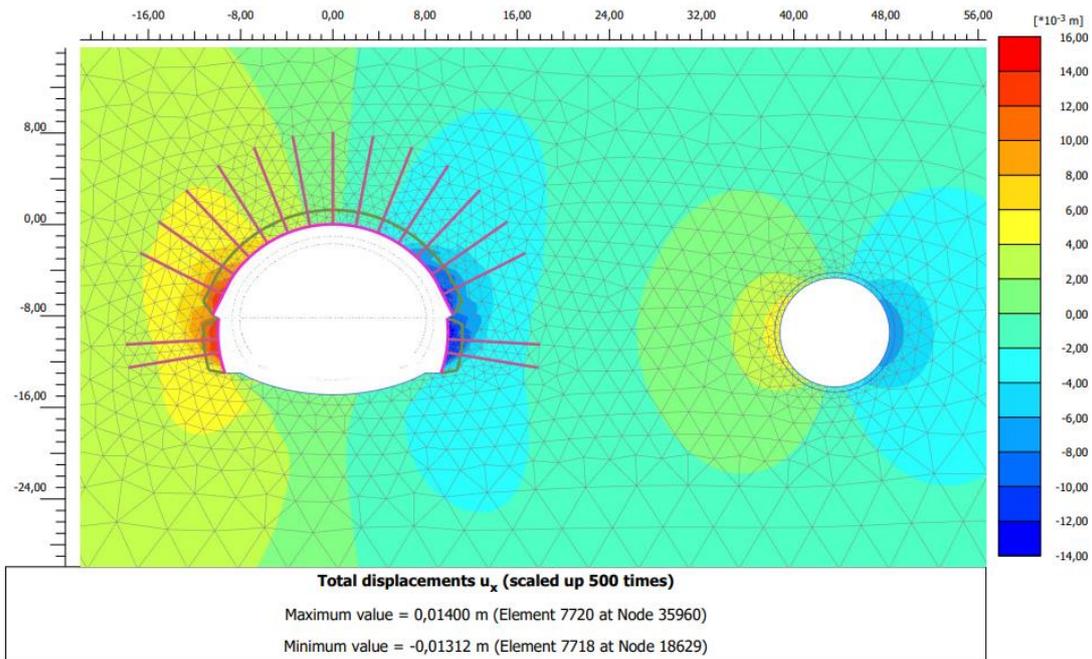


Figura 11-32: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo C2. (fase 12)

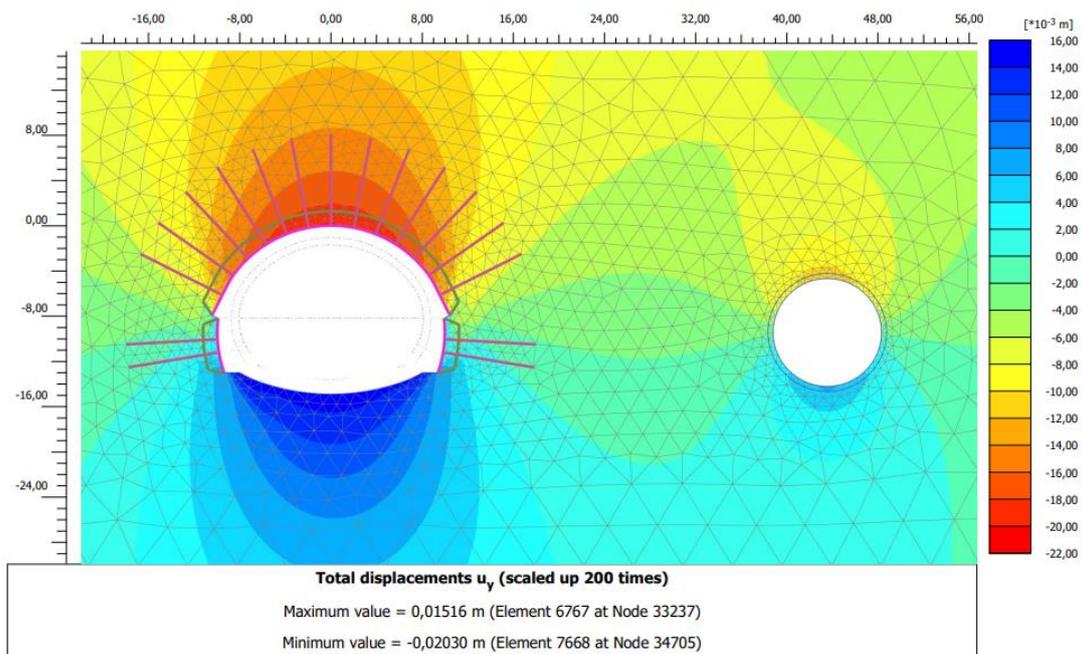


Figura 11-33: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo C2. (fase 12)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 115 di 285

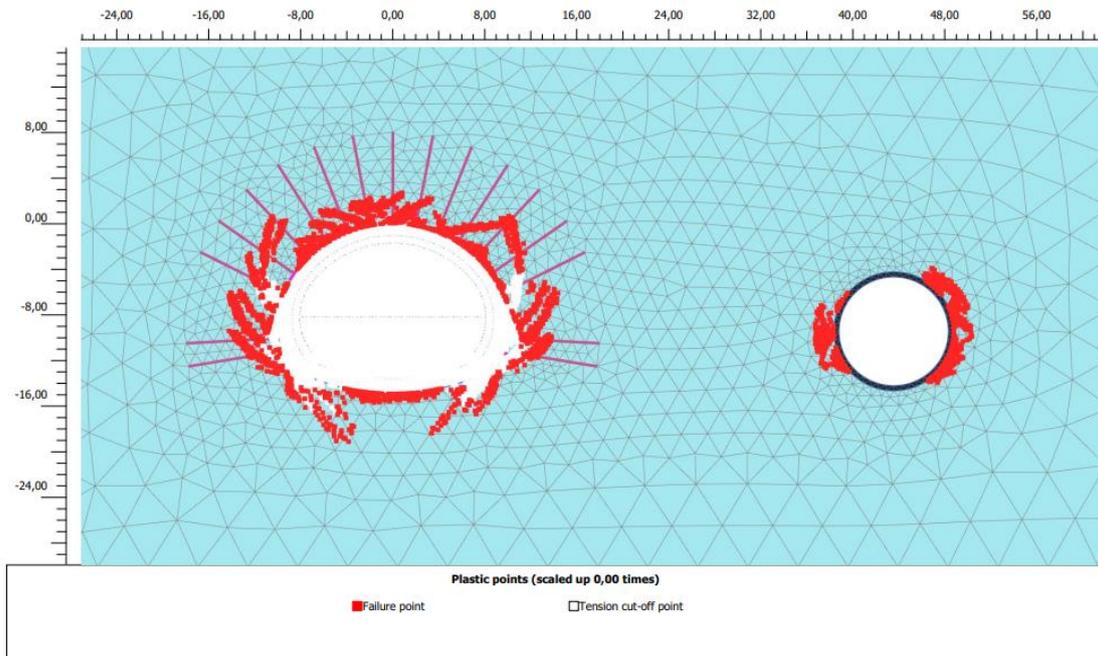


Figura 11-34: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo C2. (fase 12)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

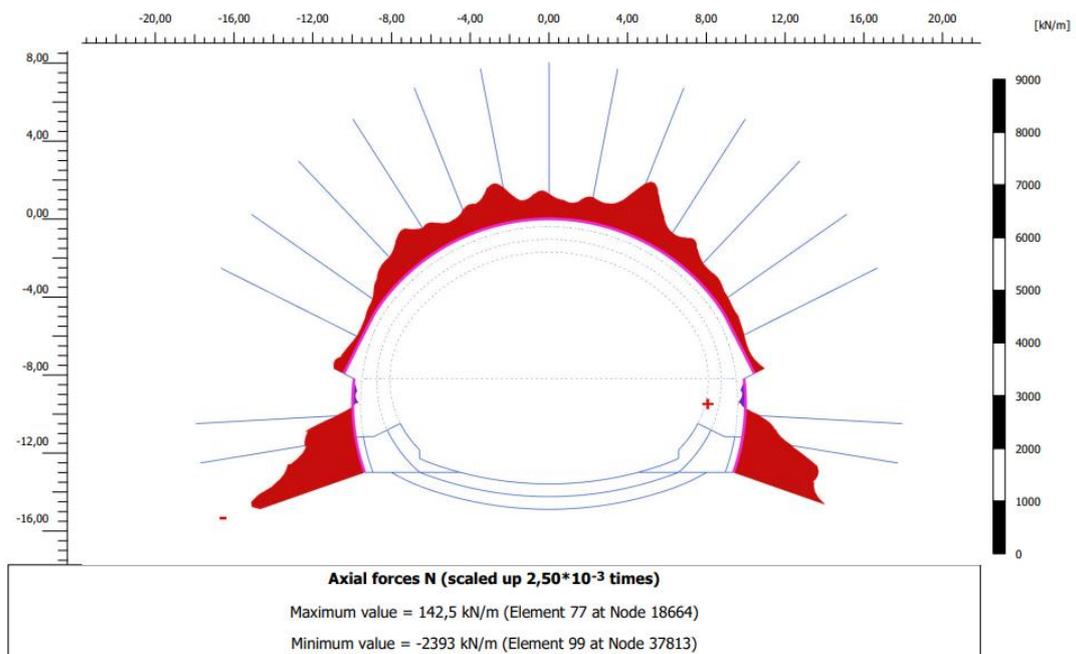


Figura 11-35 – Sezione Tipo C2. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 116 di 285

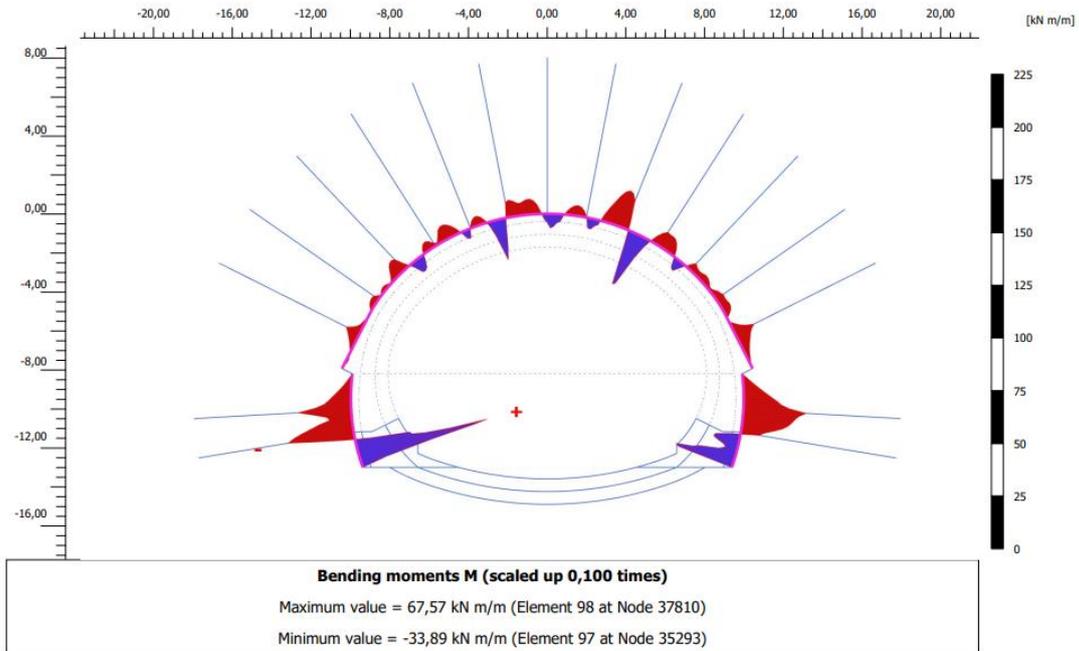


Figura 11-36 – Sezione Tipo C2. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 14)

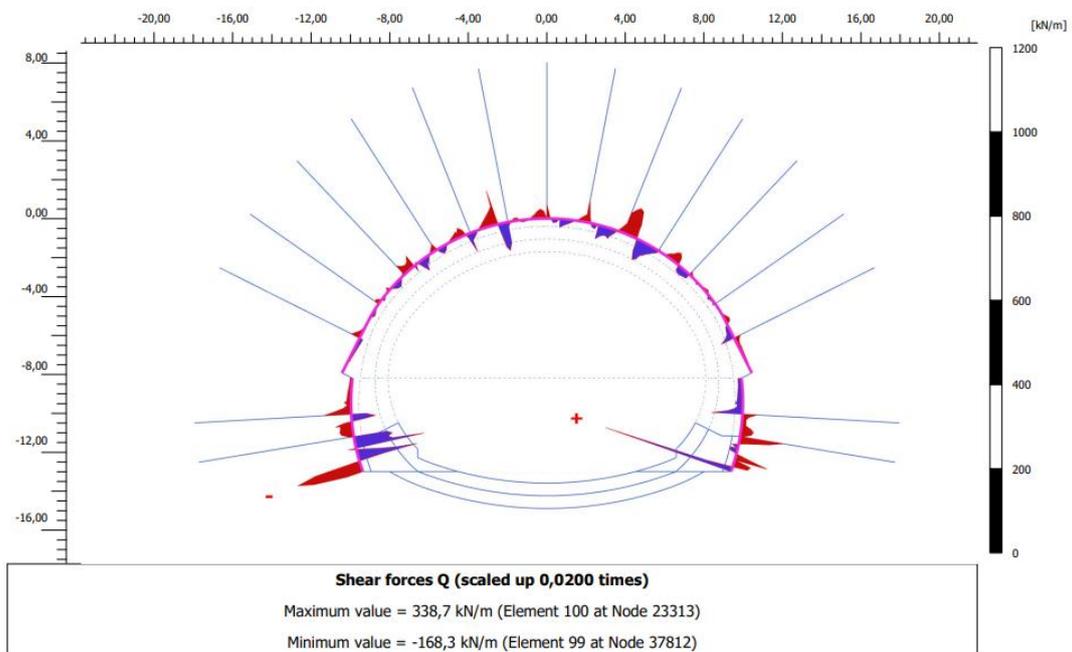


Figura 11-37 Sezione Tipo C2. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGGIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 117 di 285

**Rivestimento definitivo:**

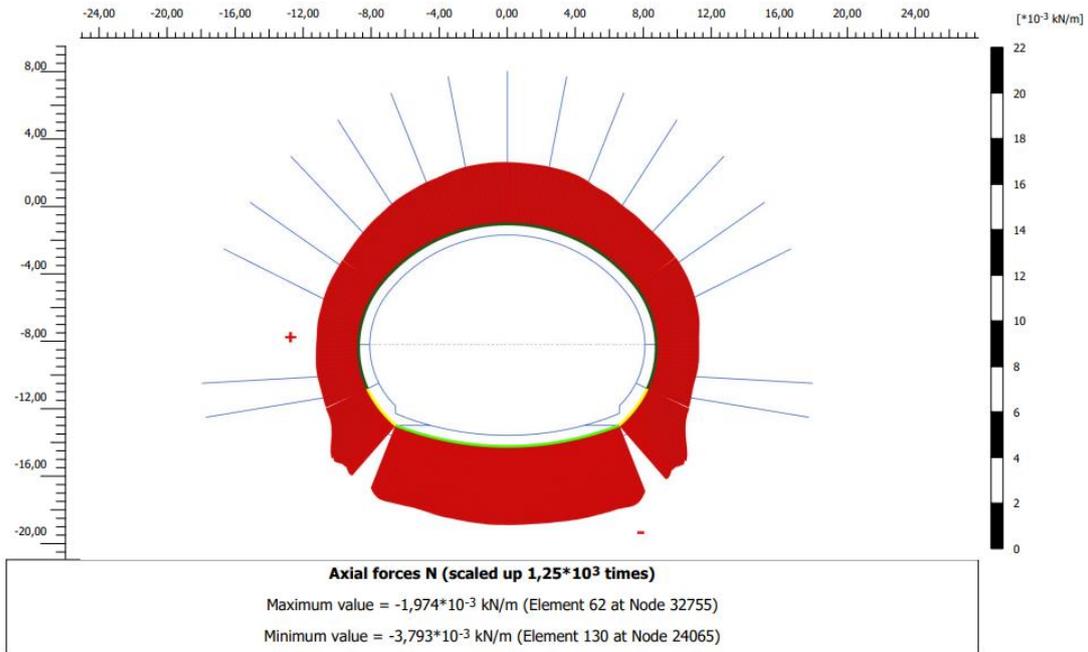


Figura 11-38 – Sezione Tipo C2. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 16)

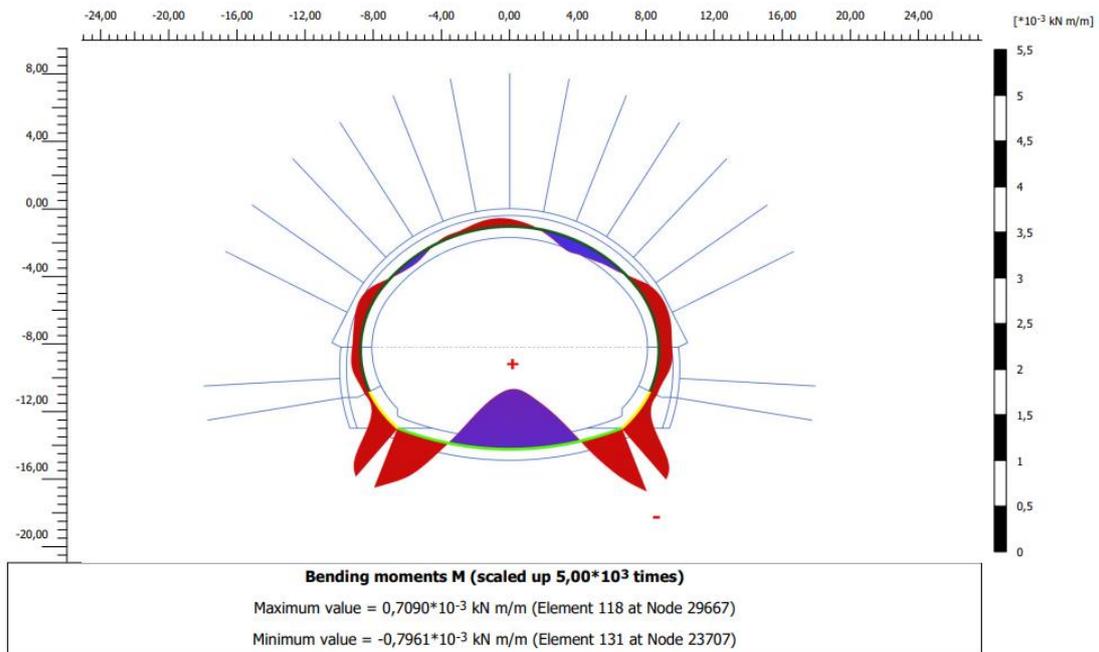


Figura 11-39 – Sezione Tipo C2. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 16)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 118 di 285

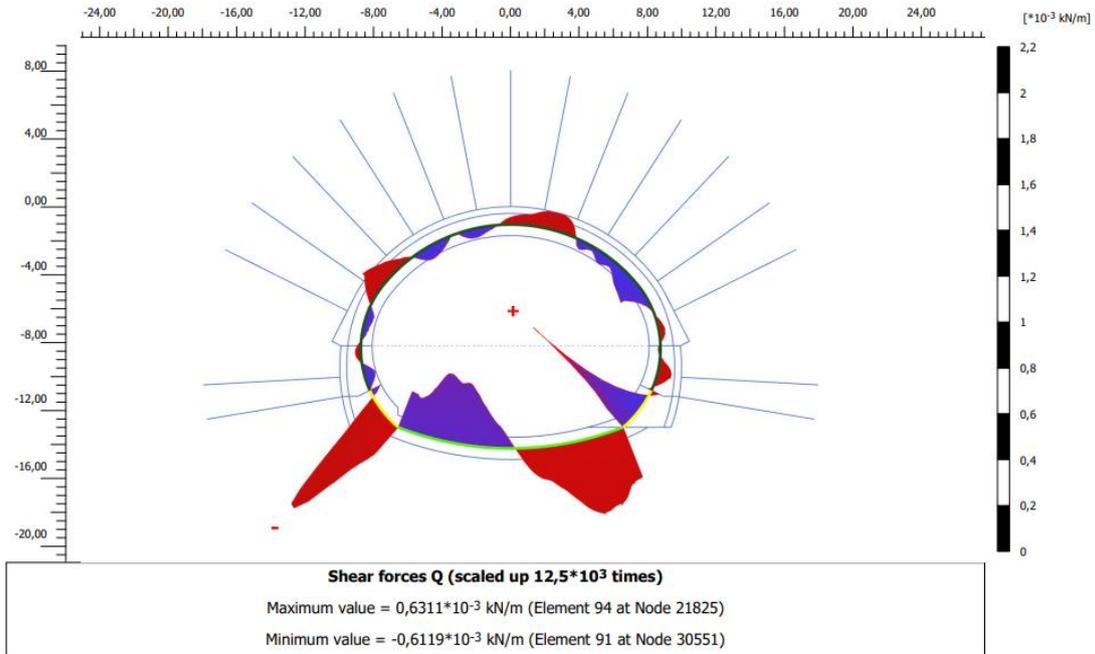


Figura 11-40 – Sezione Tipo C2. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 16)

**Bulloni radiali:**

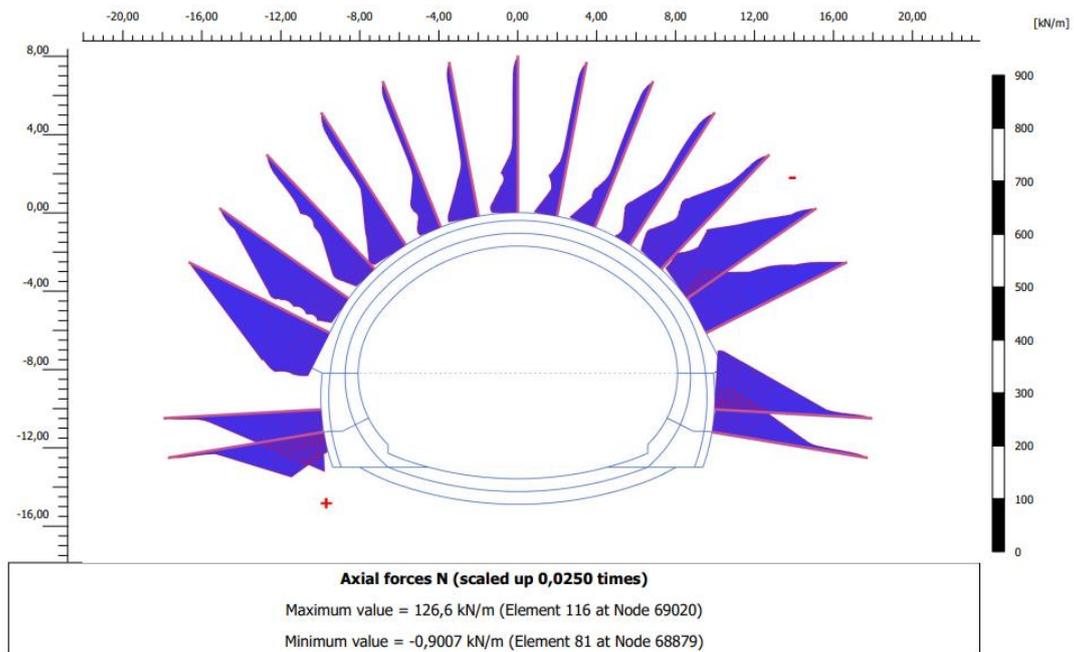


Figura 11-41– Sezione Tipo C2. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C
						FOGLIO.
						119 di 285

### 11.8.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.8.3.1. 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 (fase 14).

Il rivestimento di prima fase della sezione C2 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB200 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

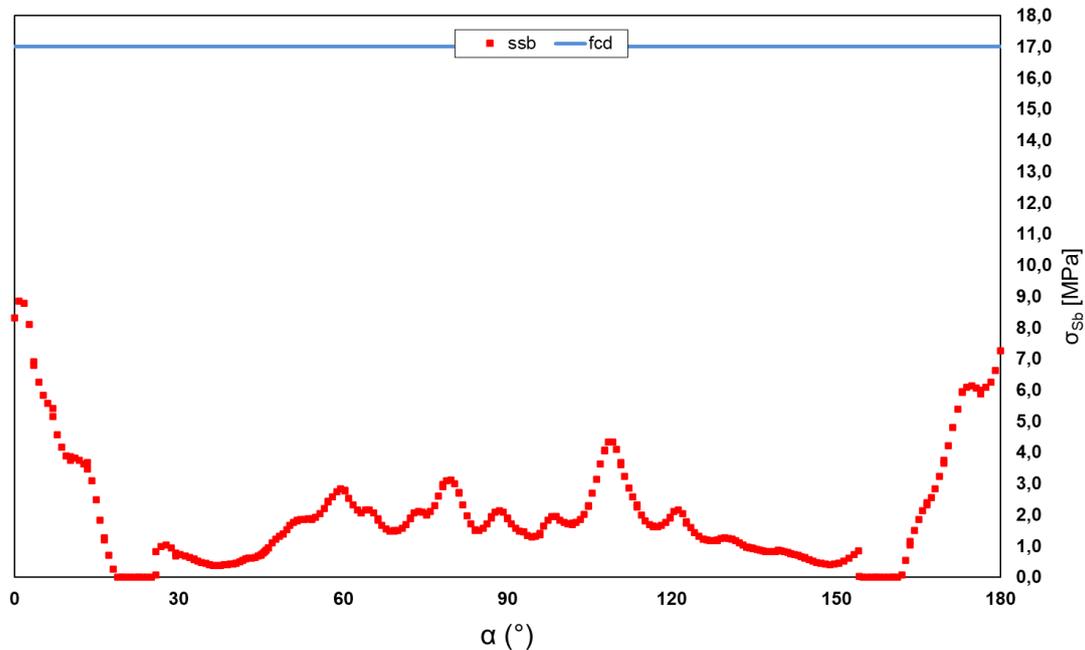


Figura 11-42: Verifica SLU per lo spritz-beton -- Sezione C2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. FOGLIO. C 120 di 285

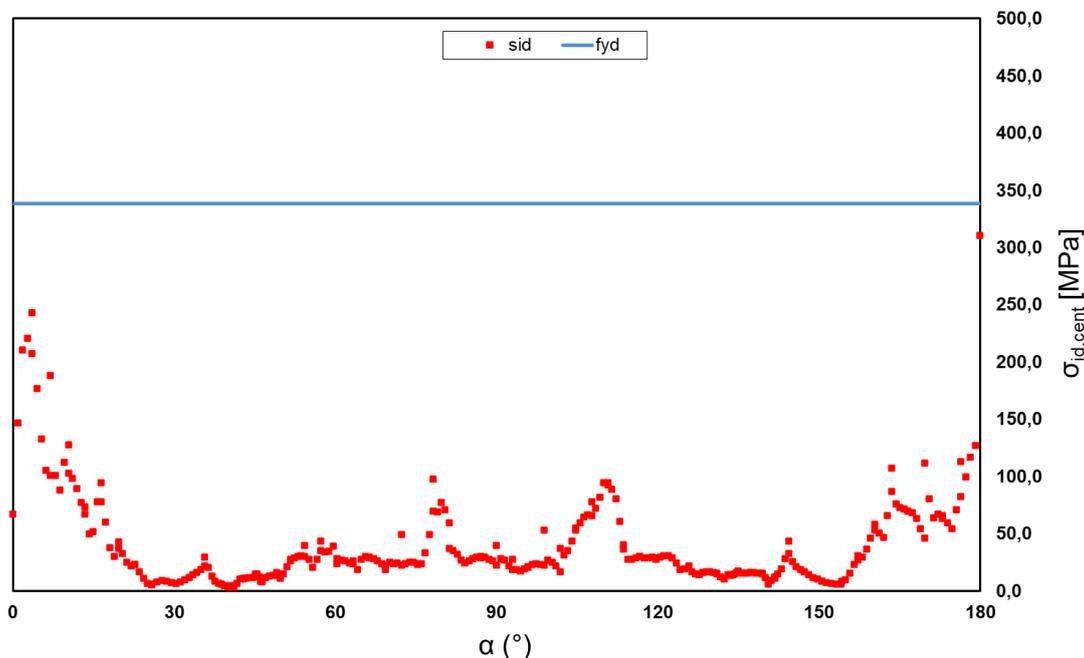


Figura 11-43: Verifica SLU per le centine – – Sezione C2

### 11.8.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 16 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 121 di 285

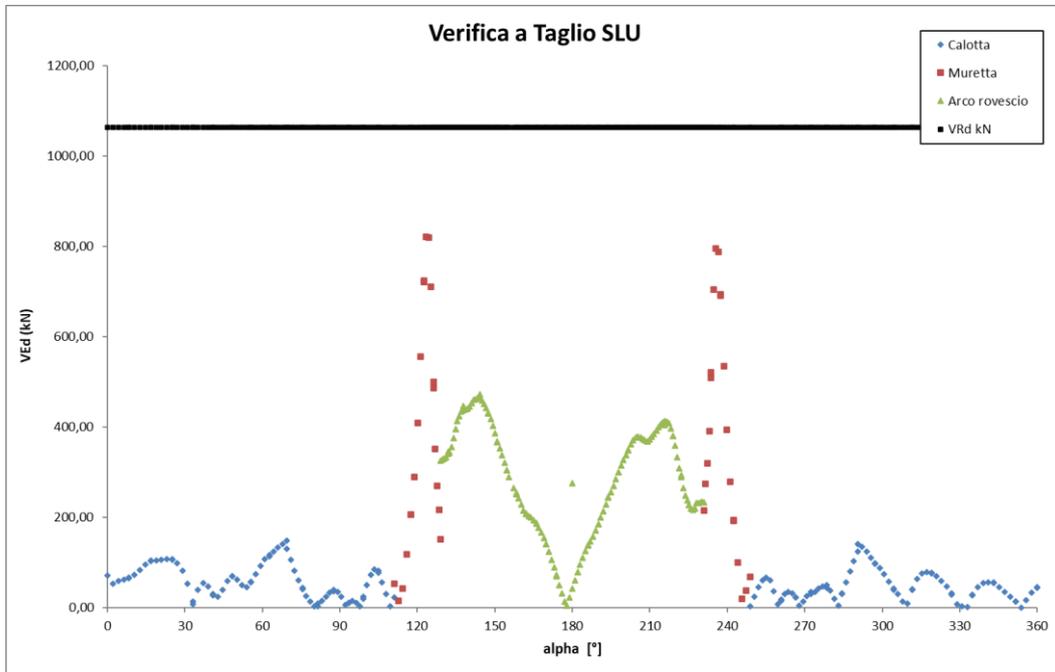


Figura 11-44 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione C2

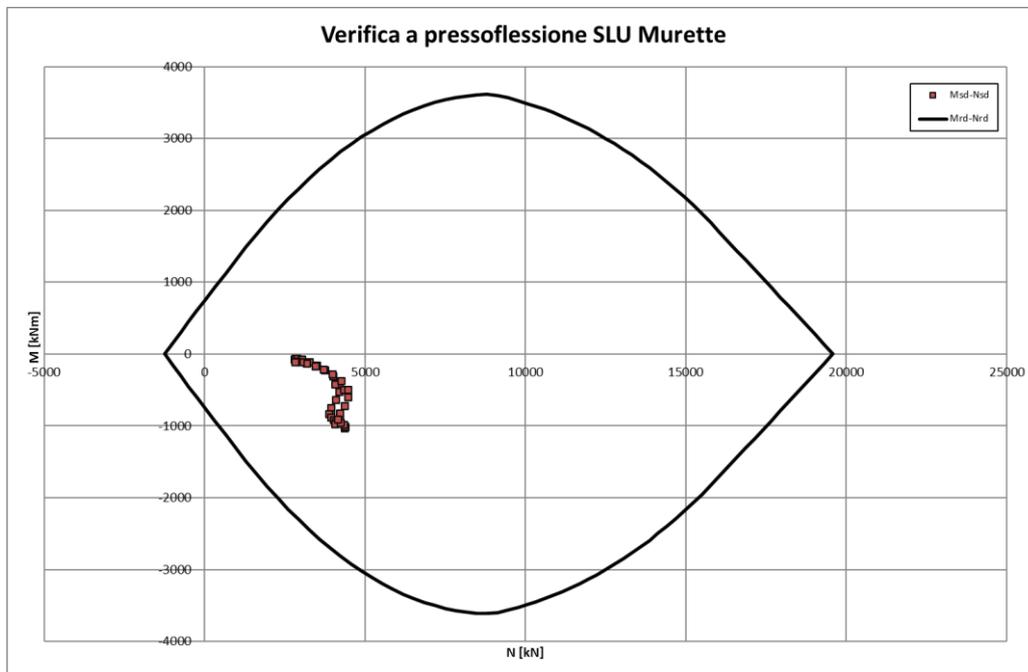


Figura 11-45 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 122 di 285

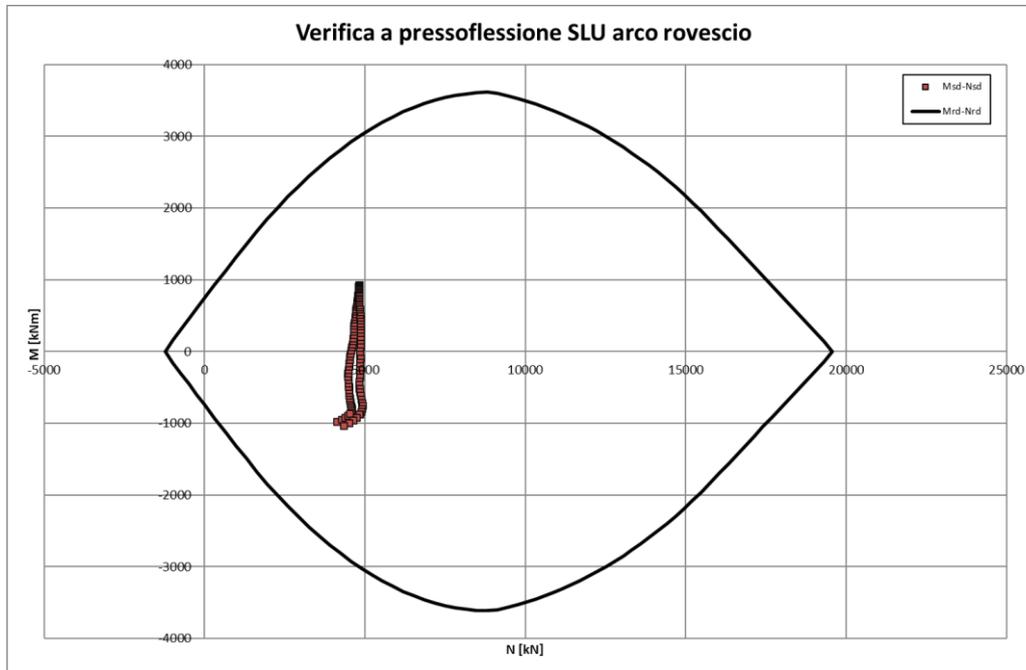


Figura 11-46 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione C2

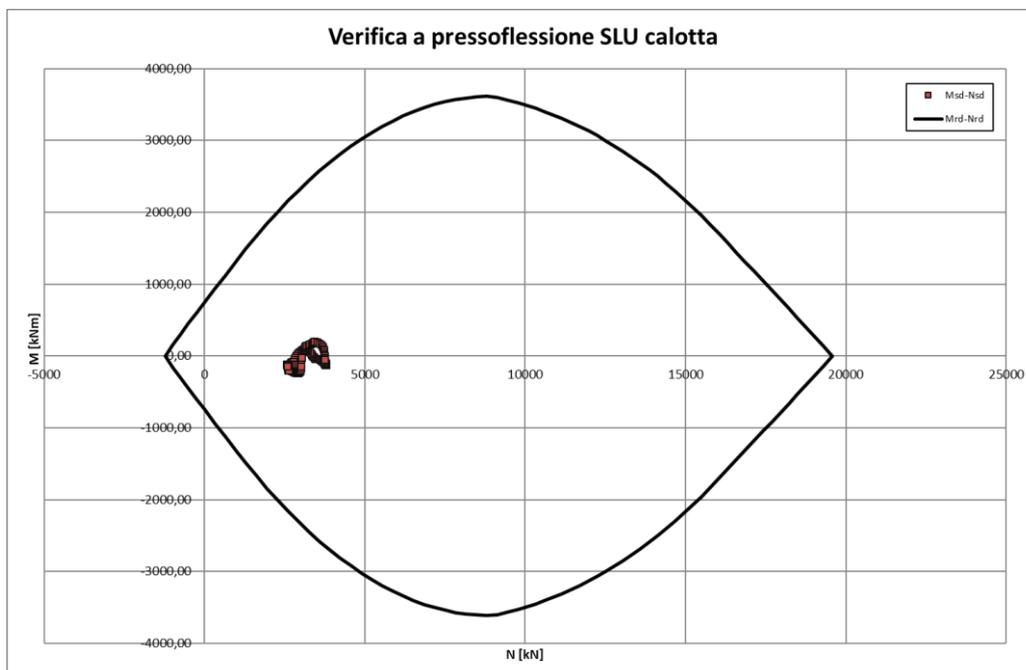


Figura 11-47 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 123 di 285

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  $\alpha$ .

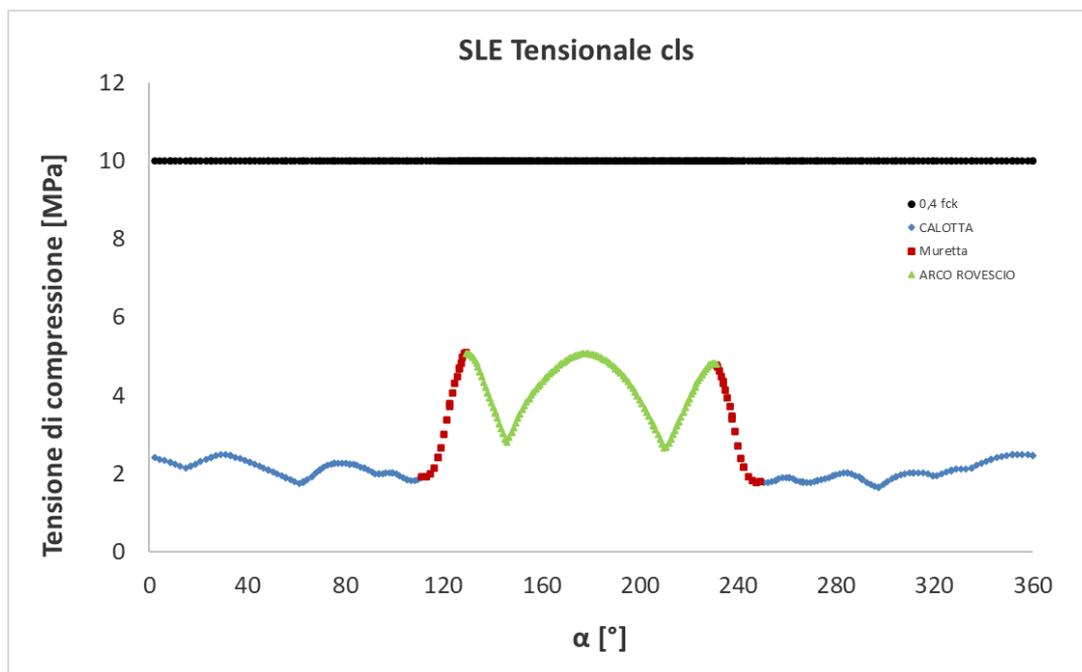


Figura 11-48 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione C2

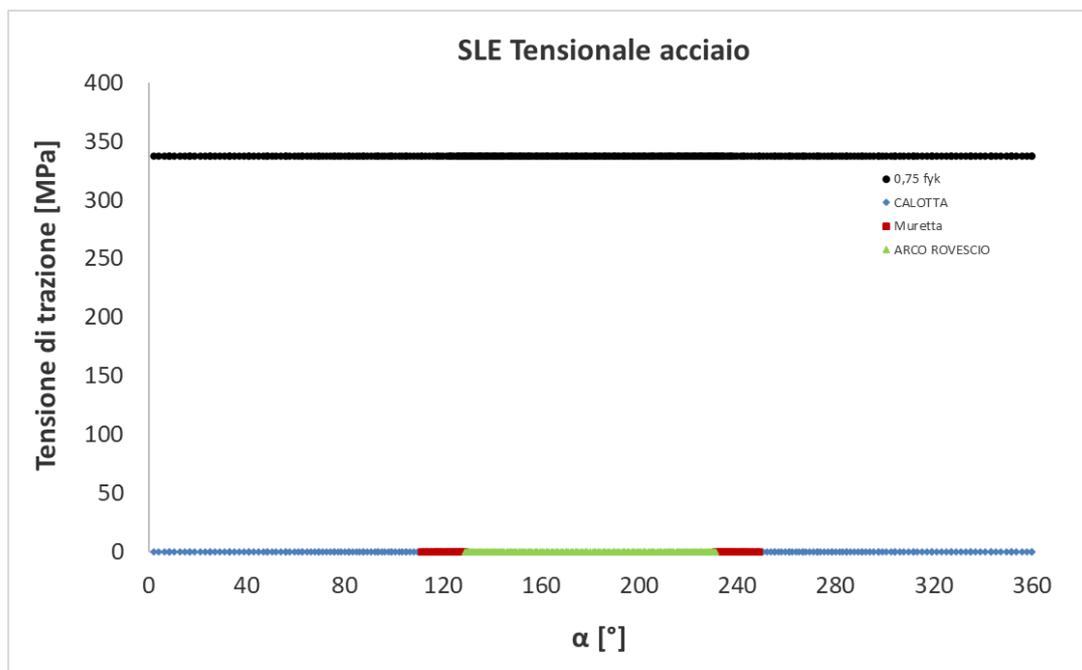


Figura 11-49 – Verifica tensioni acciaio – Sezione C2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	124 di 285

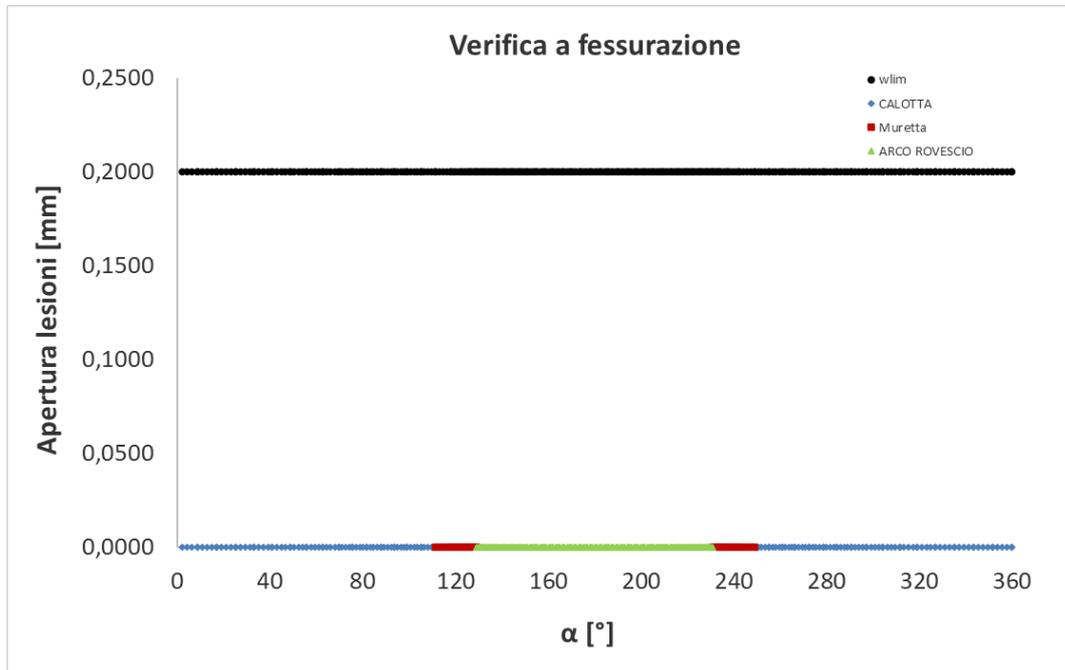


Figura 11-50 – Verifica a fessurazione –Sezione C2

### 11.8.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione C2 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
16+17 barre $\Phi 24$	51	8	1	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 126.6 * 1.3 = 164.58 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 8 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 280.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d * 3.$$

Con **FS=1.70**

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 125 di 285	

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

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=1.08**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	126 di 285	

## 11.9 SEZIONE C2\_SCENARIO 2 (FAGLIA)

### 11.9.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
C2	6.3	6.0	545.6	14.7	27	1031	25.2	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-33 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C2.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C2 – Settore 1	48	0.76	9.37	1.49	B/C	C	B
C2 – Settore 2	54	0.89	9.50	1.57	B/C	C	C

Tabella 11-34– Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C2.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 127 di 285

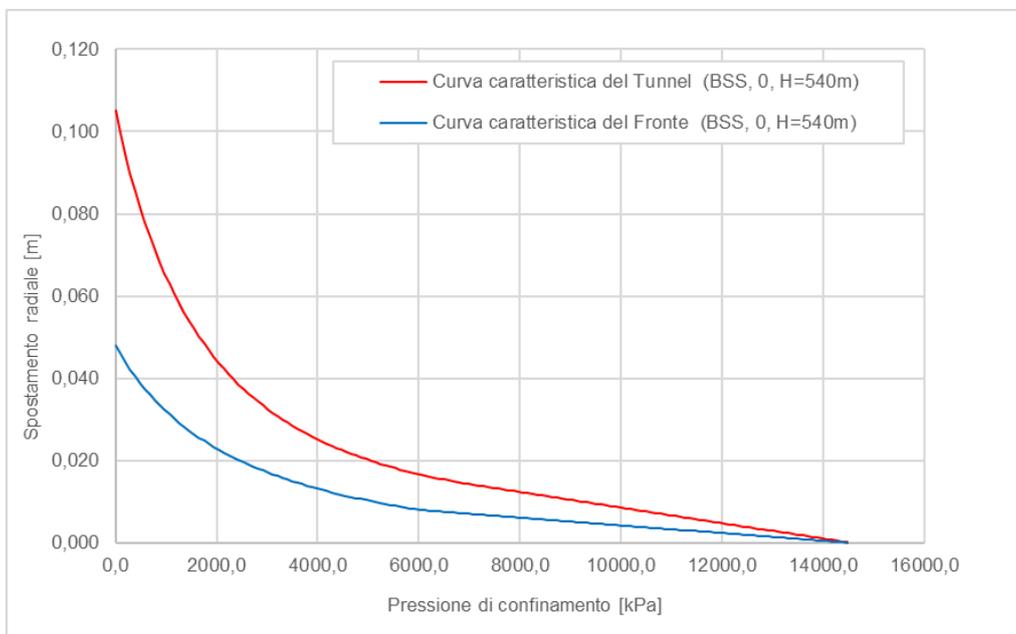


Figura 11-51 – Curve caratteristiche settore 1 – Sezione C2 (Scenario2)

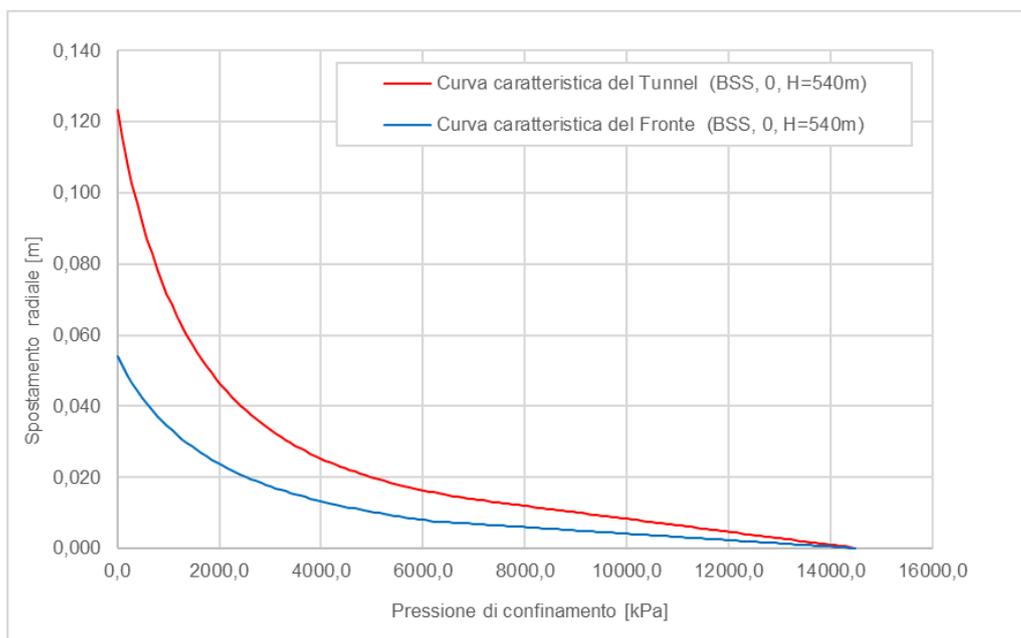


Figura 11-52 – Curve caratteristiche settore 1 – Sezione C2 (Scenario2)

Le analisi evidenziano che, con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, il raggio plastico risulta elevato e l'entità degli spostamenti attesi è decimetrica. Per questi motivi è previsto, per garantire la stabilità, oltre agli ancoraggi radiali ed al sostegno al contorno ed al fronte, un extra-scavo pari a 10 cm ed uno strato di spritz-beton ad ogni sfondo pari a 5 cm.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	128 di 285

### 11.9.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione C2. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone C2	BSS	540	Terreno naturale	27	1289	30.5	4311

Tabella 11-35: Sezione C2– Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

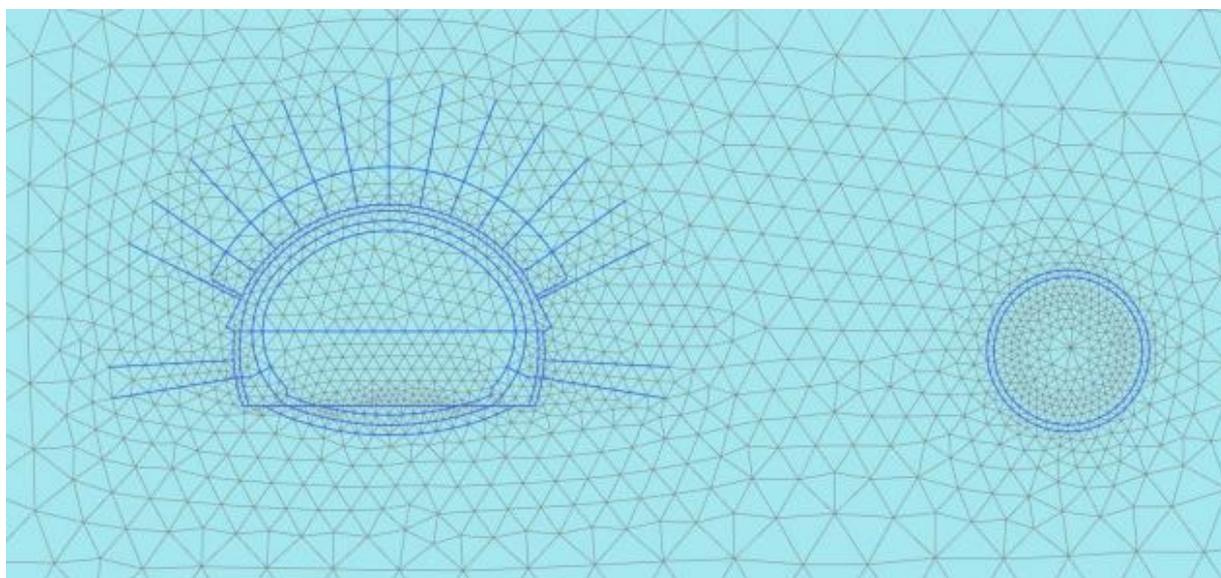


Figura 11-53– Particolare mesh– Sezione C2

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.10.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	129 di 285

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76
Murette	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76
Calotta e piedritti	C25/30	130	31476	0.2	40.92	5.76

Tabella 11-36 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della sezione C2

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di deconfinamento applicati al modello.

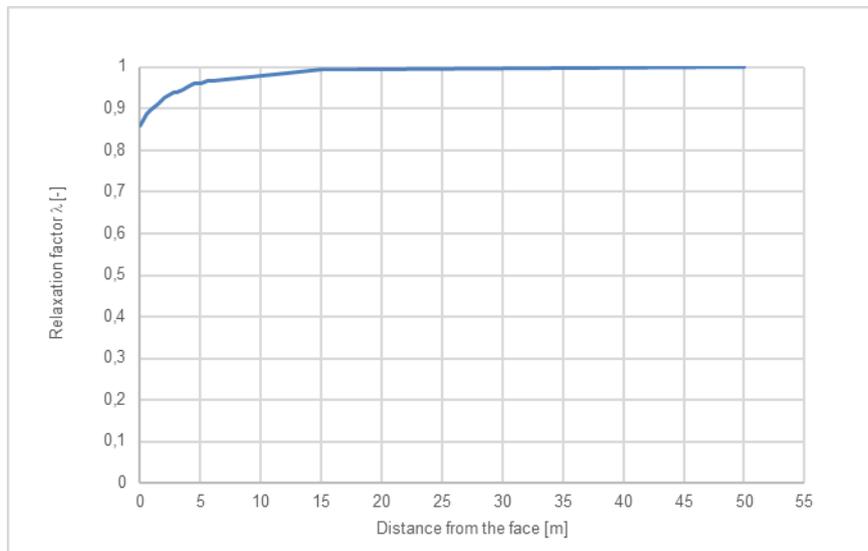


Figura 11-54– Curva di rilascio *calotta* – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	130 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

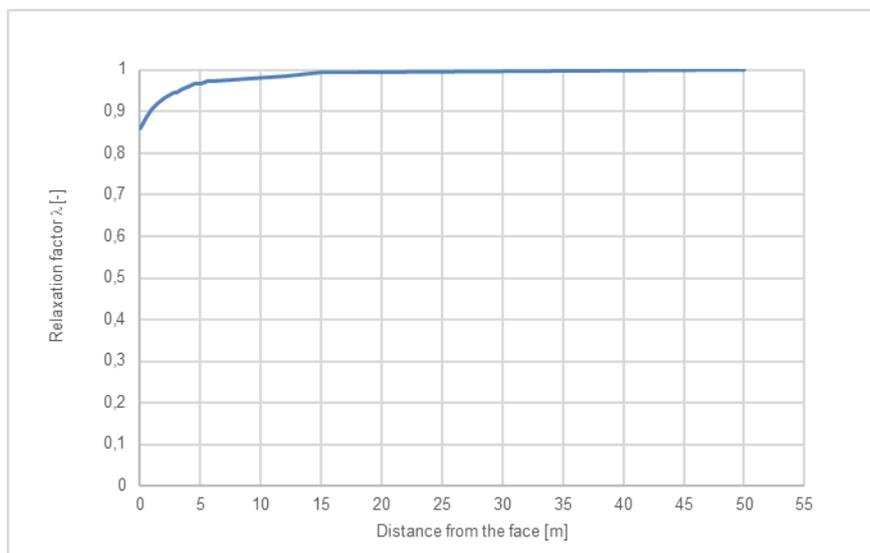


Figura 11-55– Curva di rilascio scavo *strozzo*– Sezione C2

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

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Scavo calotta del camerone-apertura del fronte (x=0m)	85.90
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	92.62
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento (x=3m)	96.64
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100
8.	Scavo dello strozzo (apertura del fronte) (x=0m) e installazione rivestimento provvisorio in calotta mezza maturazione	85.90
9.	Scavo dello strozzo per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	90.60
10.	Inserimento dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento prima fase, scavo strozzo per 6 m di avanzamento	97.31
11.	Scavo dello strozzo per 15 m di avanzamento e maturazione completa provvisorio (di calotta e strozzo) (x=15m)	99.32

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	131 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
12.	Completamento dello scavo dello strozzo per tutto il camerone e scavo dell'arco rovescio (rilascio 100%)	100
13.	Posa in opera dell'arco rovescio e delle murette	100
14.	Posa in opera della calotta	100
15.	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine)	100

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3 m dal fronte.*

*Tabella 11-37– Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la C2.*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 11-29, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 11853 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (540 m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGGIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 132 di 285

### 11.9.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

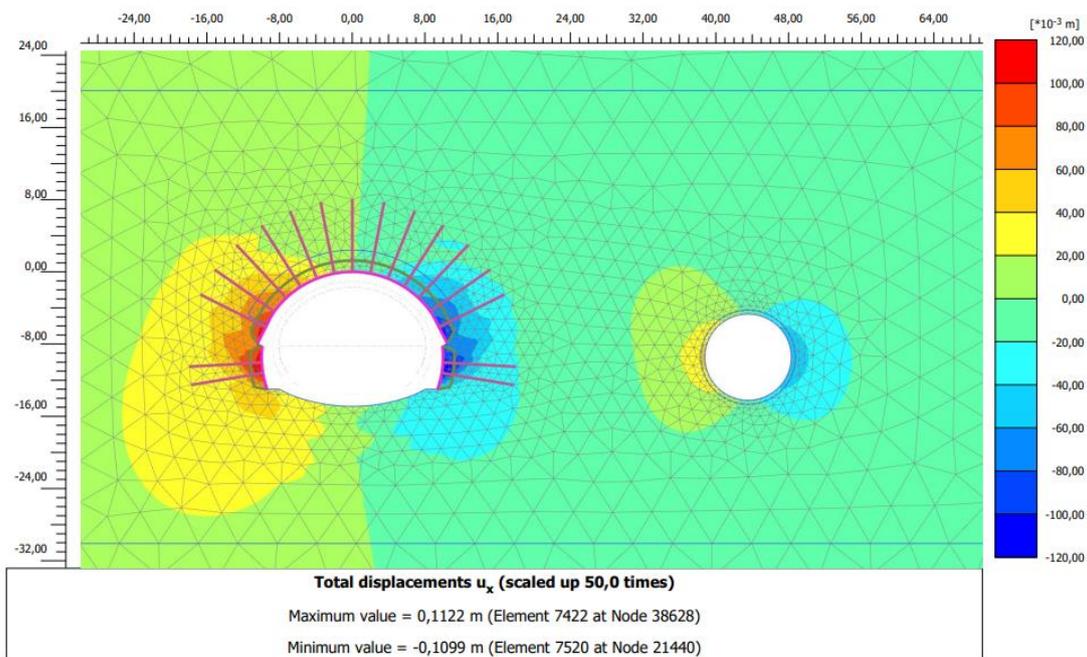


Figura 11-56: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo C2. (fase 12)

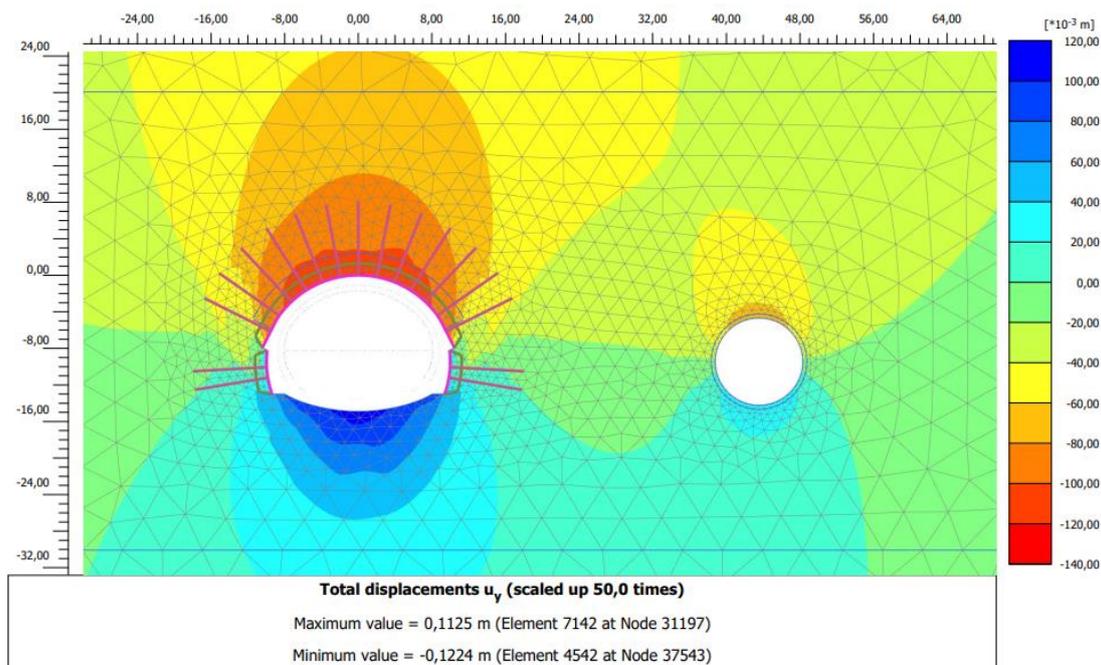


Figura 11-57: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo C2. (fase 12)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 133 di 285

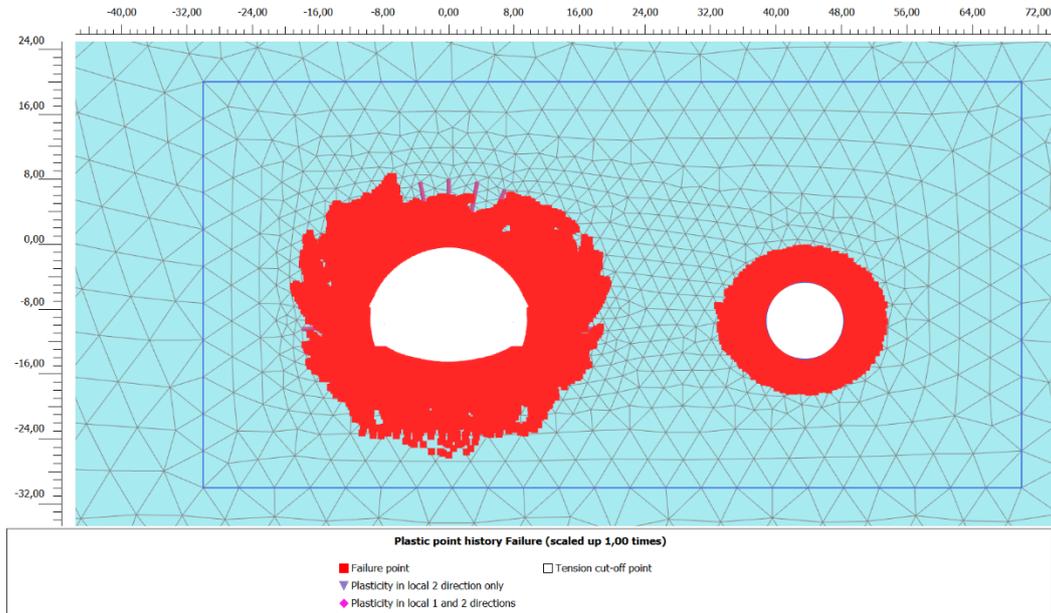


Figura 11-58: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo C2. (fase 12)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

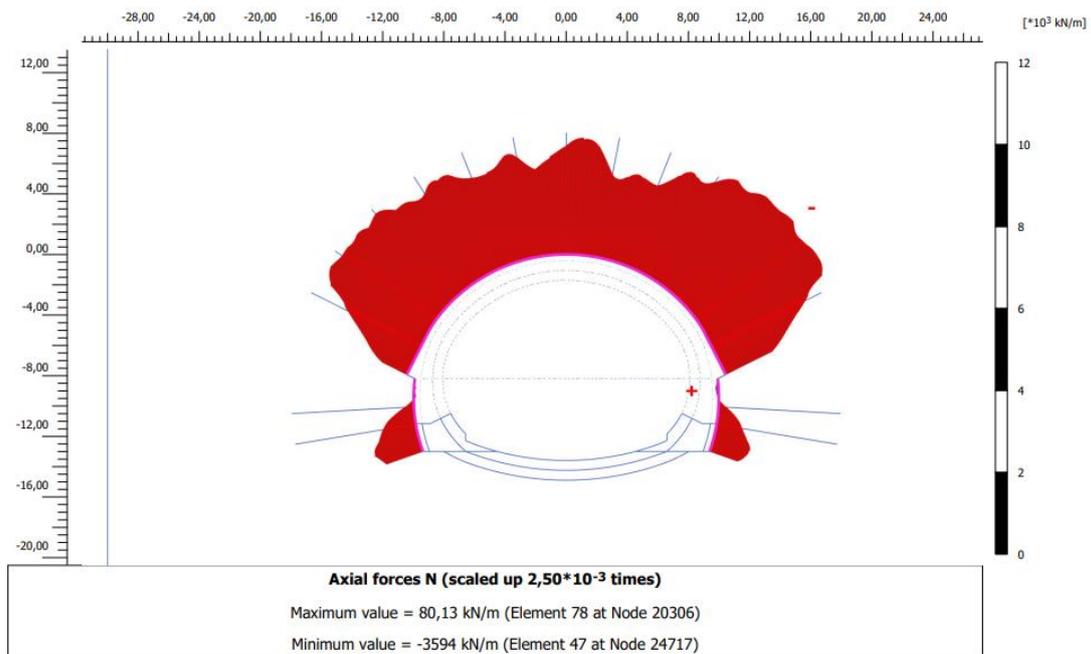


Figura 11-59 – Sezione Tipo C2. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 134 di 285

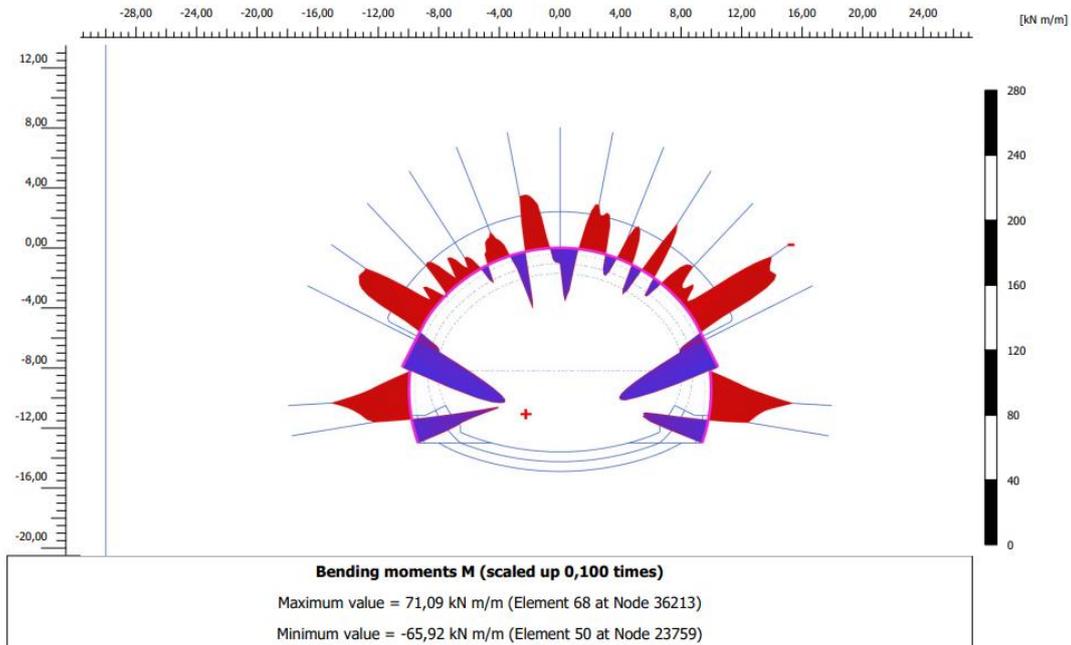


Figura 11-60 – Sezione Tipo C2. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 13)

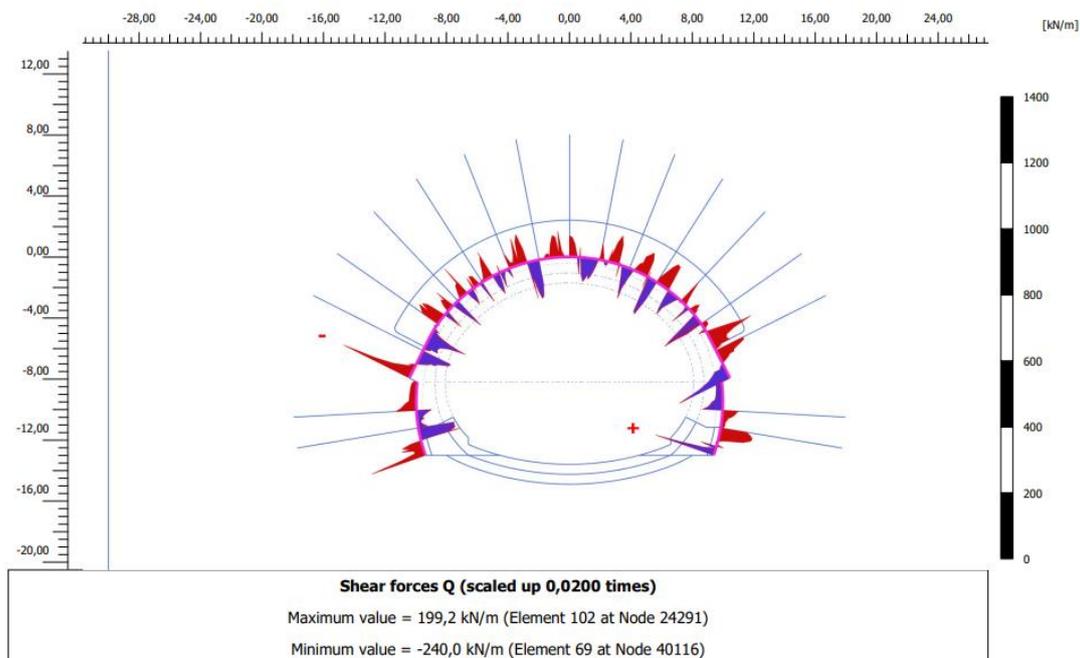


Figura 11-61 Sezione Tipo C2. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 135 di 285

**Rivestimento definitivo:**

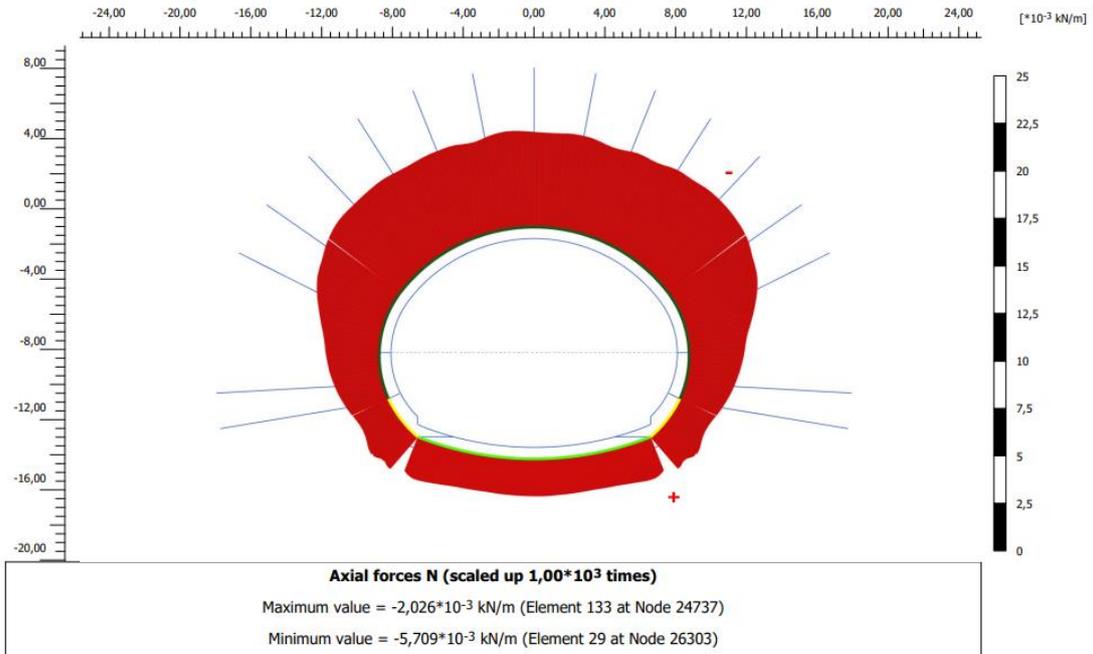


Figura 11-62 – Sezione Tipo C2. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 15)

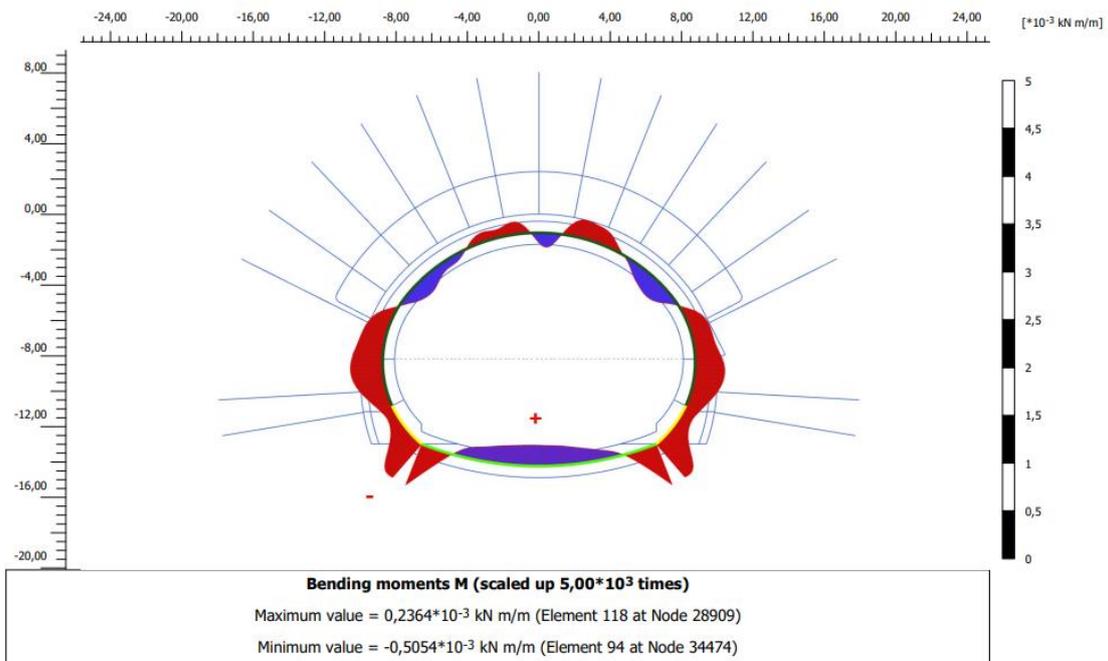


Figura 11-63 – Sezione Tipo C2. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 136 di 285

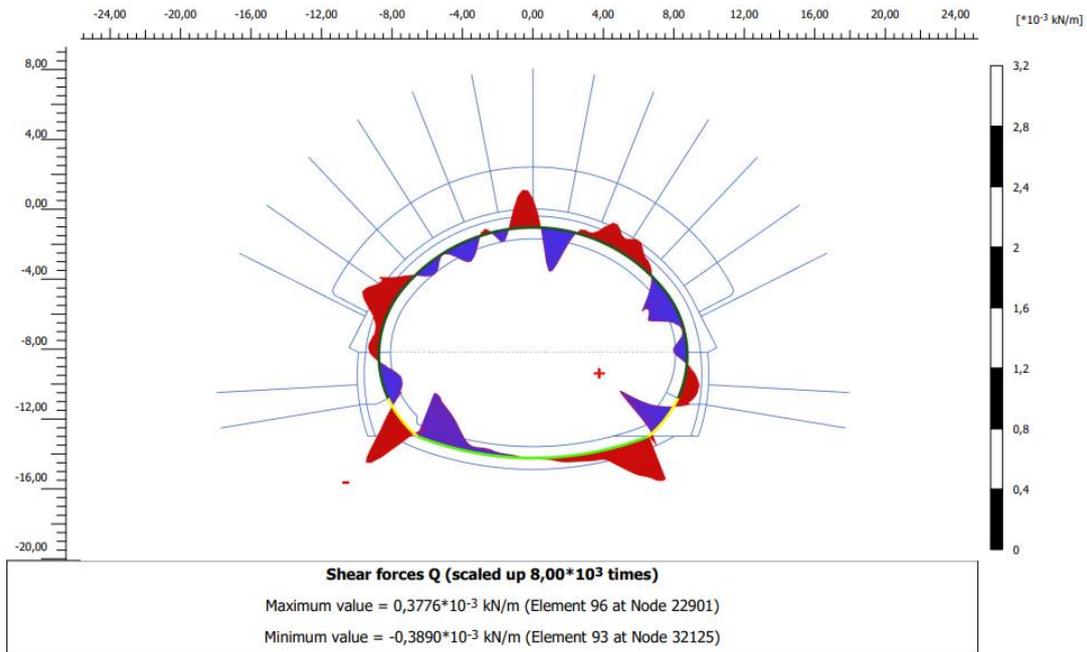


Figura 11-64 – Sezione Tipo C2. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 15)

**Bulloni radiali:**

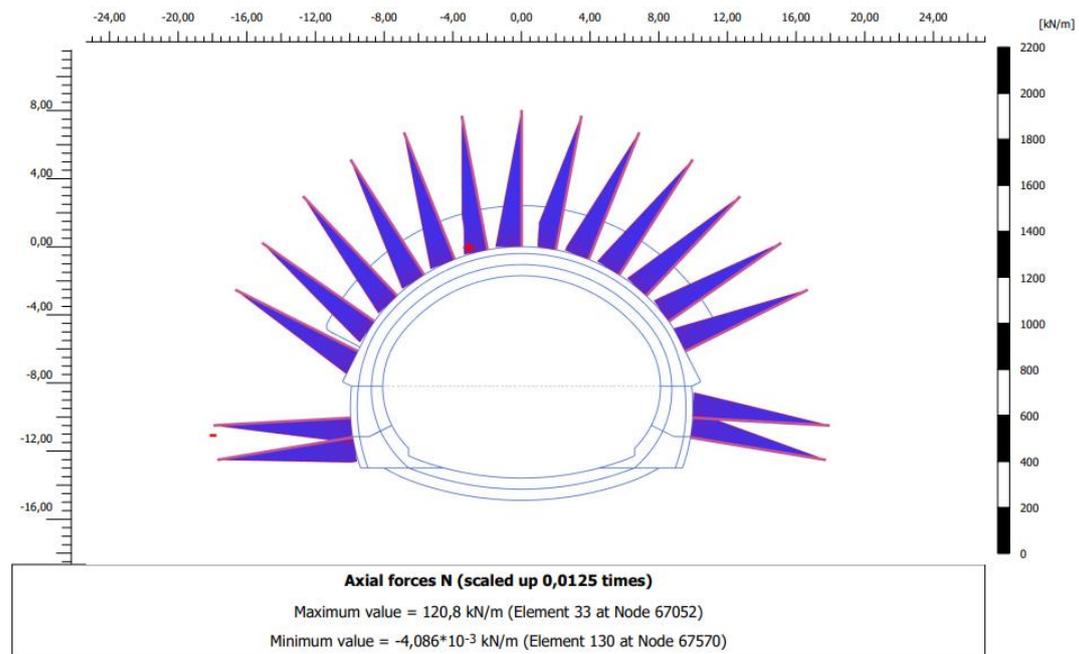


Figura 11-65– Sezione Tipo C2 .Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 14)

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	137 di 285

### 11.9.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.9.3.1. 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 (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione C2 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB200 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

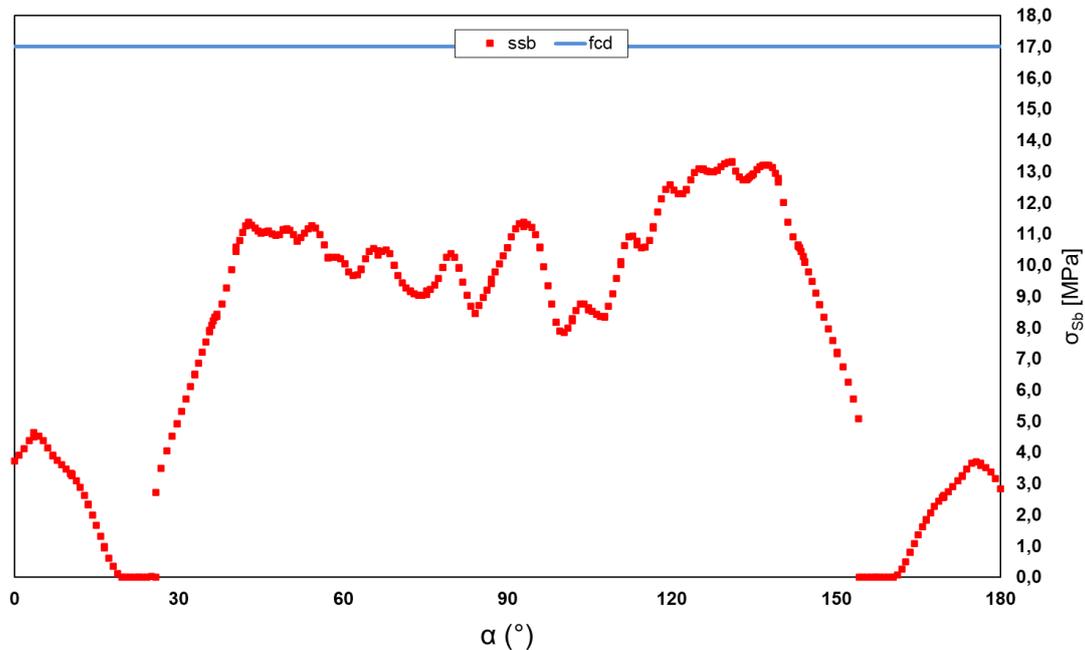


Figura 11-66: Verifica SLU per lo spritz-beton -- Sezione C2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 138 di 285

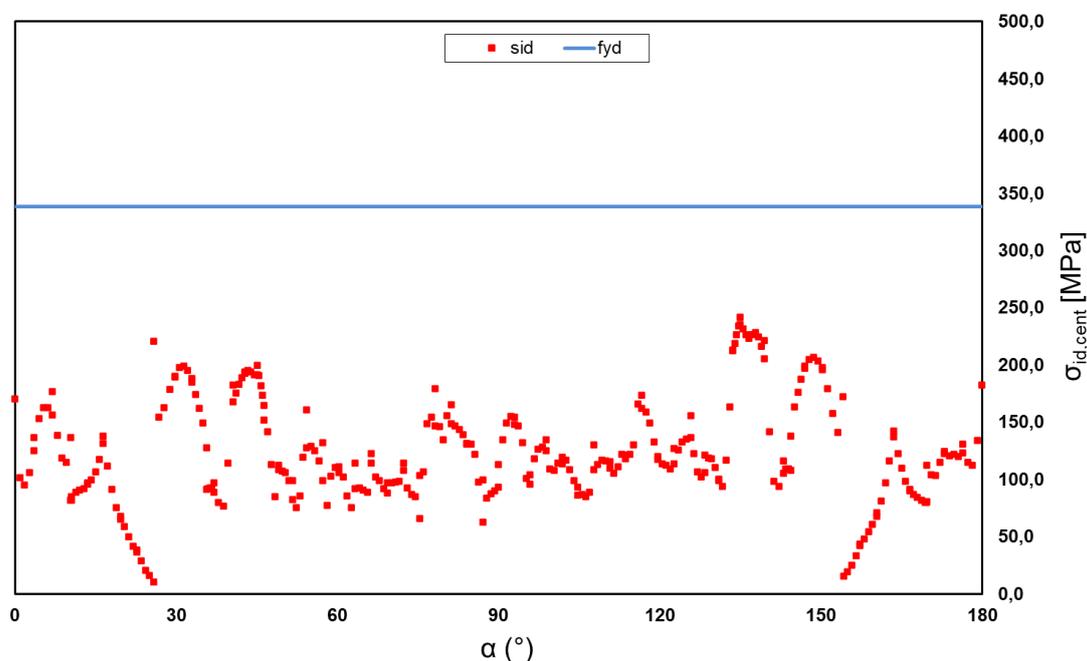


Figura 11-67: Verifica SLU per le centine – – Sezione C2

### 11.9.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3

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  $\alpha$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 139 di 285

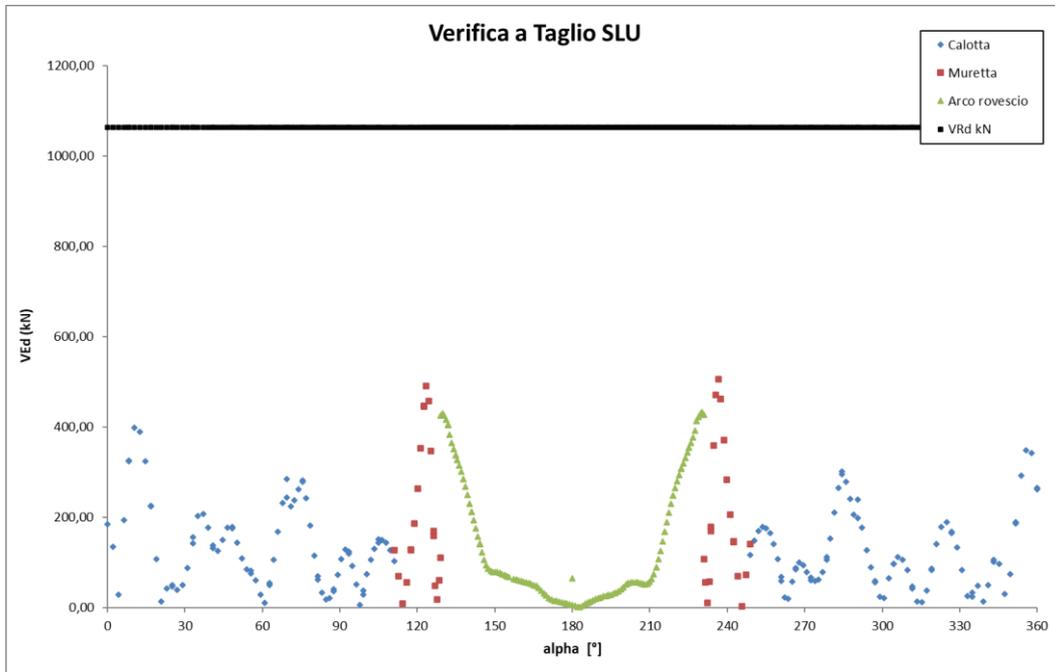


Figura 11-68 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione C2

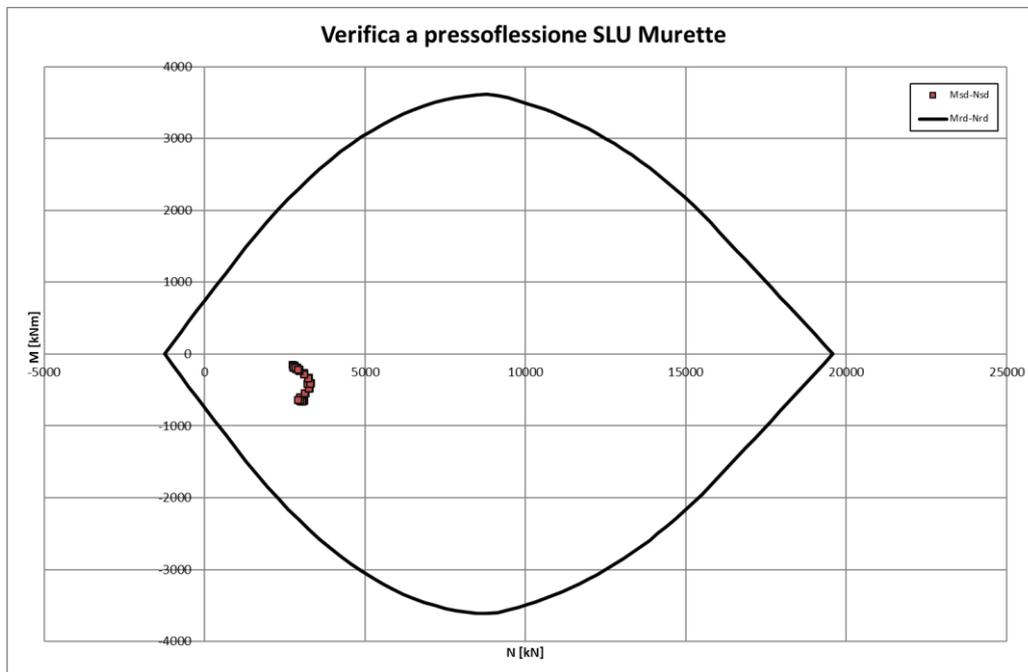


Figura 11-69 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 140 di 285

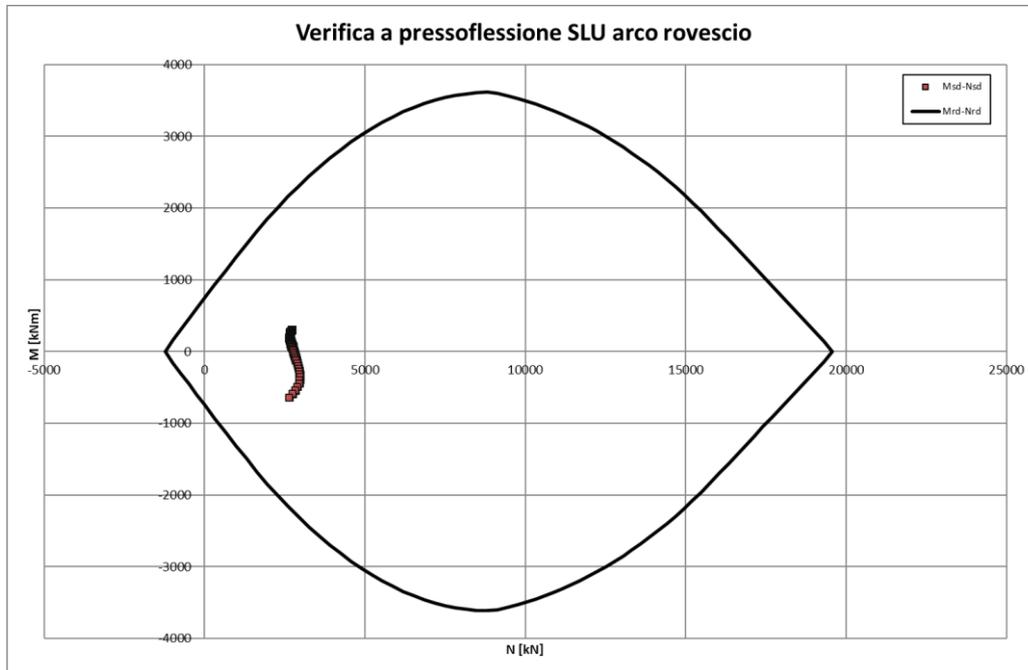


Figura 11-70 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione C2

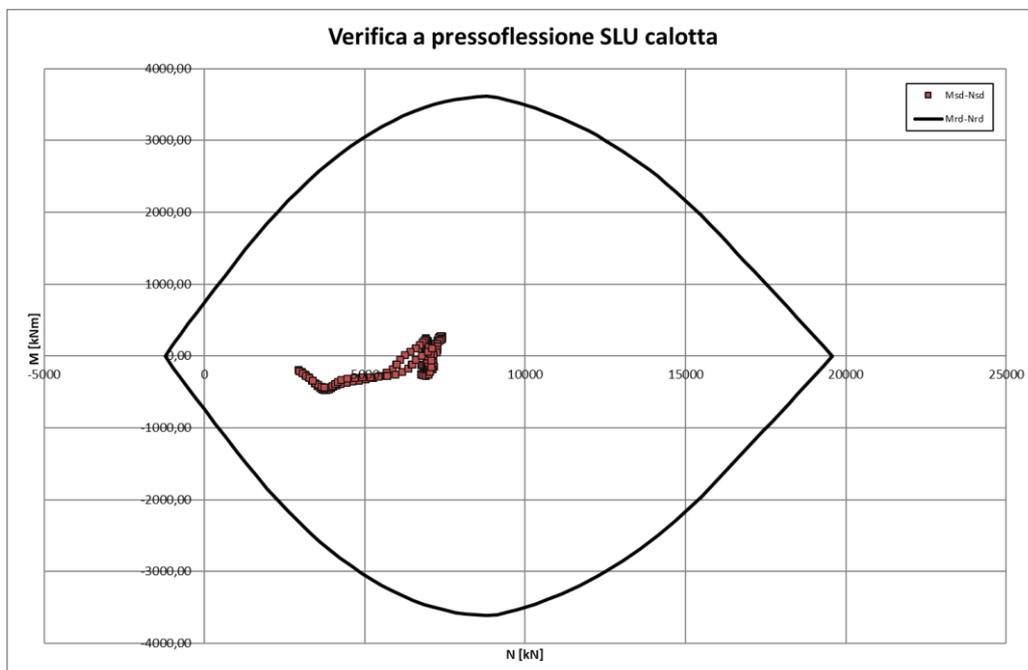


Figura 11-71 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione C2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 141 di 285

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  $\alpha$ .

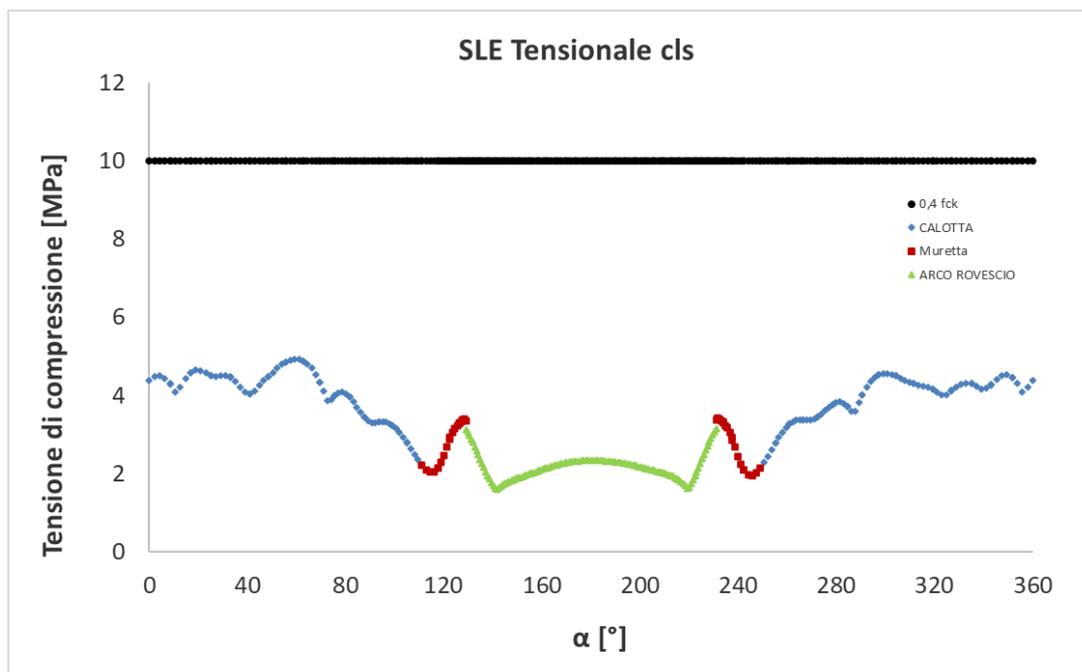


Figura 11-72 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione C2

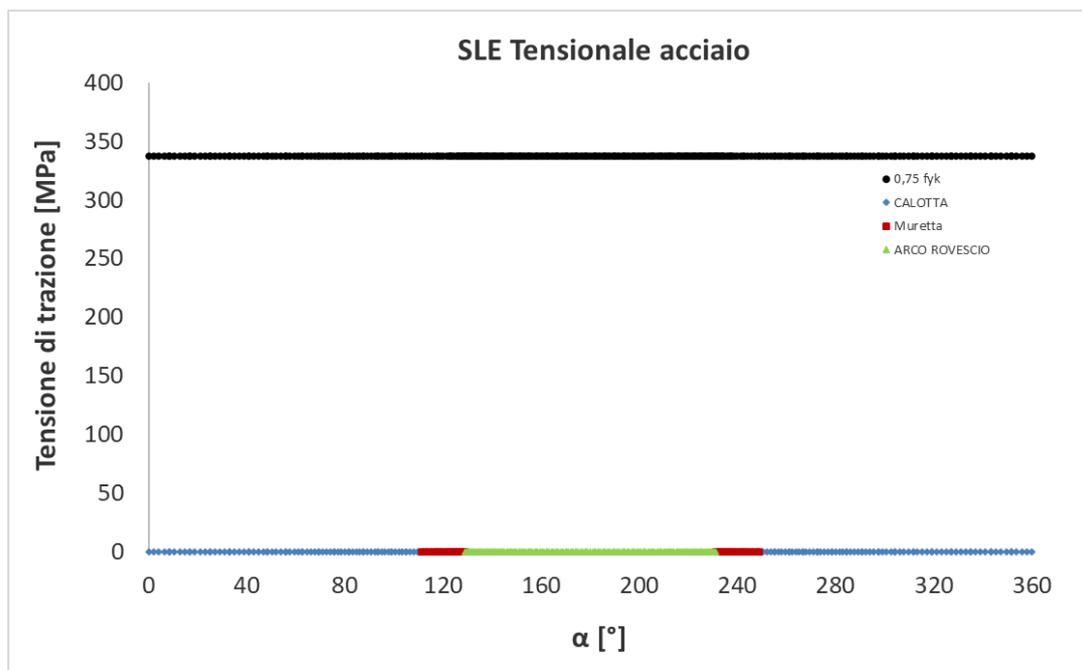


Figura 11-73 – Verifica tensioni acciaio – Sezione C2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	142 di 285

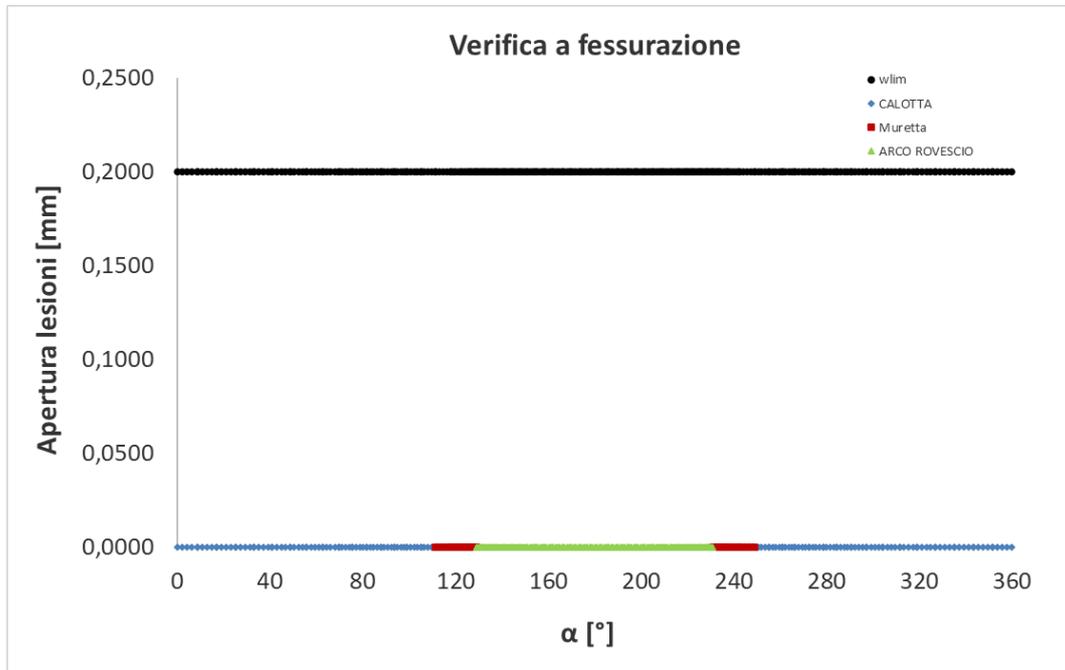


Figura 11-74 – Verifica a fessurazione –Sezione C2

### 11.9.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione C2 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
16+17 barre $\Phi 24$	51	8	1	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 120.8 * 1.3 = 157 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 8 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 280.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d * 3.$$

Con **FS=1.78**

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 143 di 285	

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

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=1.13**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	144 di 285

## 11.10 SEZIONE C3

### 11.10.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C3 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
C3	6.3	6.0	555.3	14.99	27	1657	30.3	11175

H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  
 $S_m$ : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  
 $\gamma$ : peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_d$ : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  
 $\varphi'_d$ : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  
 $E_d$ : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 11-38 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione C3.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
C3 – Settore 1	6.7	0.10	7.70	1.22	A	A	B
C3 – Settore 2	6.7	0.10	7.70	1.22	A	A	B

Tabella 11-39 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C3.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	145 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

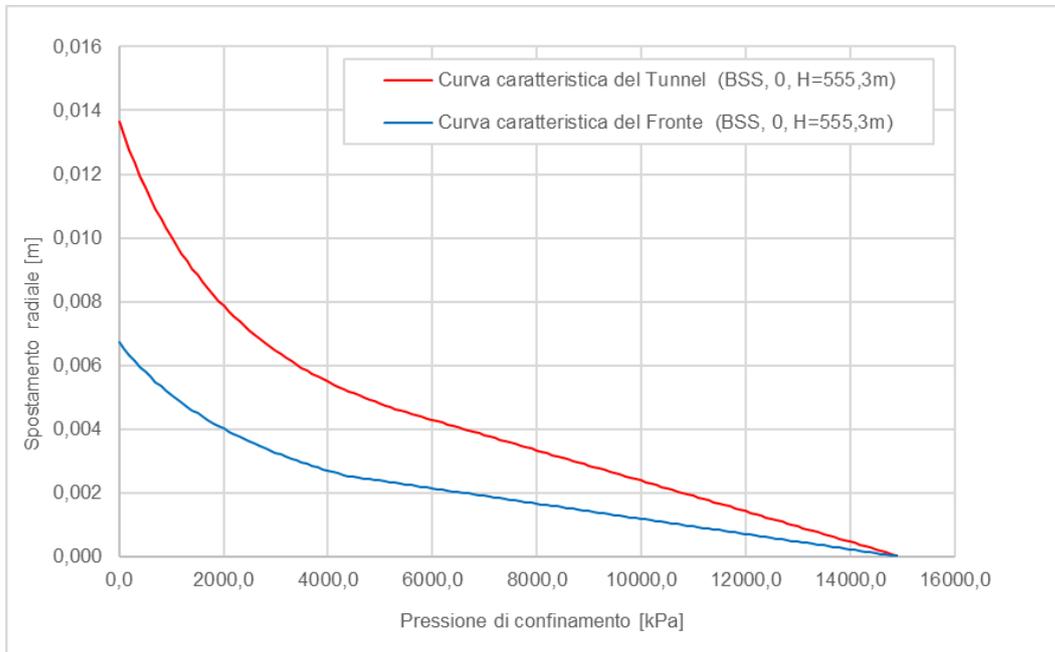


Figura 11-75 – Curve caratteristiche settore 1– Sezione C3

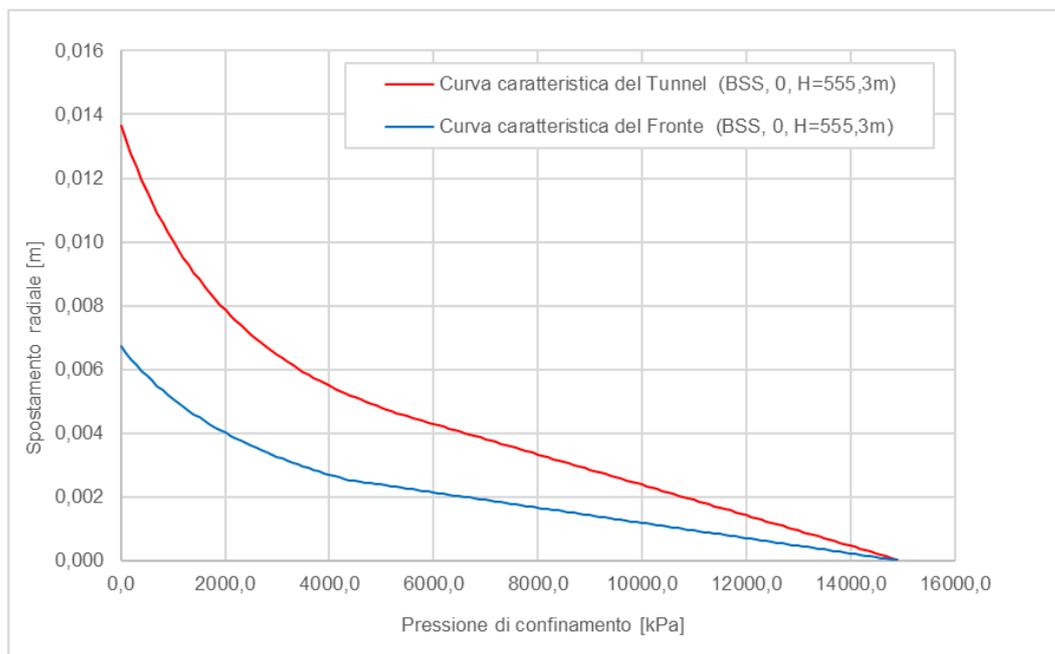


Figura 11-76 – Curve caratteristiche settore 2– Sezione C3

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	146 di 285

### 11.10.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Si riportano di seguito le analisi della sezione C3. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente.

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone C3	BSSa	555.3	Terreno naturale	27	2313	37.2	17060.00
	BSSa (D=0.1)	555.3	Terreno naturale	27	2227	36.76	15388.00
	BSSa (D=0.2)	555.3	Terreno naturale	27	2142	36.19	13792.00

Tabella 11-40 - Sezione C1\_tipo1 – Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

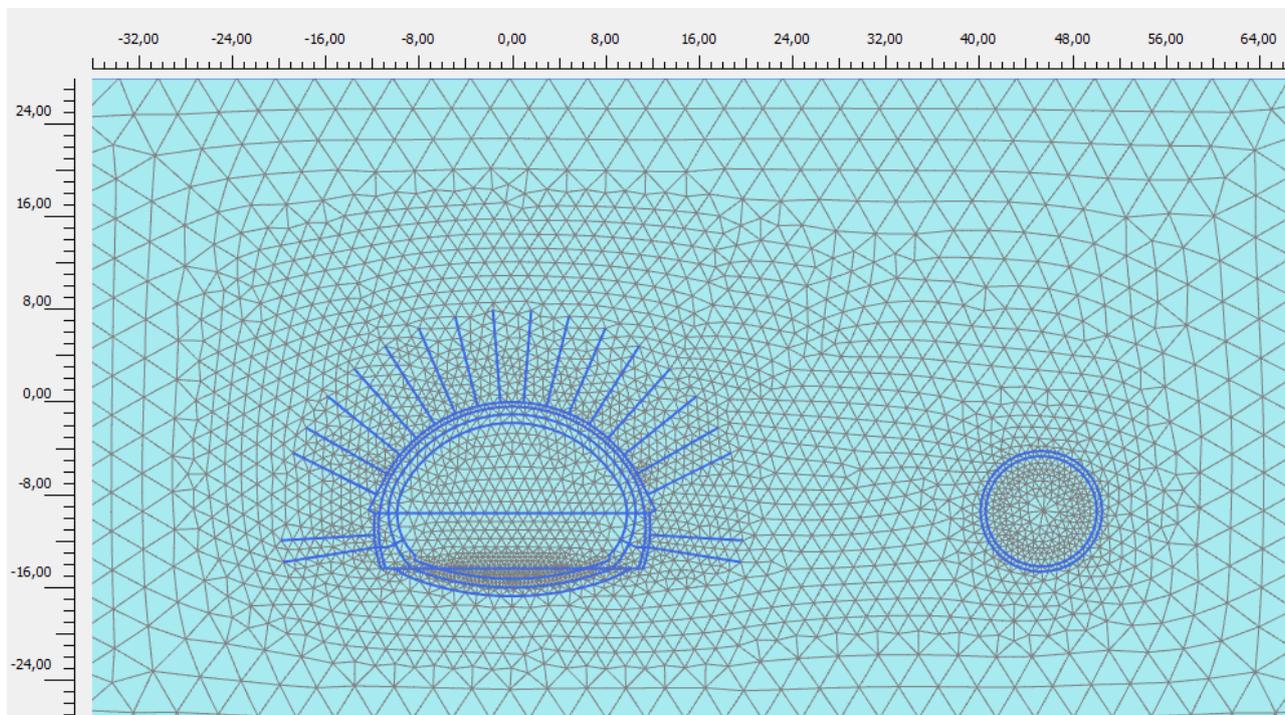


Figura 11-77 – Particolare mesh– Sezione C3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	147 di 285

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.11.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi *plate* inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza (EA ed EI) sono stati moltiplicati di un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	150	31476	0.2	47.2	8.85
Murette	C25/30	150	31476	0.2	47.2	8.85
Calotta	C25/30	140	31476	0.2	44.1	7.2

Tabella 11-41 - Sezione tipo C3 – Sintesi dei parametri dei rivestimenti definitivi

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di de-confinamento applicati al modello.

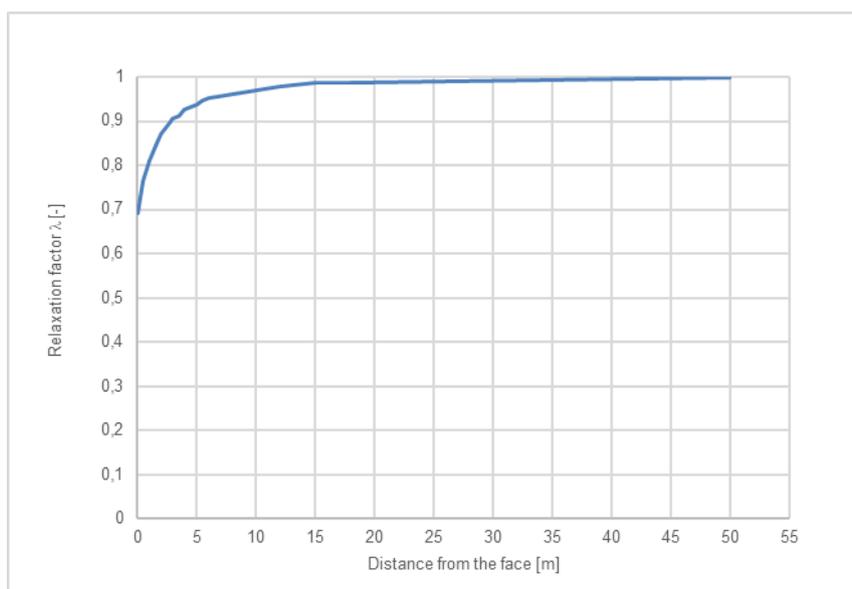


Figura 11-78 – Curva di rilascio settore 1– Sezione C3- Calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 148 di 285

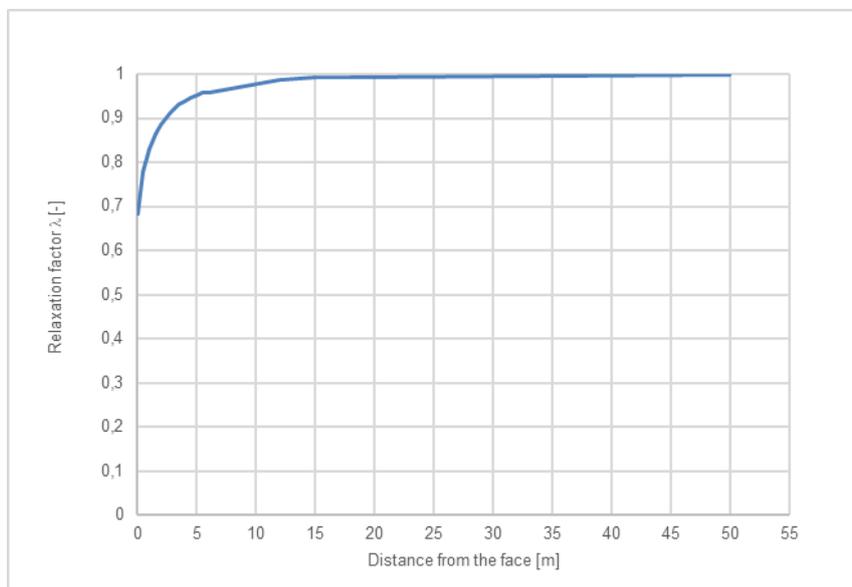


Figura 11-79 – Curva di rilascio settore 2– Sezione C3- Strozzo

La tabella seguente riassume i fattori di rilascio ottenuti dalle sovrastanti curve caratteristiche adottati per la sezione tipologica in esame nelle varie fasi di analisi:

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1.	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Apertura del fronte (calotta)	69.12
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento	81.20
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento	90.60
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100.00
8.	Posa in opera rivestimento di prima fase in calotta e apertura del fronte (strozzo)	68.45
9.	Scavo strozzo per 1 m di avanzamento	88.59
10.	Installazione dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento prima fase, scavo strozzo per 6 m di avanzamento	95.97
12.	Completa maturazione spritz (x=15)	99.32
13	Scavo ribasso	100.00

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	149 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
14.	Posa in opera del rivestimento definitivo arco rovescio e piedritti	100.00
15.	Degradazione dell'ammasso roccioso: D=0.1 per ipotizzare che per almeno 5 anni il camerone sarà sostenuto dal solo pre-rivestimento costituito da spritz e centine e dall'arco rovescio	100.00
16.	Posa in opera del rivestimento definitivo calotta	100.00
17.	Attivazione carico idraulico. Degradazione dell'ammasso roccioso: si considera una riduzione dei parametri geomeccanici dell'ammasso applicando un fattore di disturbo D=0.2 per tener conto del degrado a lungo termine.	100.0

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3 m dal fronte.*

*Tabella 11-42 – Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione tipo C3.*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato precedentemente, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 12293.1 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (555.3m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 150 di 285

### 11.10.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

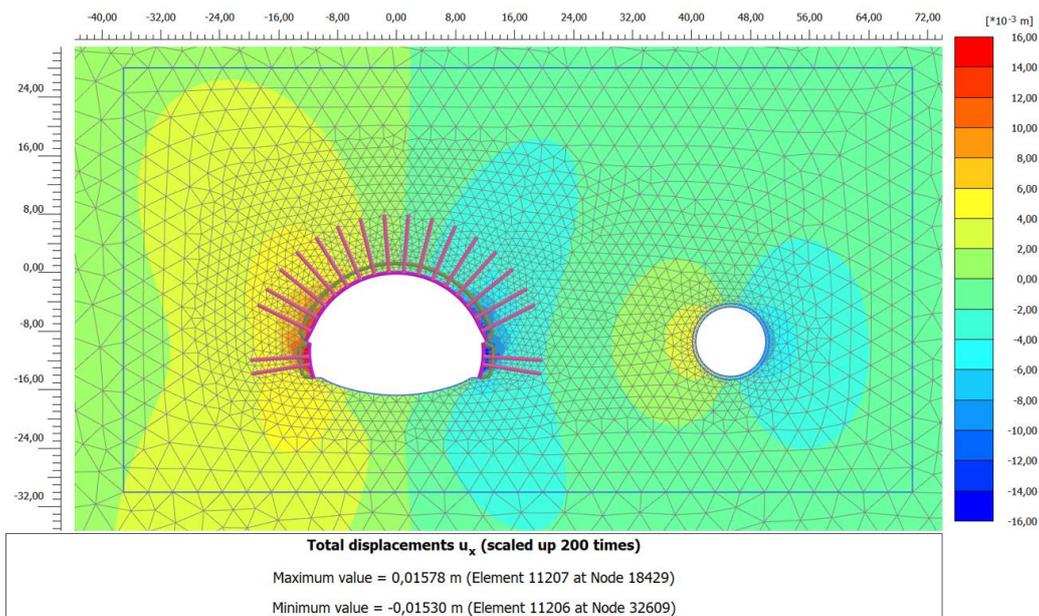


Figura 11-80: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo C3. (fase 13)

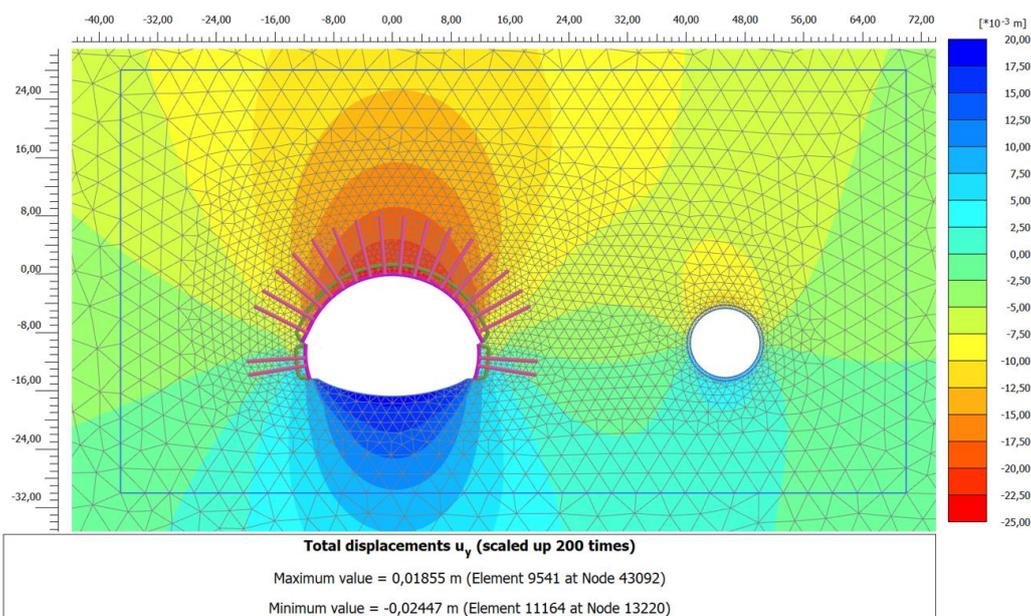


Figura 11-81: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo C3. (fase 13)

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 151 di 285

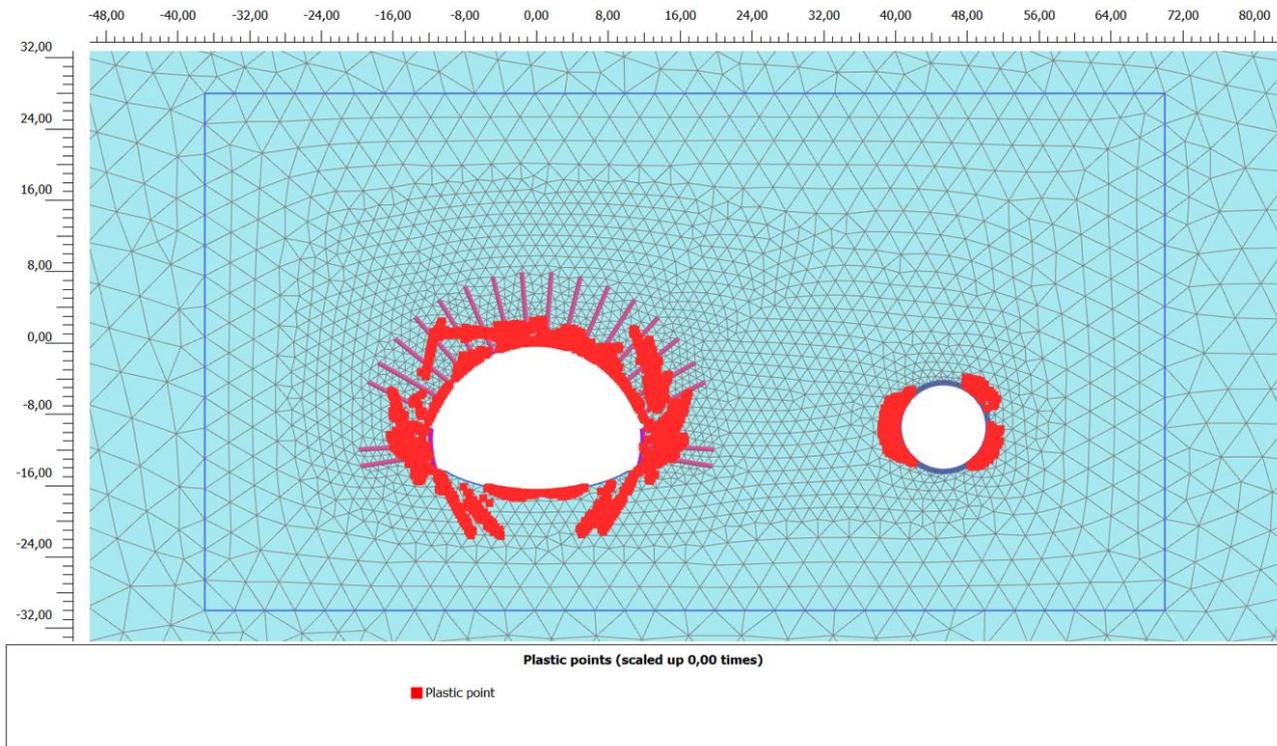


Figura 11-82: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo C3. (fase 13)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

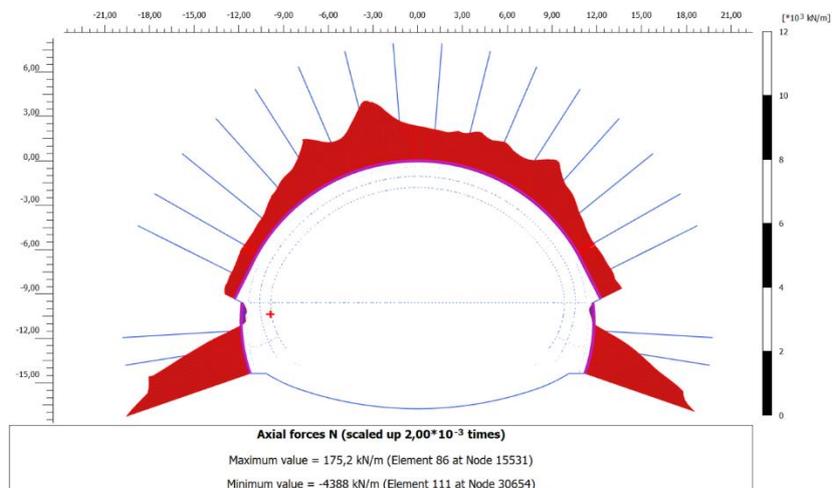


Figura 11-83 – C3. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 152 di 285

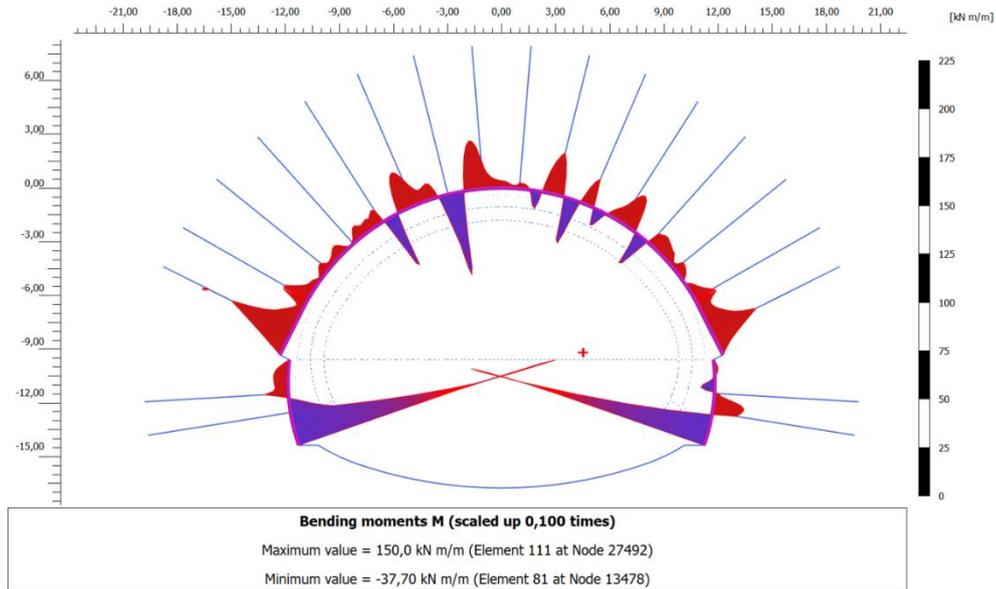


Figura 11-84 – C3. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 13)

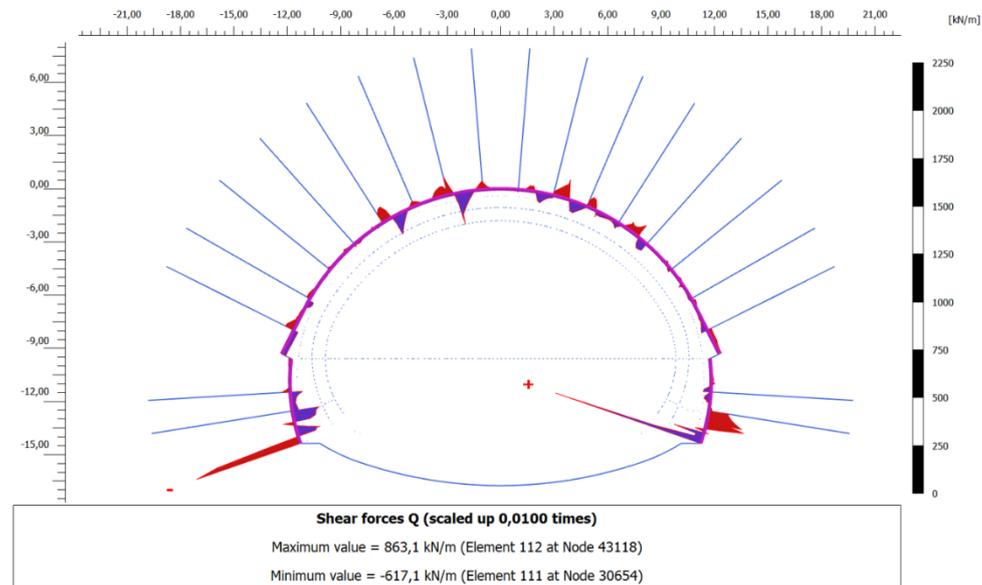


Figura 11-85 C3. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 153 di 285

**Rivestimento definitivo:**

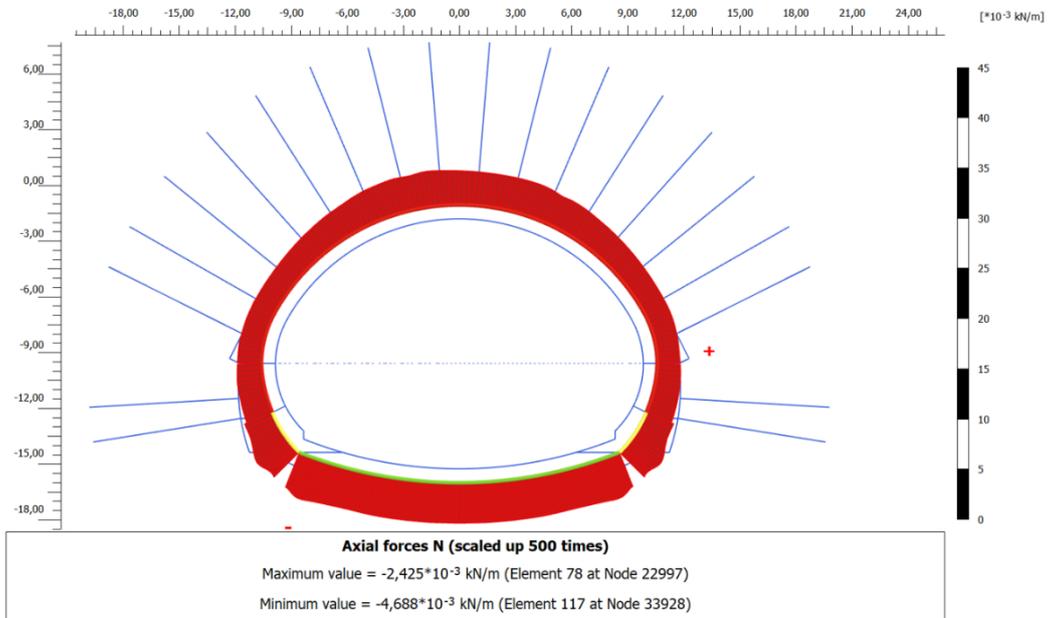


Figura 11-86 – C3. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 17)

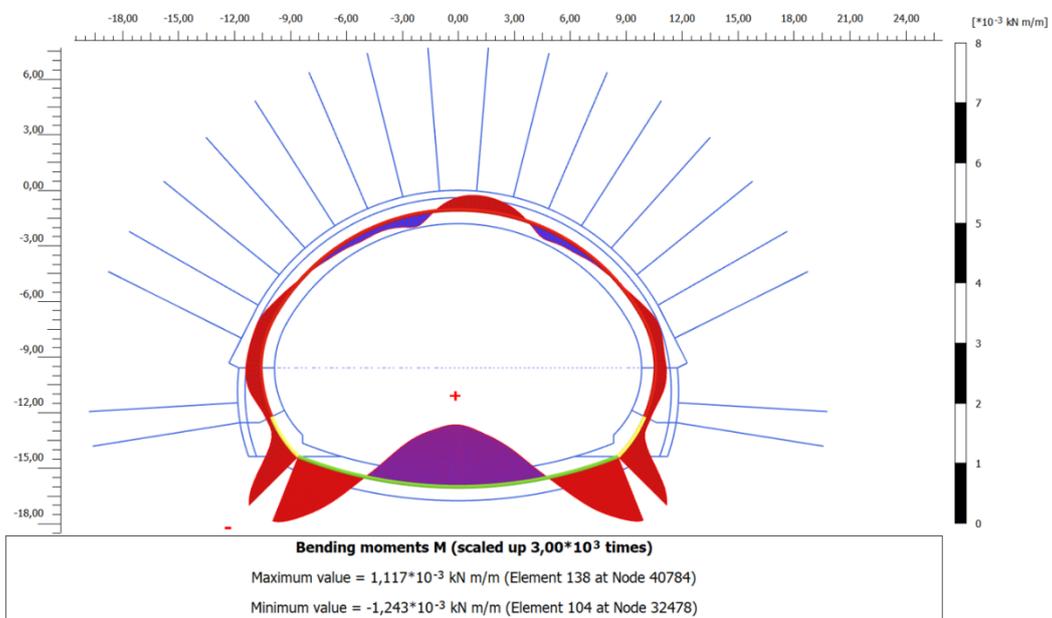


Figura 11-87 – C3. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 17)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 154 di 285

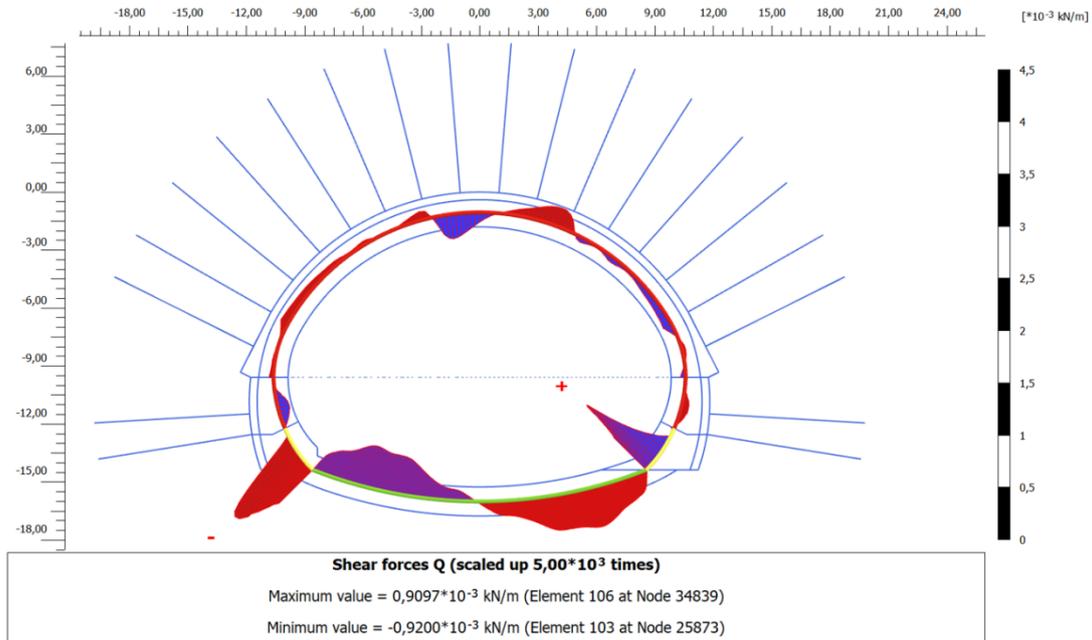


Figura 11-88 – C3. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 17)

**Bulloni radiali:**

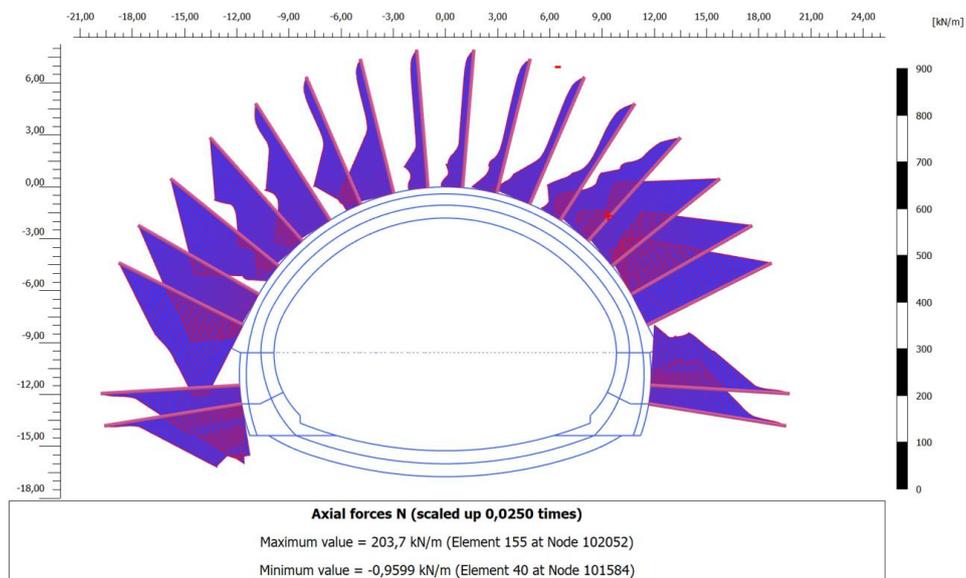


Figura 11-89 C3. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 16)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 155 di 285

### 11.10.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.10.3.1. Verifica del rivestimento provvisorio

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (o di prima fase) sono state eseguite nella fase di calcolo relativa alla degradazione dell'ammasso roccioso con  $D=0.1$  (fase 15).

Il rivestimento di prima fase della sezione C3 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB220 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

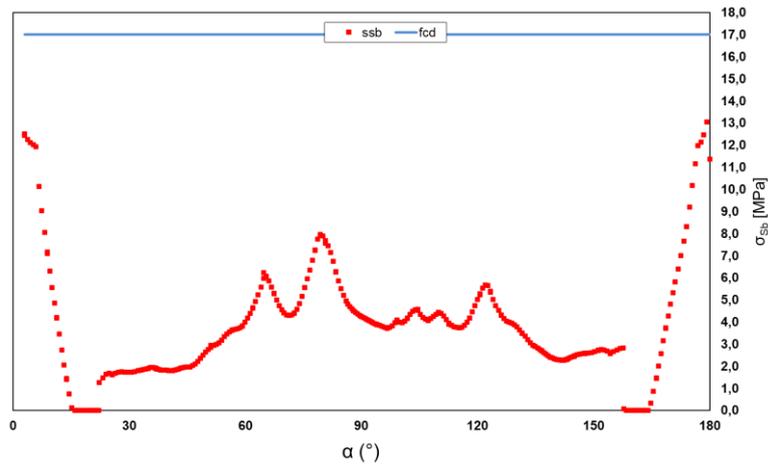


Figura 11-90: Verifica SLU per lo spritz-beton — Sezione C3

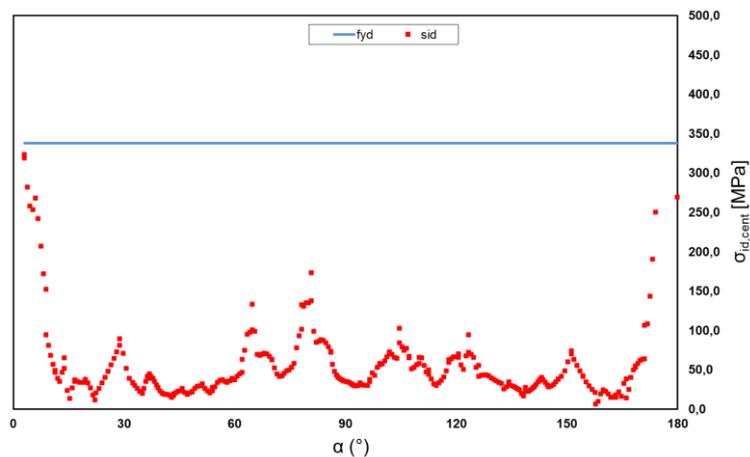


Figura 11-91: Verifica SLU per le centine – Sezione C3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	156 di 285

### 11.10.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1,4 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1,5 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1,5 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 17 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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.

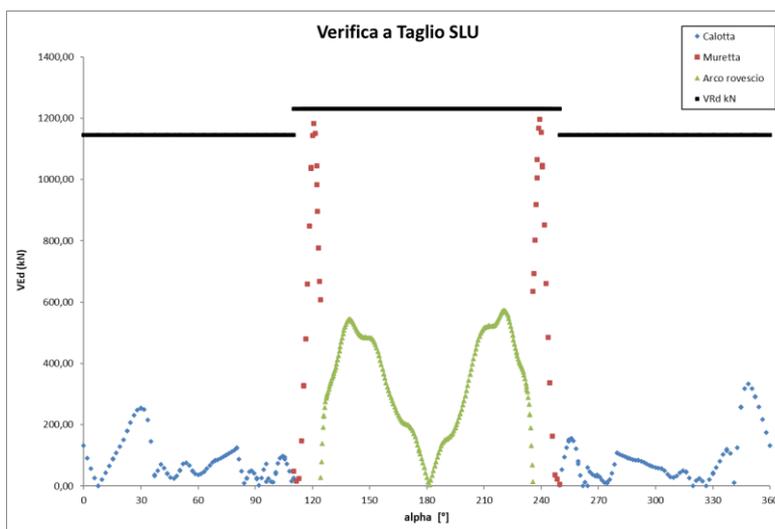


Figura 11-92 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione C3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 157 di 285

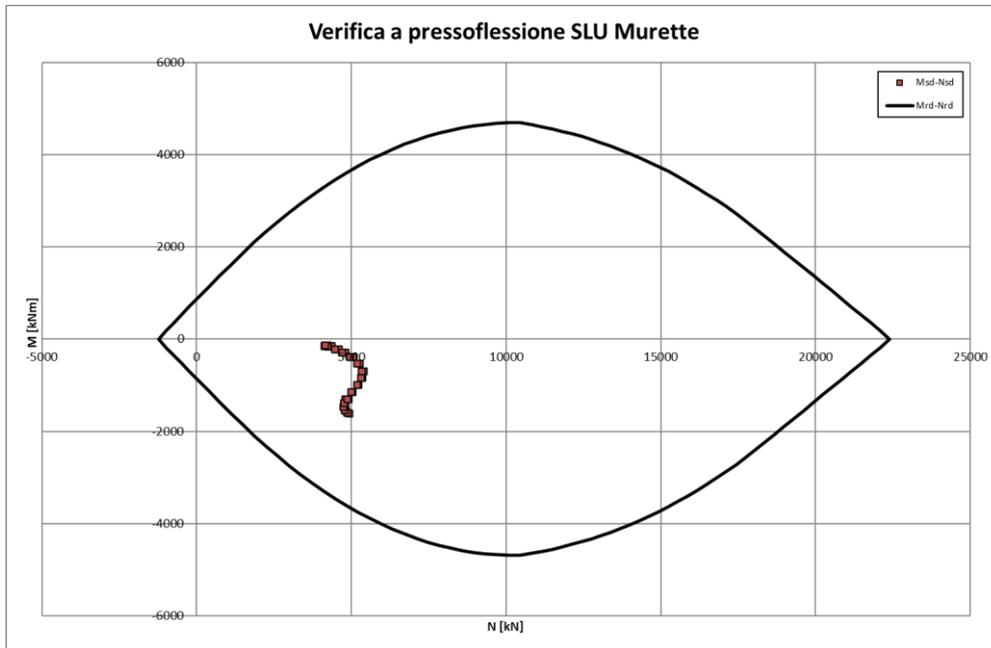


Figura 11-93 Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione C3

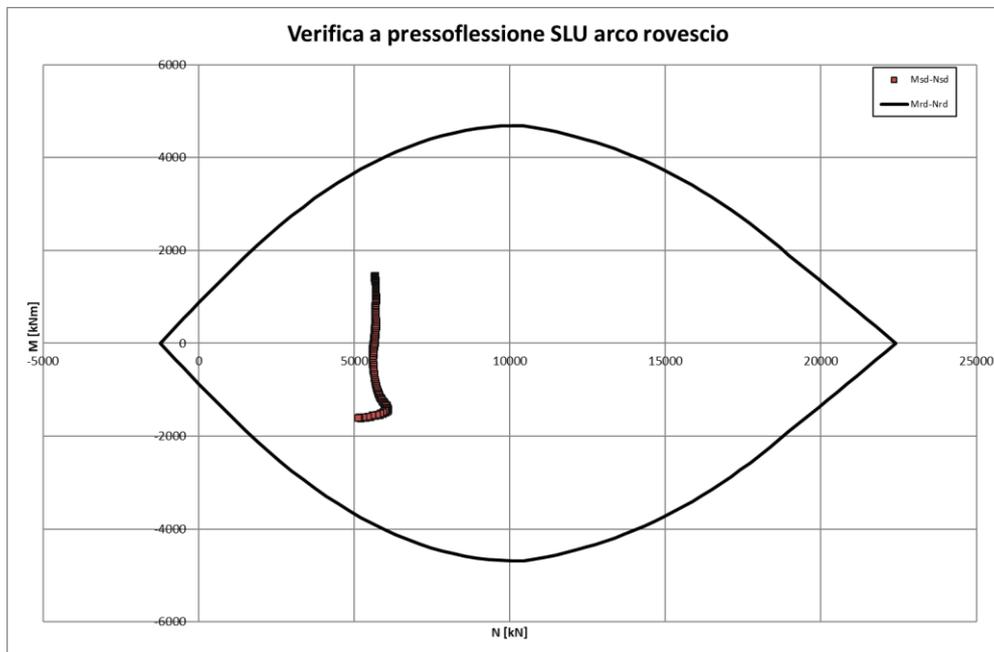


Figura 11-94 Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione C3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 158 di 285

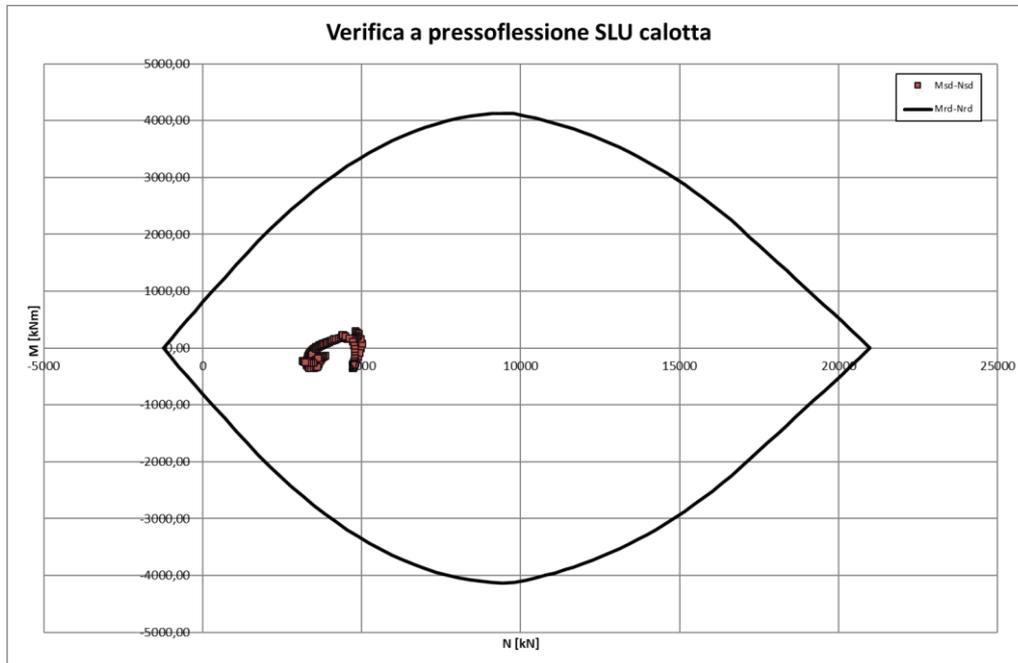


Figura 11-95 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione C3

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  $\alpha$ .

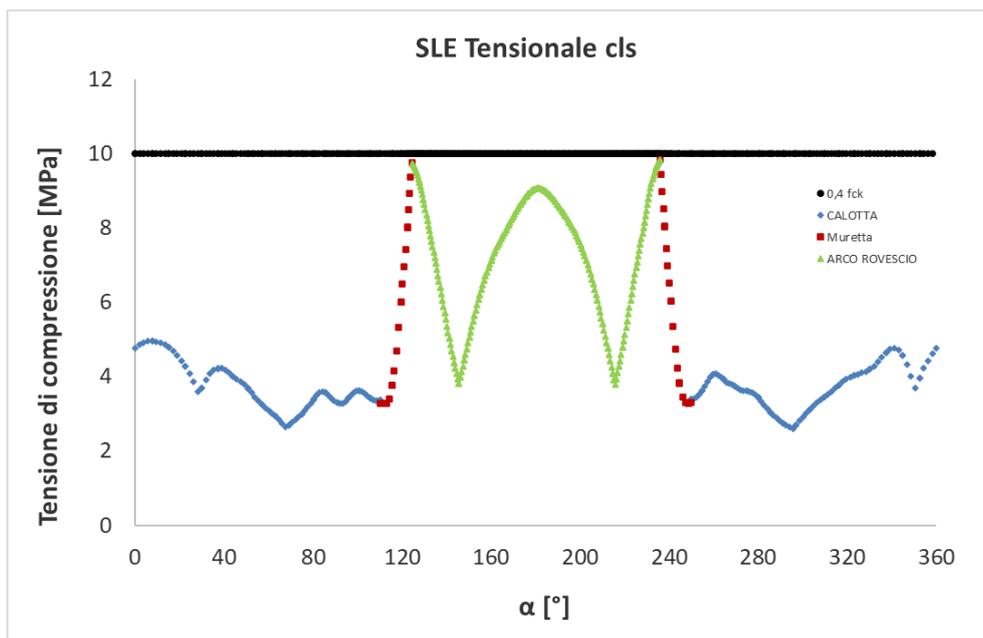


Figura 11-96 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione C3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 159 di 285

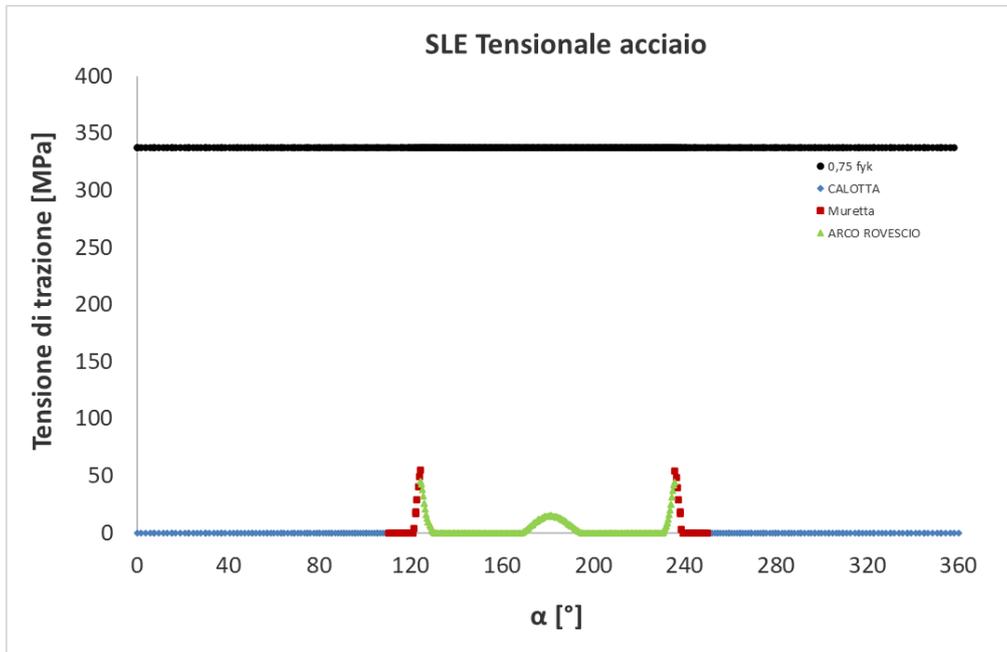


Figura 11-97 – Verifica tensioni acciaio – Sezione C3

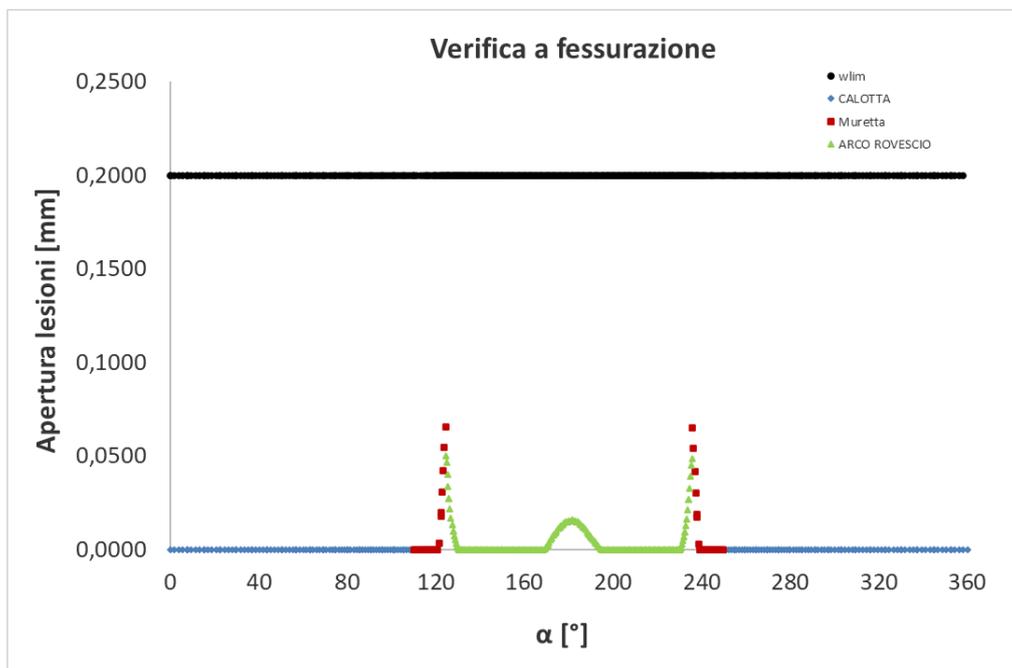


Figura 11-98 – Verifica a fessurazione – Sezione C3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	160 di 285	

### 11.10.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione C3 sono costituiti da bulloni radiali costituiti da barre  $\Phi 30$  mm.

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

Elemento	$D_{perf}$	L	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
19+20 barre $\Phi 30$	51	6	1	1.1	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 203.7 \cdot 1.3 = 264.81 \text{ kN}$$

dove:

$N$  = massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 6 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 280.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d \cdot 3.$$

Con **FS=1.06**

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

$$F_{Nd} = \frac{f_{yk} \cdot A_s}{\gamma_s} = \frac{450 \text{ MPa} \cdot 707 \text{ mm}^2}{1.15} = 276.6 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=1.04**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	161 di 285

## 11.11 SEZIONE IO

### 11.11.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo IO eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
IO	6.5	525.4	14.19	27	1806	31.6	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>							

Tabella 11-43 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione IO.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
IO	6.37	0.09	7.89	1.21	A	A	B

Tabella 11-44 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo IO.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 162 di 285

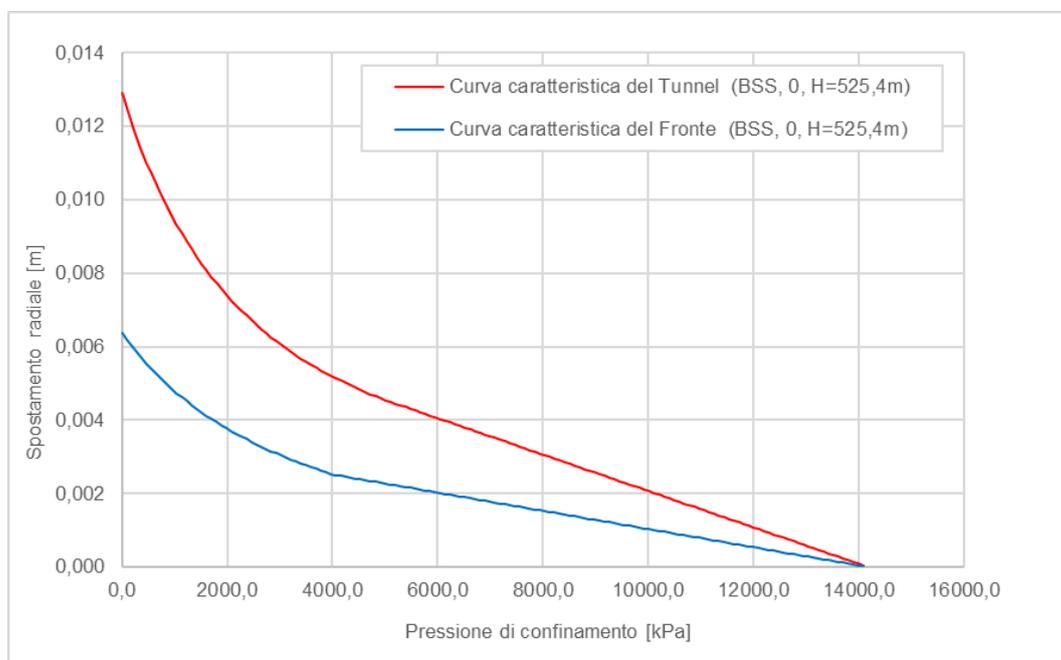


Figura 11-99 – Curve caratteristiche – Sezione 10

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	163 di 285

### 11.11.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione I0. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente.

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
I0	BSS	525.4	Terreno naturale	27	2258	37.6	17.1 E+03
	BSS (D=0.1)	525.4	Terreno naturale	27	2176	37.1	15.4 E+03
	BSS (D=0.2)	525.4	Terreno naturale	27	2092	36.6	13.8E+03

Tab. 11-45– Sezione I0 – Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

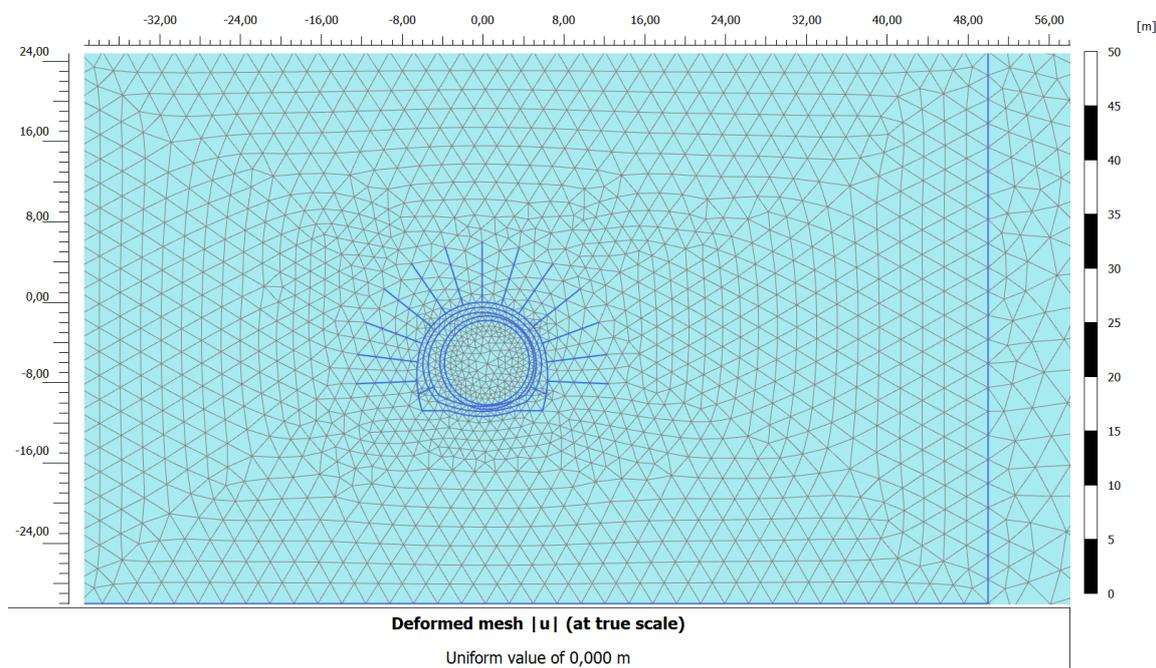


Fig. 11-100– Particolare mesh– Sezione I0.

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.3. Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 164 di 285

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	100	31476	0.2	31,48	2.62
Murette	C25/30	100	31476	0.2	31,48	2.62
Calotta e piedritti	C25/30	100	31476	0.2	31,48	2.62

Tab. 11-46 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della sezione I0.

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio.

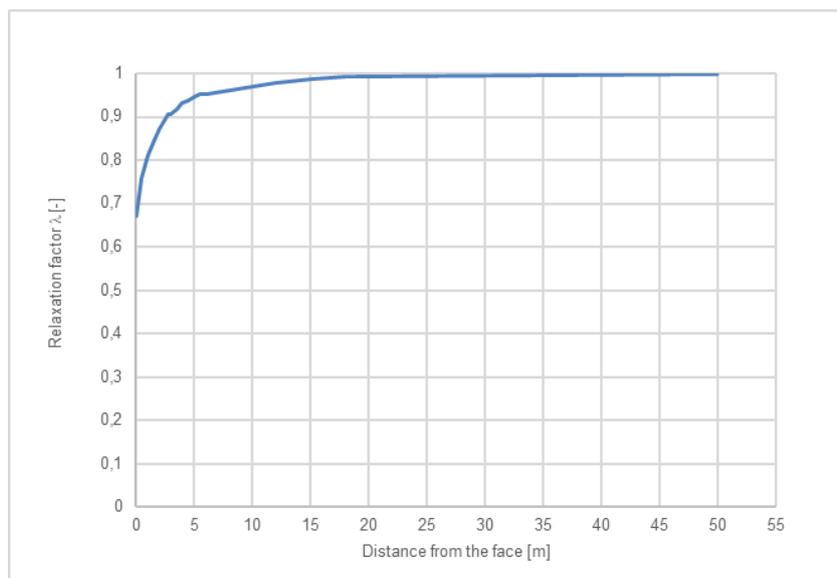


Fig. 11-101 – Curva di rilascio settore 1– Sezione I0 (I0 è scavata a piena sezione, quindi si ha una sola curva)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	165 di 285

La tabella seguente riassume i fattori di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipologica:

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1.	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Demolizione dei conci e aperura in allargo del camerone	67.10
5.	Scavo in allargo per 1 m di avanzamento	81.20
6.	Scavo in allargo per 3 m di avanzamento ed installazione dei bulloni radiali	95.30
7.	Ulteriore avanzamento dello scavo in allargo	99.30
8.	Posa in opera del rivestimento provvisorio maturazione intermedia	99.50
9.	Posa in opera del rivestimento definitivo arco rovescio e piedritti e maturazione completa del rivestimento provvisorio	100.00
10.	Degradazione dell'ammasso roccioso: D=0.1 per ipotizzare che per almeno 5 anni il camerone sarà sostenuto dal solo pre – rivestimento costituito da spritz e centine e dall'arco rovescio	100.00
11.	Posa in opera del rivestimento definitivo calotta	100.00
12.	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine) e degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.2)	100.0

Tab. 11-47 – Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione I0.

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato precedentemente, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 11490 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (525.4m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 166 di 285

### 11.11.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

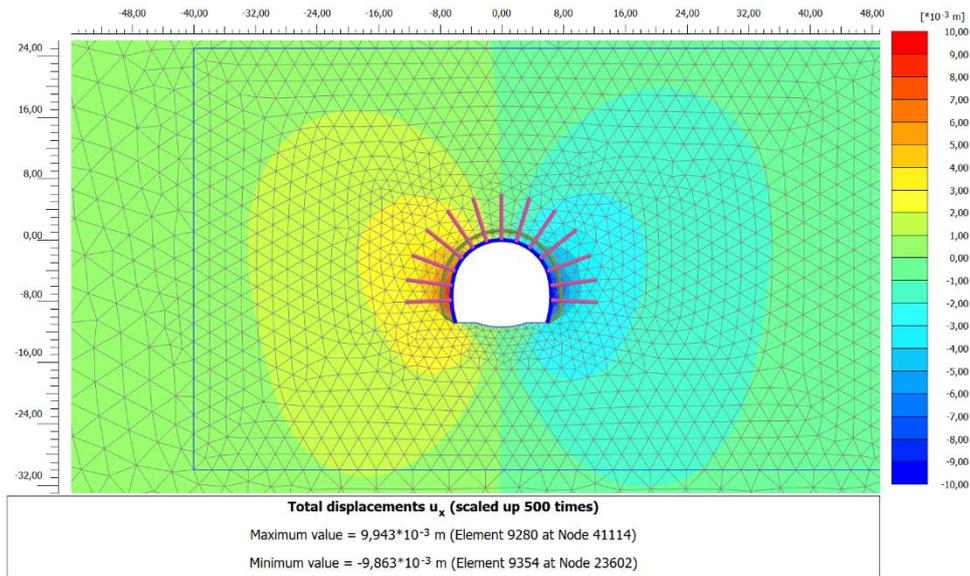


Fig. 11-102– Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo 10 (fase 8)

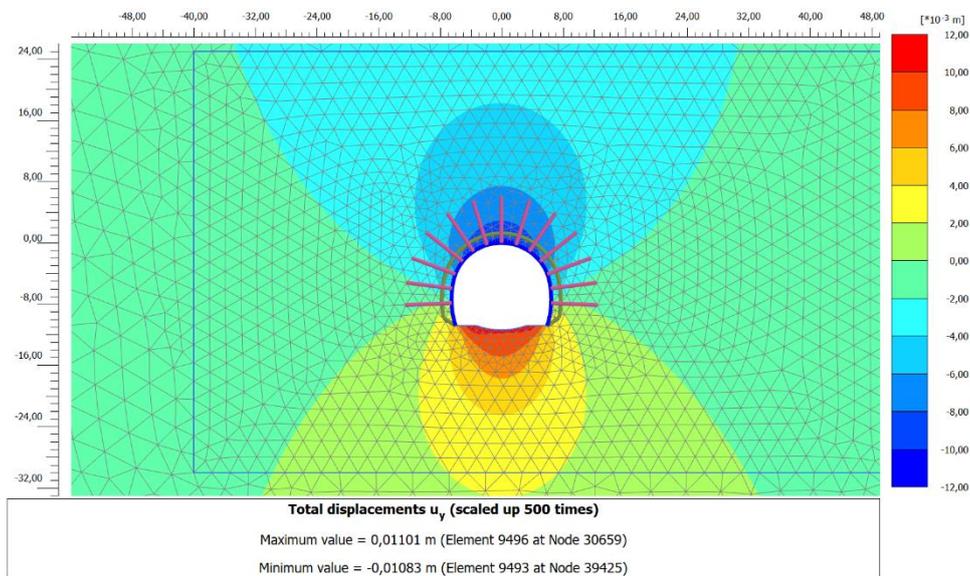


Fig. 11-103– Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo 10 (fase 8)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 167 di 285

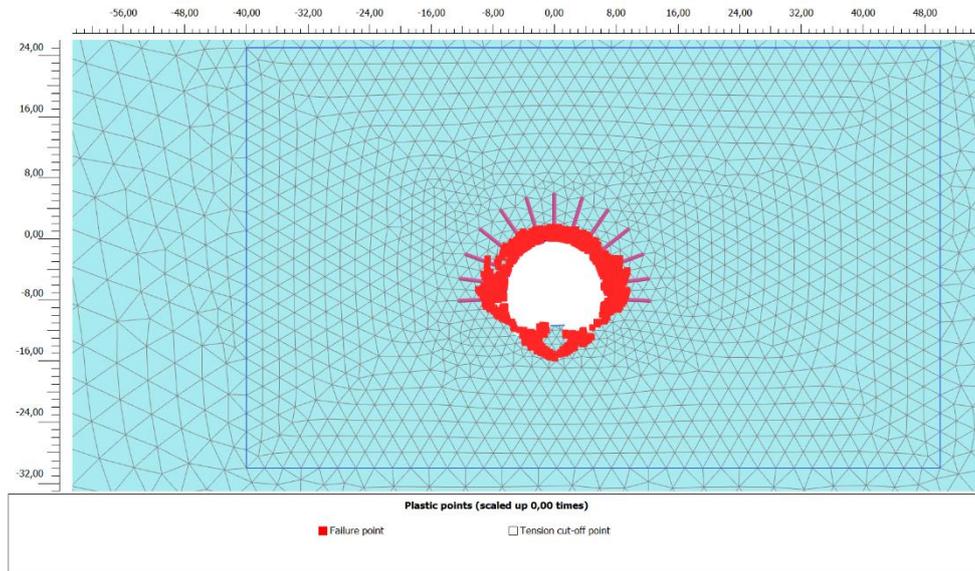


Fig. 11-104– Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo Tipo 10 (fase 8)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

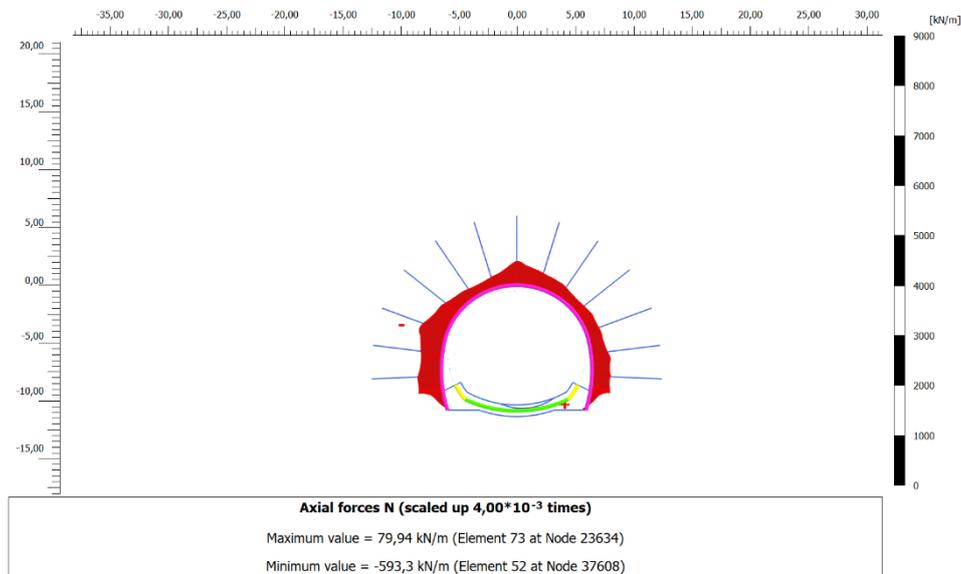


Fig. 11-105 – 10. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 10)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 168 di 285

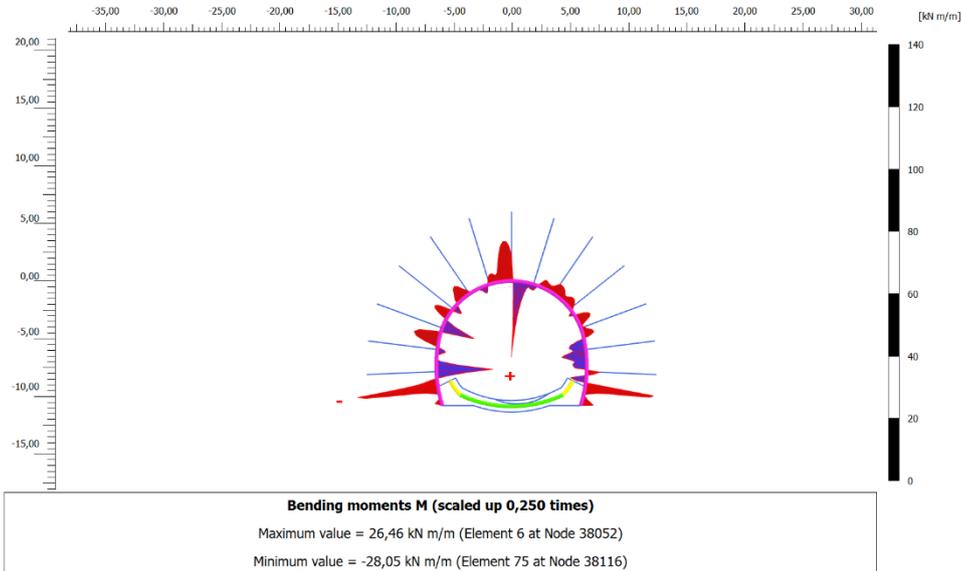


Fig. 11-106 – IO. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 9)

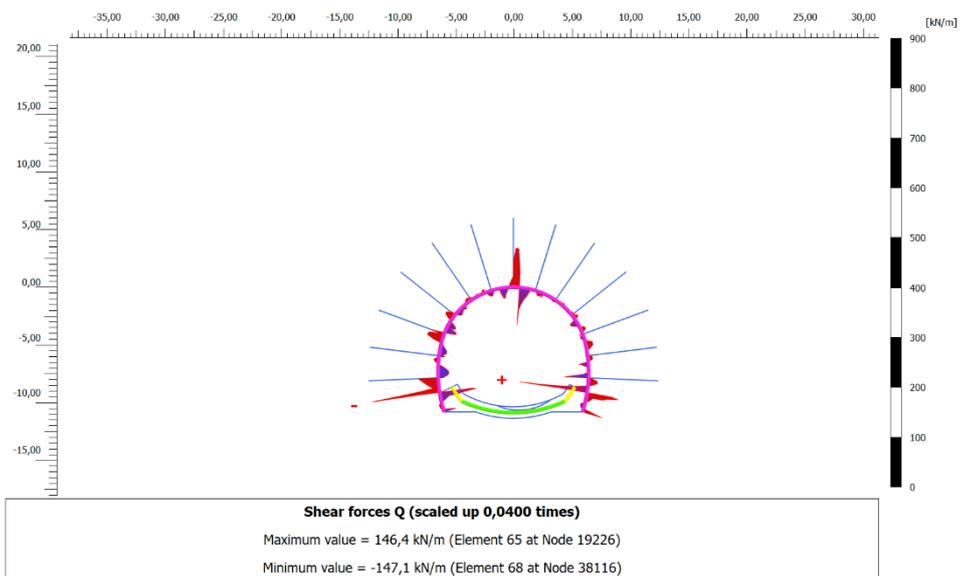
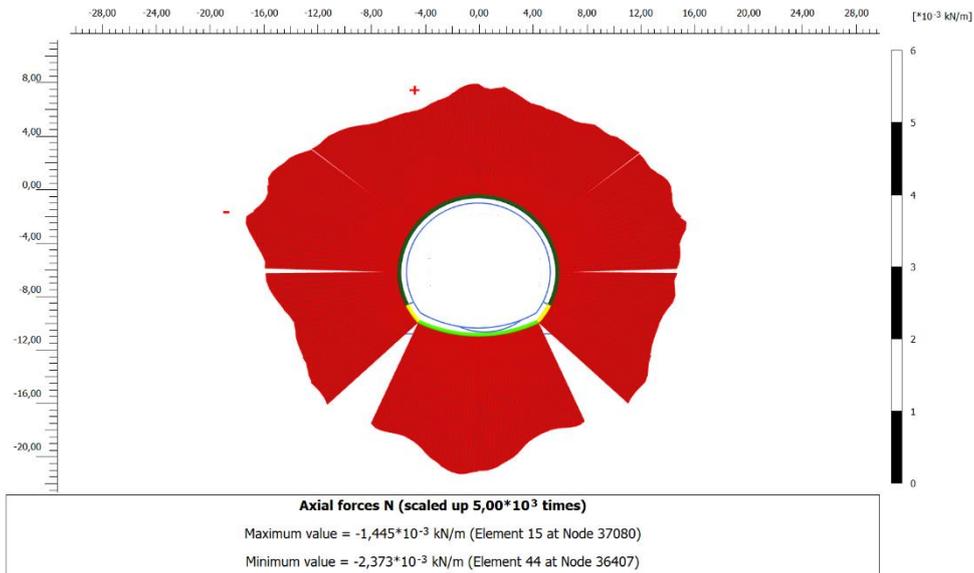


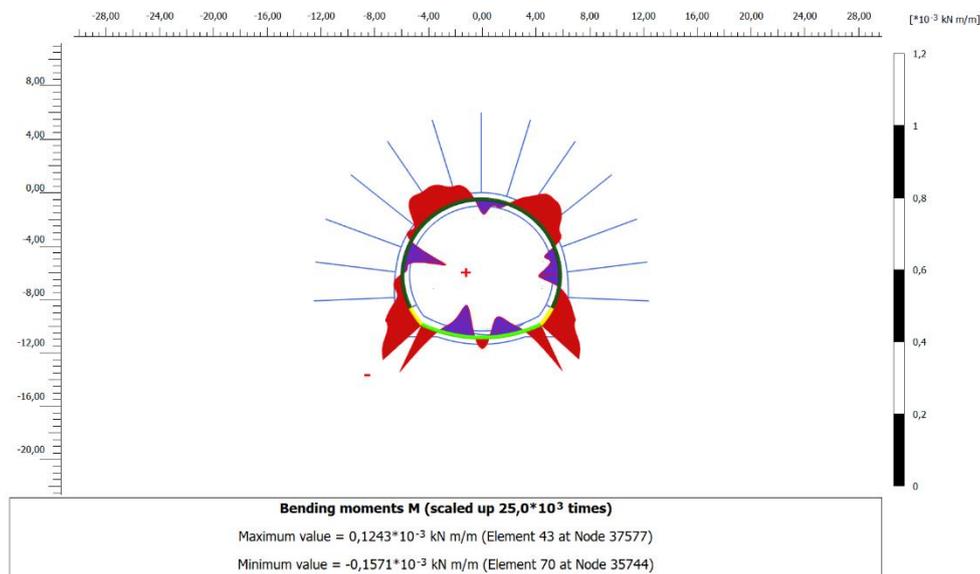
Fig. 11-107 IO. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 9)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 169 di 285

**Rivestimento definitivo:**



*Fig. 11-108 – IO. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 12)*



*Fig. 11-109 – IO. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 12)*

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 170 di 285

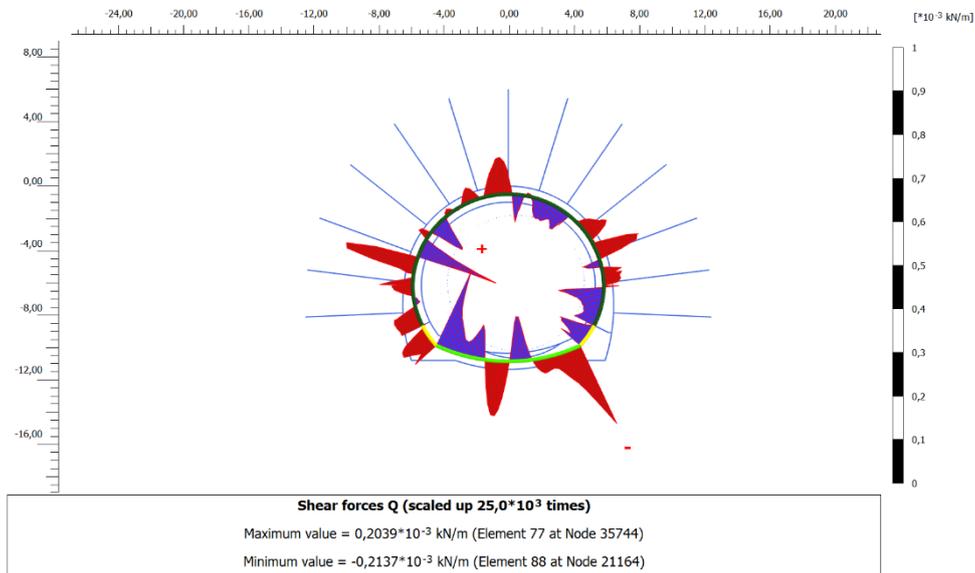


Fig. 11-110 – IO. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 12)

**Bulloni radiali:**

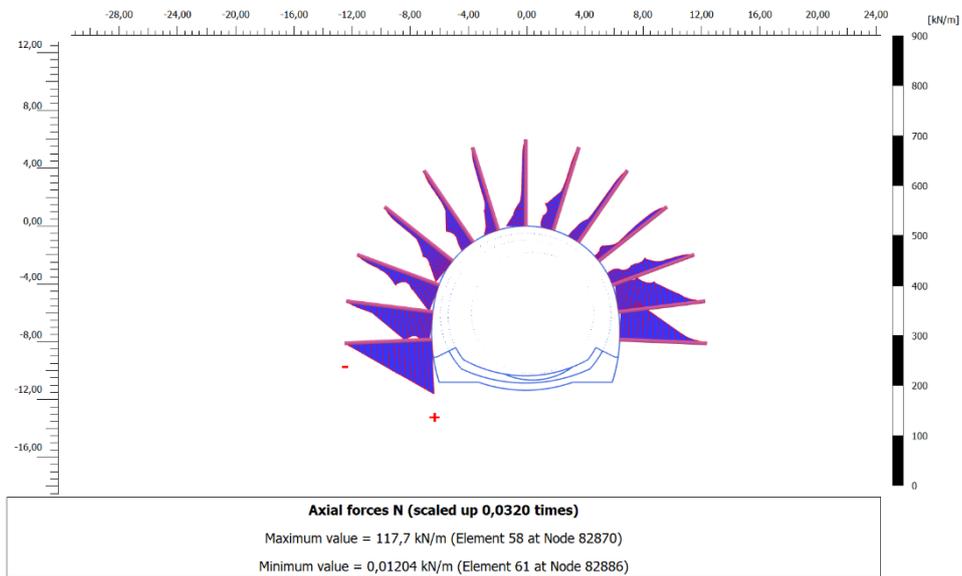


Fig. 11-111– IO. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 10)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	171 di 285

### 11.11.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.11.3.1. 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 rivestimento provvisorio e degradazione dell'ammasso  $D=0.1$  (fase 10).

Il rivestimento di prima fase della sezione IO è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB180 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

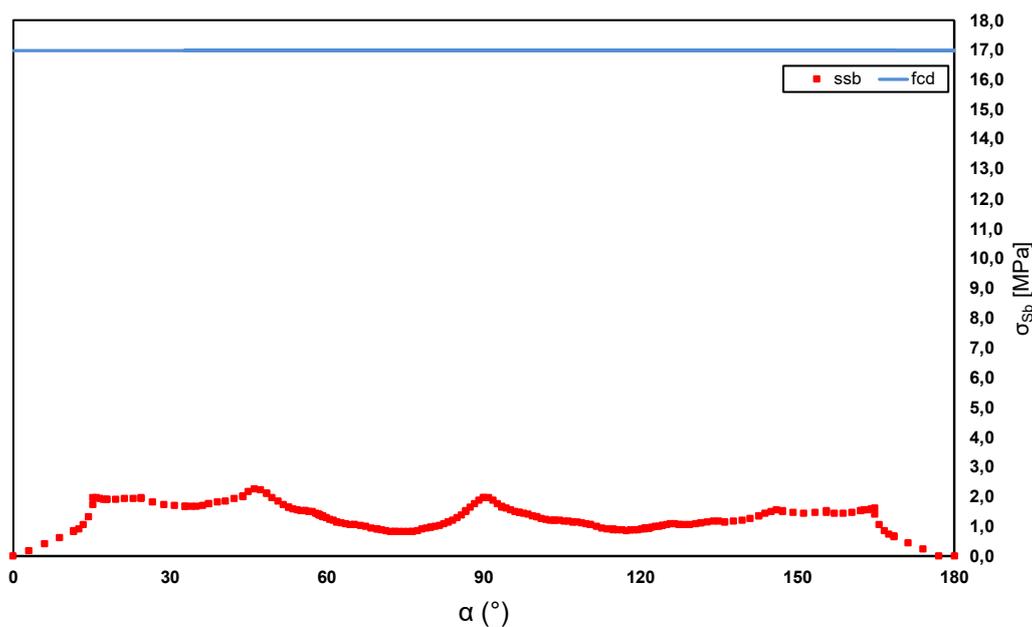


Fig. 11-112– Verifica SLU per lo spritz-beton — Sezione IO

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	172 di 285

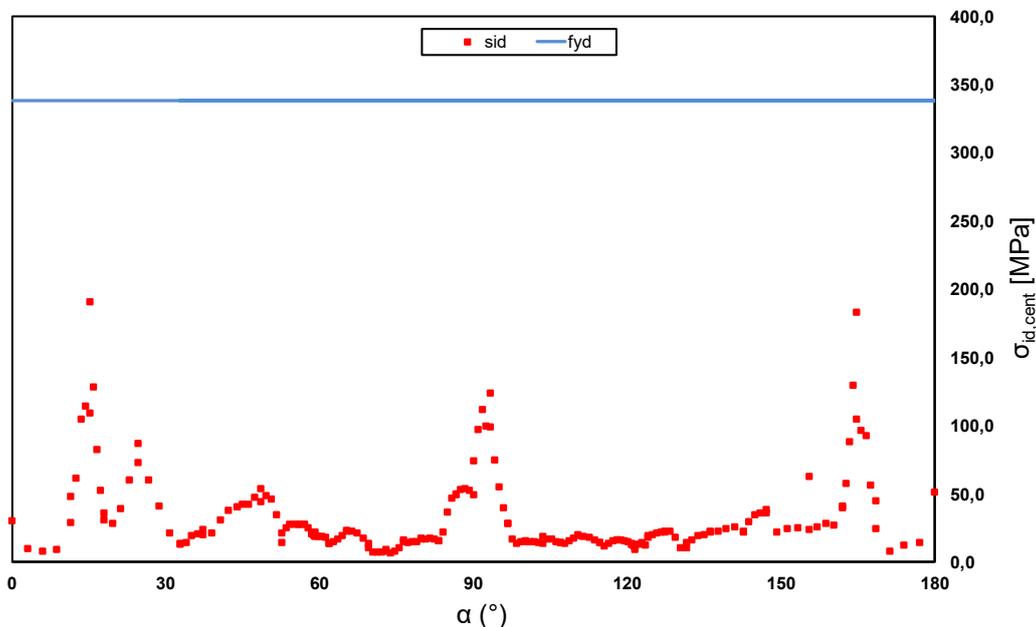


Fig. 11-113– Verifica SLU per le centine – Sezione I0

### 11.11.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x40	391.3

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 12 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 173 di 285

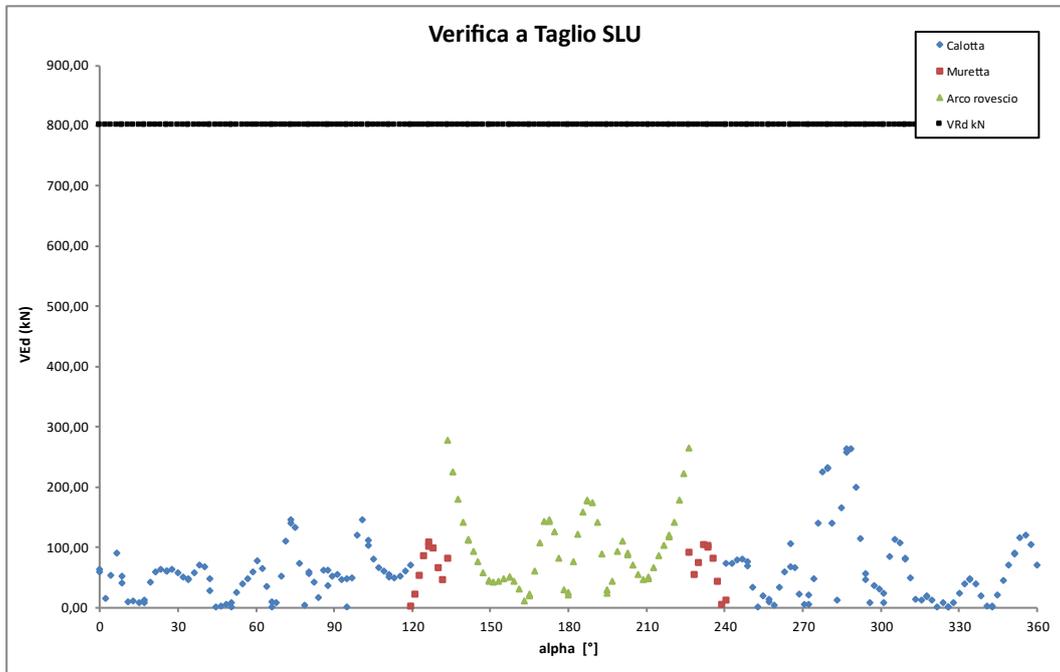


Fig. 11-114 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione IO

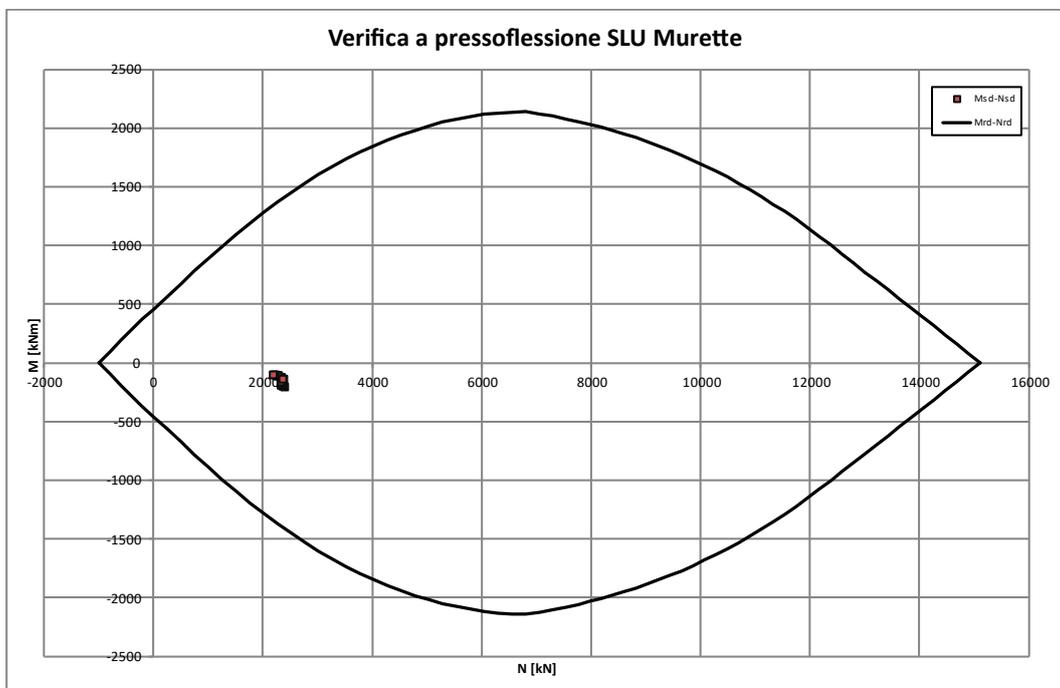


Fig. 11-115 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione IO

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 174 di 285

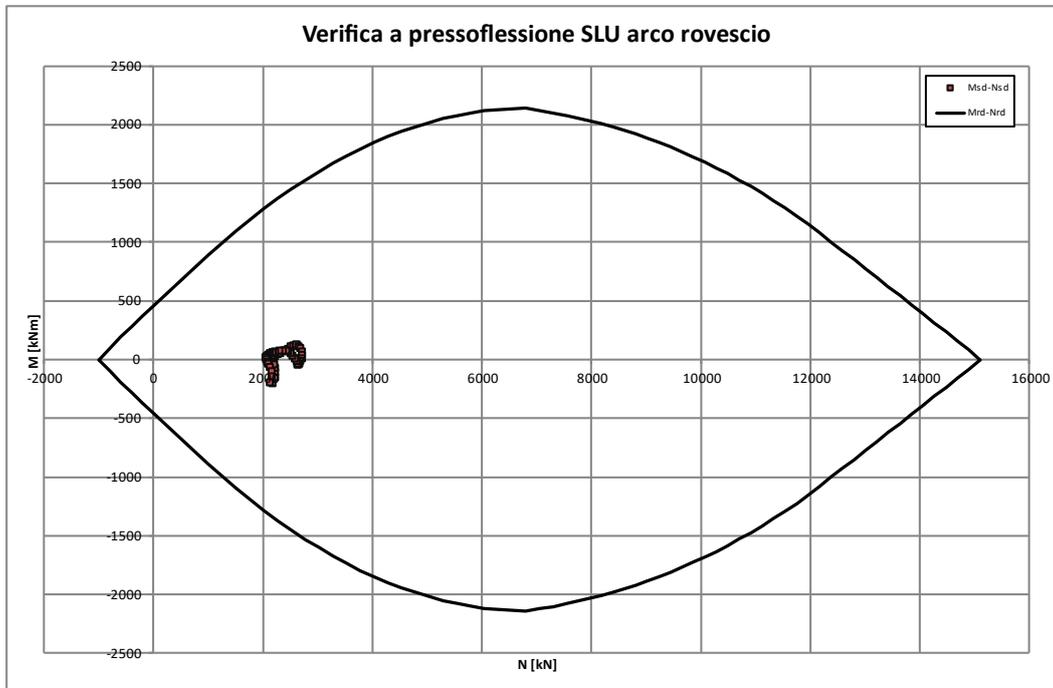


Fig. 11-116 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione IO

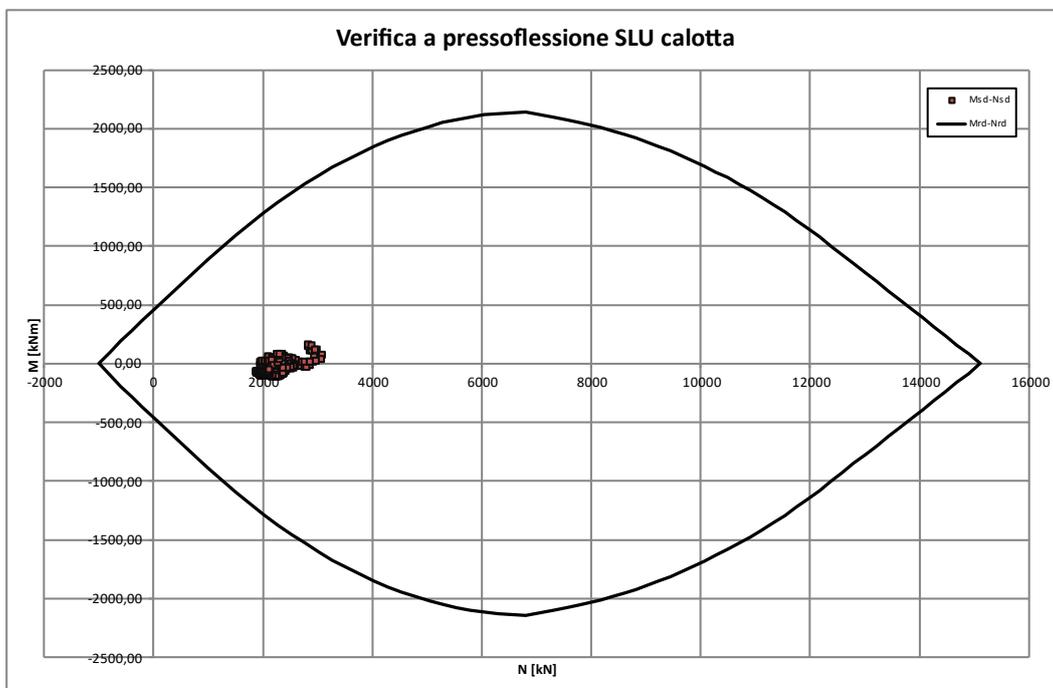


Fig. 11-117 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione IO

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 175 di 285

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  $\alpha$ .

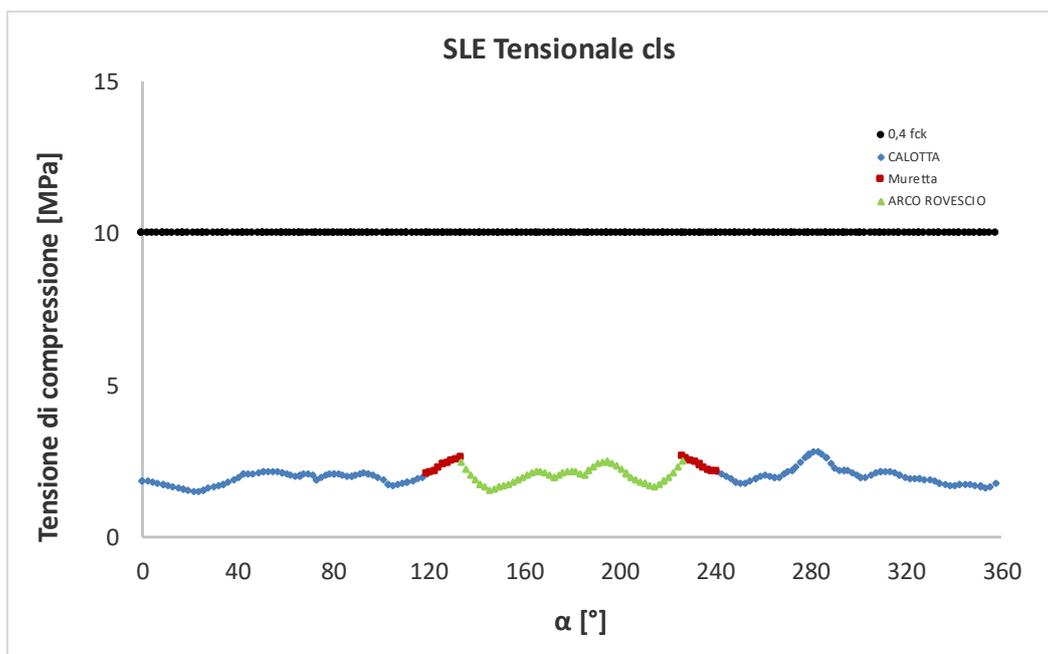


Fig. 11-118 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione I0

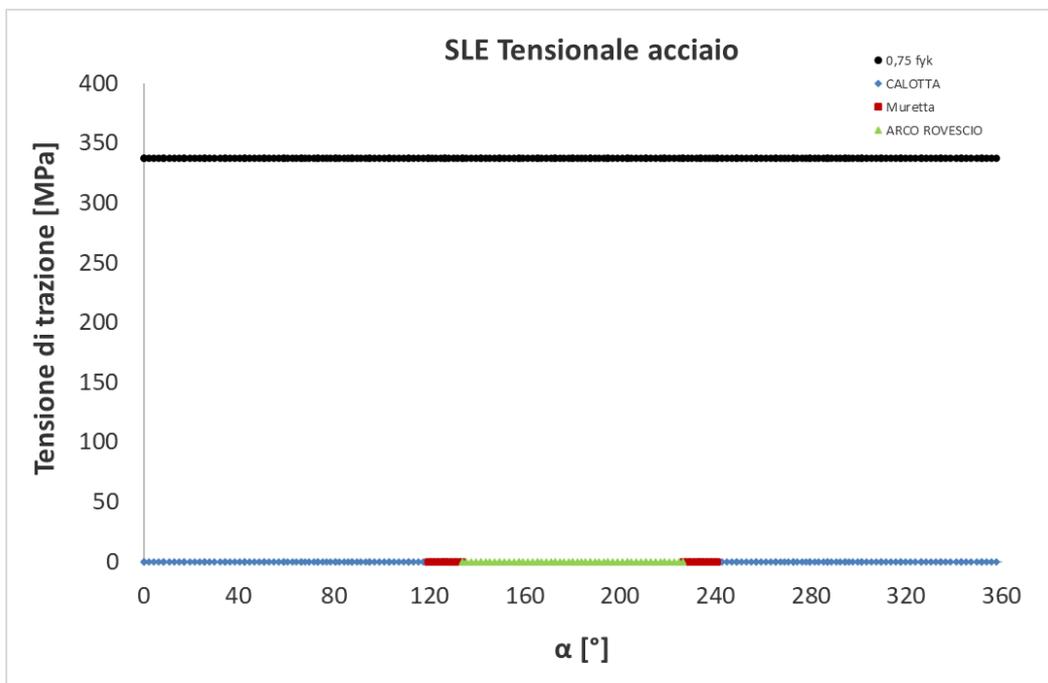


Fig. 11-119 – Verifica tensioni acciaio – Sezione I0

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 176 di 285

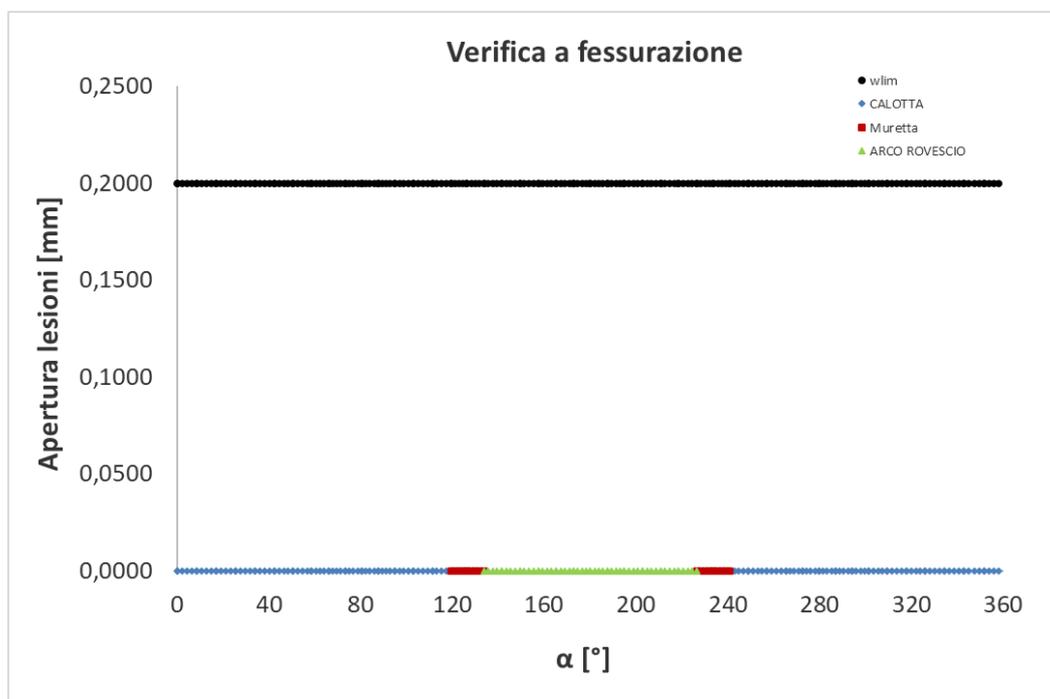


Fig. 11-120 – Verifica a fessurazione – Sezione I0

### 11.11.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione I0 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
12+13 barre $\Phi 24$	51	6	1	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 117.7 \cdot 1.3 = 152.5 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 6 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 210.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d \cdot 3.$$

Con **FS=1.38**

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	177 di 285

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=1.16**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	178 di 285

## 11.12 SEZIONE I1

### 11.12.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo I1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\phi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
I1	5.2	4.5	599.0	16.17	27	1914	30.8	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math> : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\phi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-48 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione I1.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
I1 – Settore 1	6.22	0.09	6.45	1.24	A	A	B
I1 – Settore 2	5.35	0.12	5.59	1.24	A	A	B

Tabella 11-49 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo I1.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 179 di 285

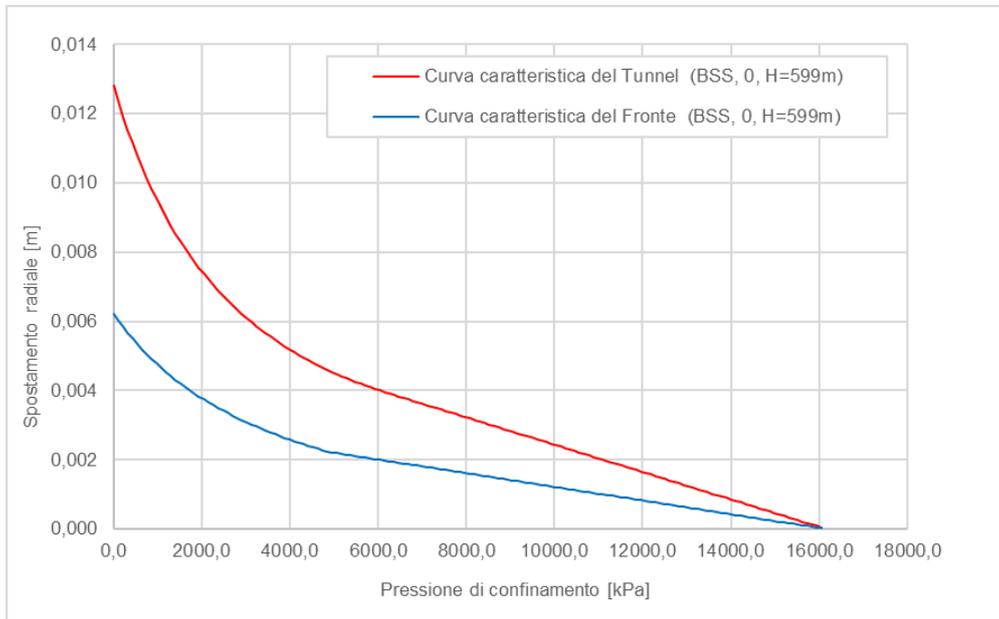


Figura 11-121 – Curve caratteristiche settore 1– Sezione I1

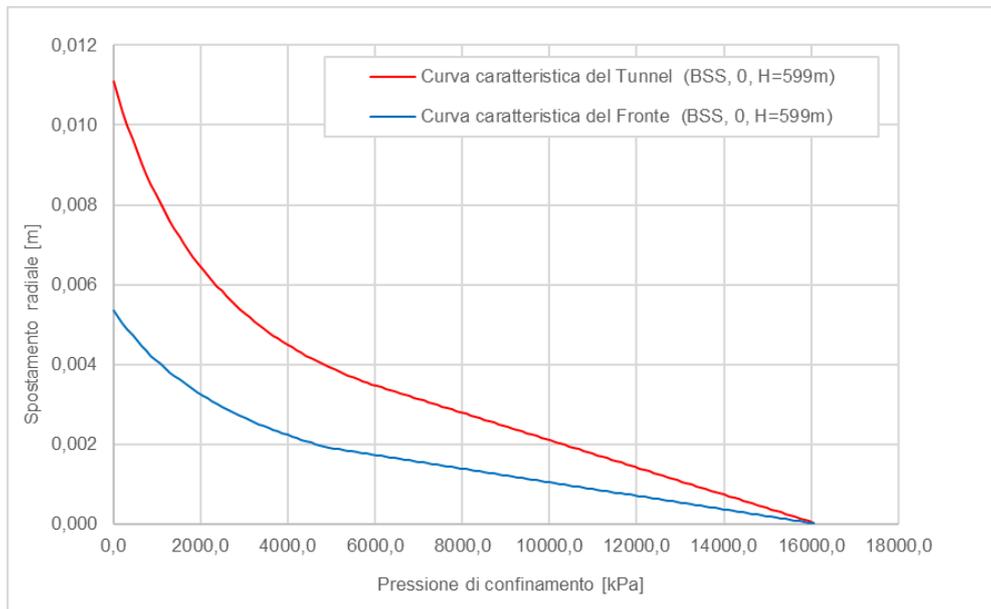


Figura 11-122 – Curve caratteristiche settore 1– Sezione I1

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	180 di 285

### 11.12.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione I1. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone I1	BSSa	599	Terreno naturale	27	2392	36.7	17056
	BSSa (D=0.1)	599	Terreno naturale	27	2308	36.2	15388
	BSSa (D=0.2)	599	Terreno naturale	27	2221	35.6	13792

Tabella 11-50: Sezione I1– Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna adiacente scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

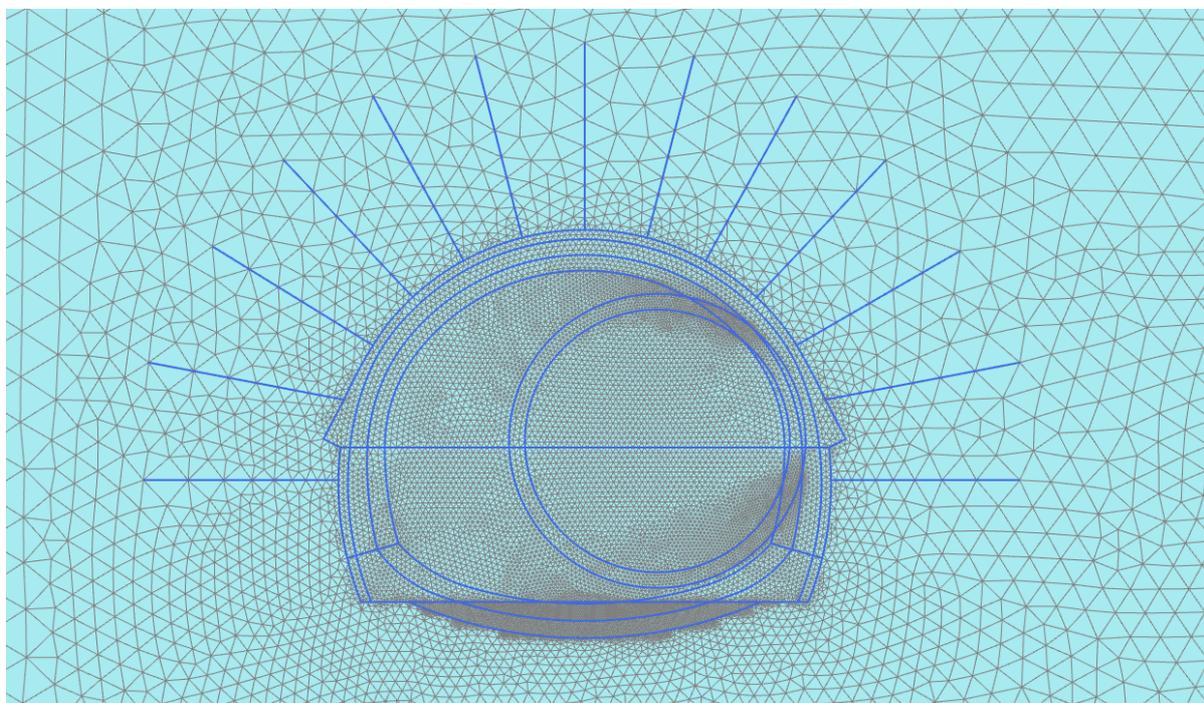


Figura 11-123– Particolare mesh– Sezione I1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	181 di 285

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.3.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	110	31476	0.2	34.62	3.49
Murette	C25/30	110	31476	0.2	34.62	3.49
Calotta e piedritti	C25/30	100	31476	0.2	31.48	2.62

Tabella 11-51 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della Sezione I1

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di deconfinamento applicati al modello.

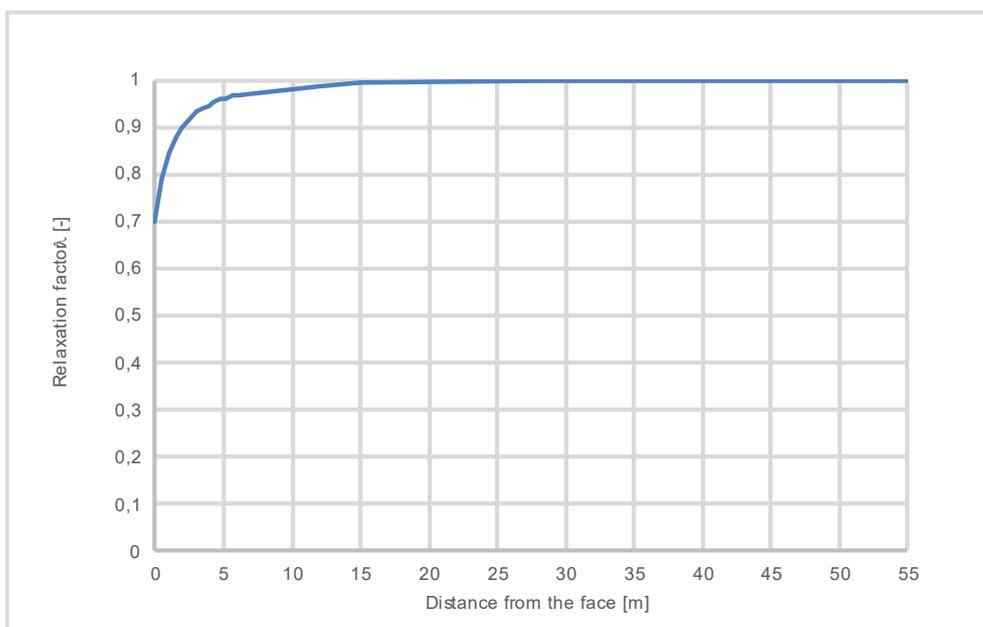


Figura 11-124– Curva di rilascio calotta – Sezione I1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	182 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

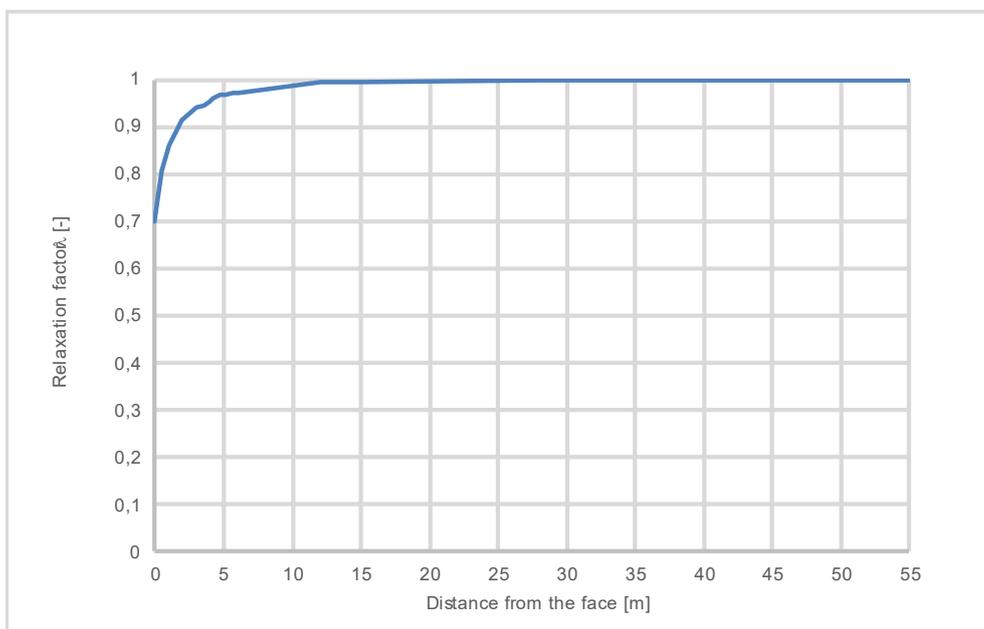


Figura 11-125– Curva di rilascio scavo strozzo– Sezione I3

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

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [%]
0.	Litostatico	-
1	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Scavo calotta del camerone-apertura del fronte (x=0m)	69.80
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	84.56
6	<b>Completamento dello scavo della calotta e attivazione bulloni radiali</b>	100
7.	Scavo dello strozzo (apertura del fronte) (x=0m) e installazione rivestimento provvisorio in calotta mezza maturazione	69.80
8.	Scavo dello strozzo per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	85.90
9.	Scavo dello strozzo per 6 m di avanzamento e inserimento dei bulloni radiali e attivazione provvisorio mezza maturazione (x=6m)	97.31
10.	Scavo dello strozzo per 15 m di avanzamento e maturazione completa provvisorio (di calotta e strozzo) (x=15m)	99.33

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	183 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [%]
11	Completamento dello scavo dello strozzo per tutto il camerone e scavo dell'arco rovescio (rilascio 100%)	100
12.	Posa in opera dell'arco rovescio e delle murette	100
13	Degradazione dell'ammasso roccioso: D=0.1 per ipotizzare che per almeno 5 anni il camerone sarà sostenuto dal solo pre – rivestimento costituito da spritz e centine e dall'arco rovescio	100
14.	Posa in opera della calotta	100
15	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine) e degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.2)	100

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3m dal fronte*

*Tabella 11-52– Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la l1*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 11-172, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 14715 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (599m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 54m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 184 di 285

### 11.12.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

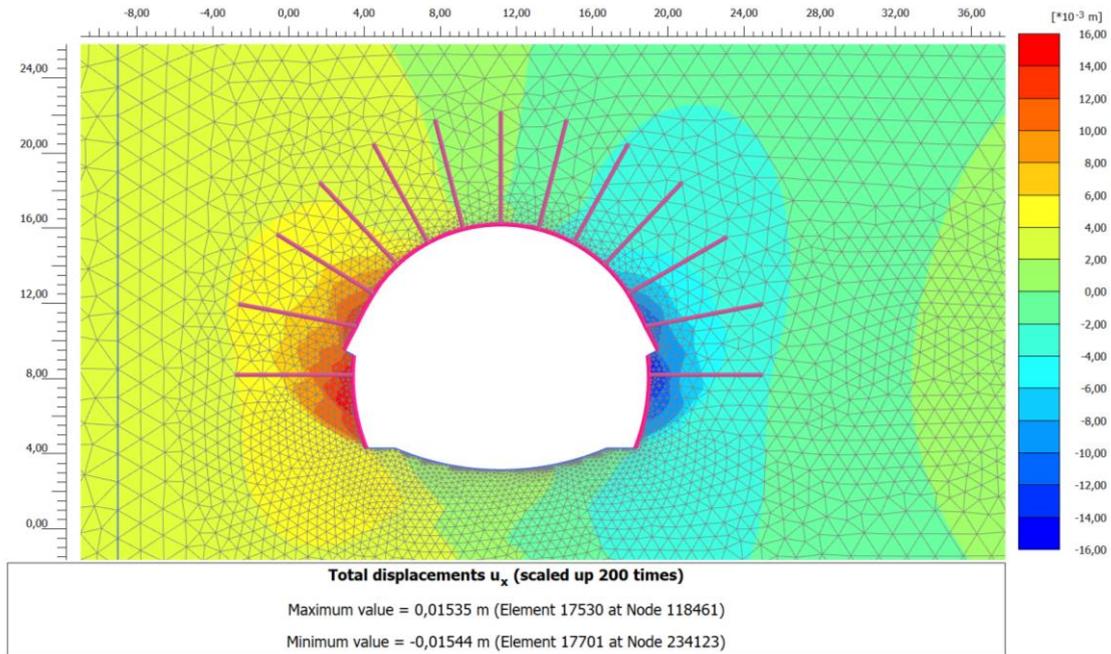


Figura 11-126: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo I1. (fase 11)

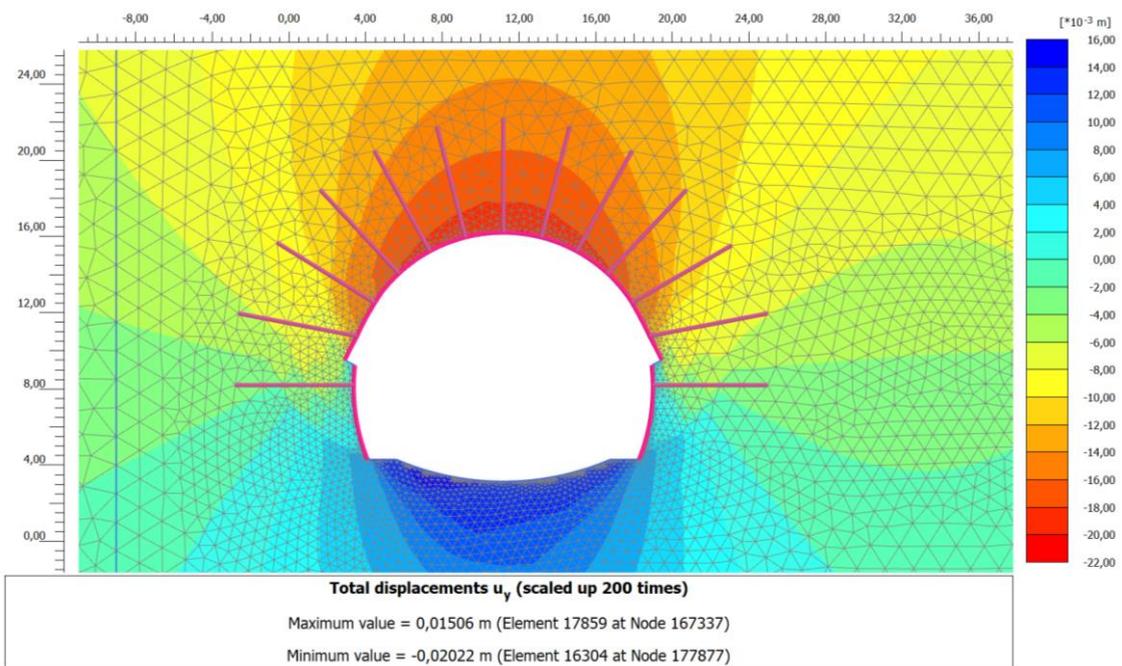


Figura 11-127: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo I1. (fase 11)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 185 di 285

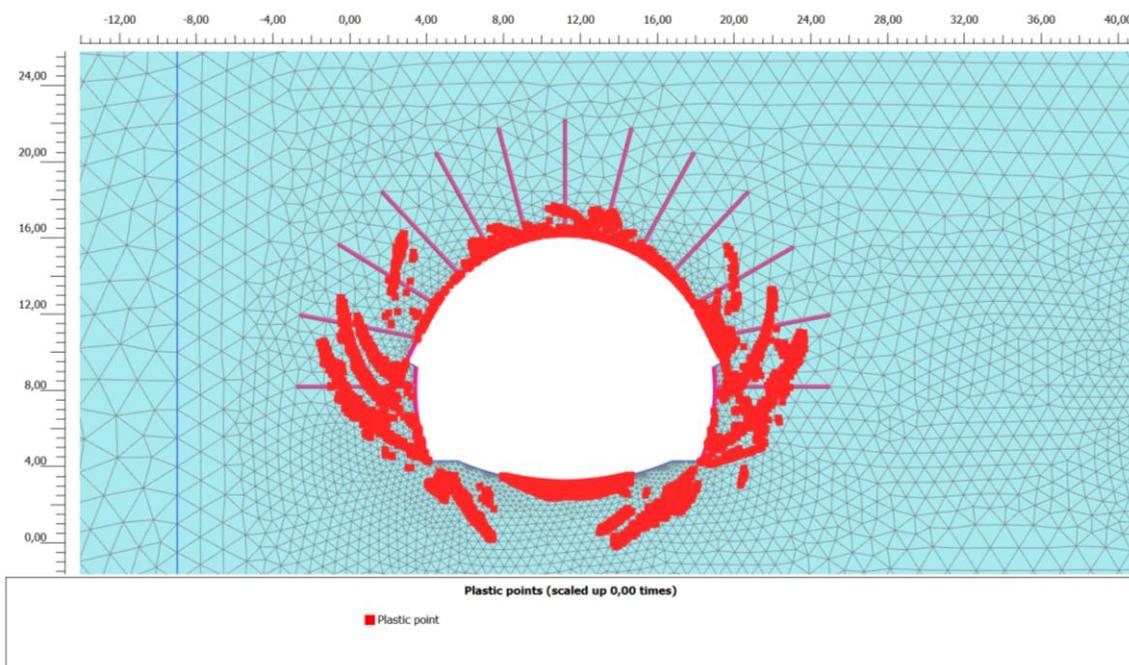


Figura 11-128: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo I1. (fase 11)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

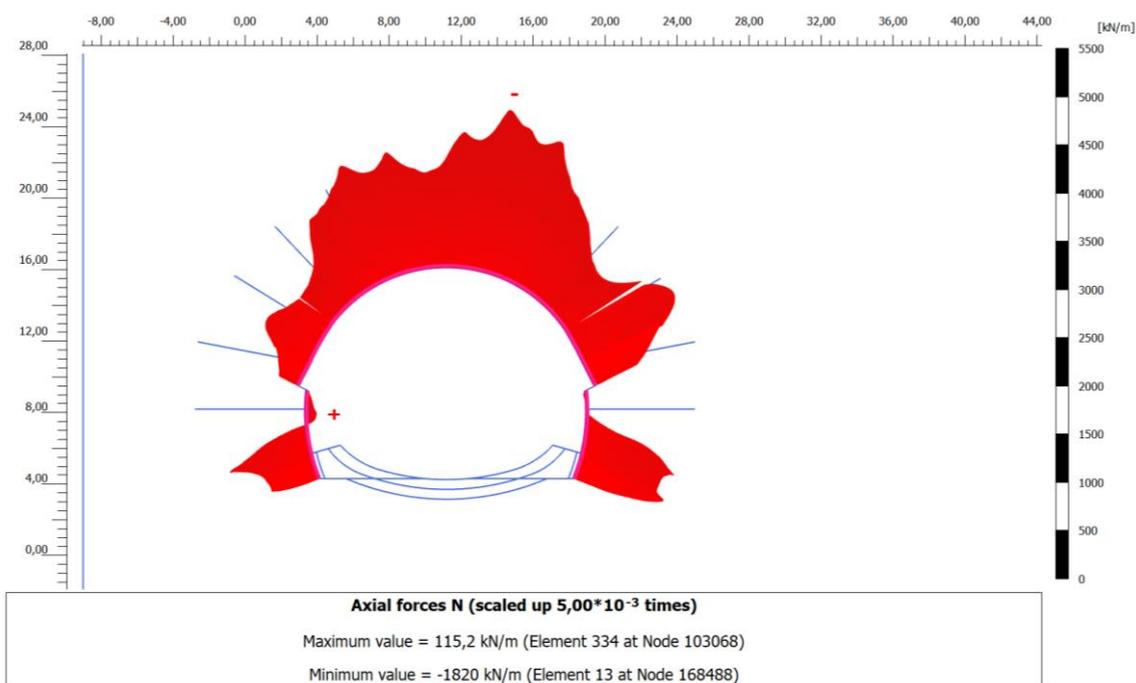


Figura 11-129 – Sezione Tipo I1. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 13)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 186 di 285

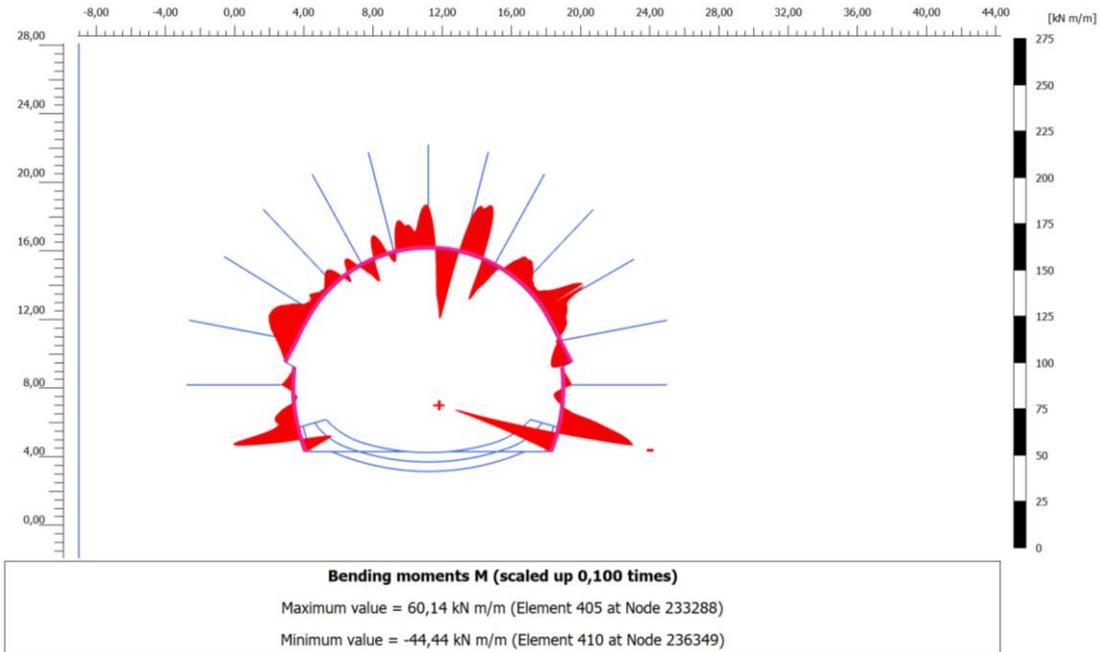


Figura 11-130 – Sezione Tipo I3. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 13)

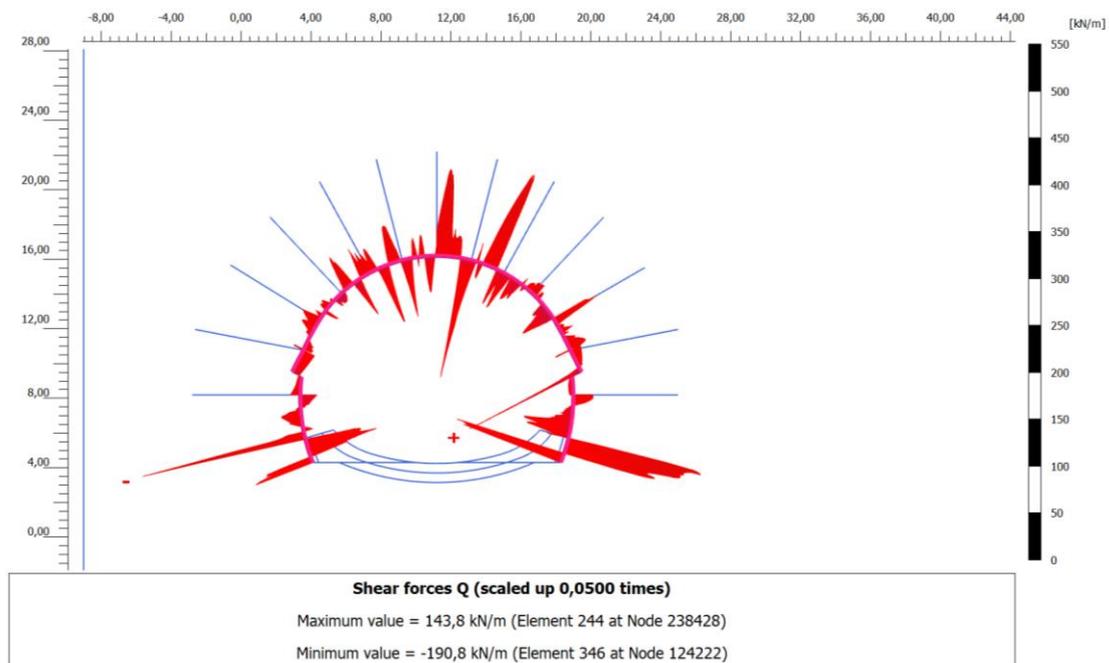


Figura 11-131 - Sezione Tipo I3. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 13)

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				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 187 di 285

### Rivestimento definitivo:

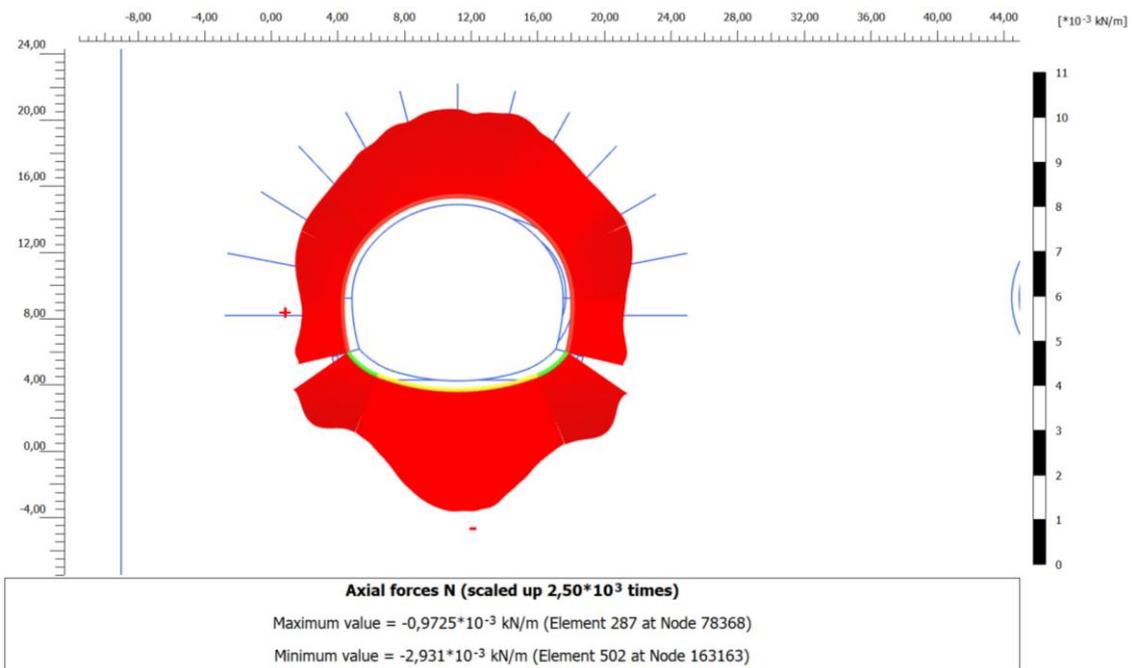


Figura 11-132 – Sezione Tipo I3. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 15)

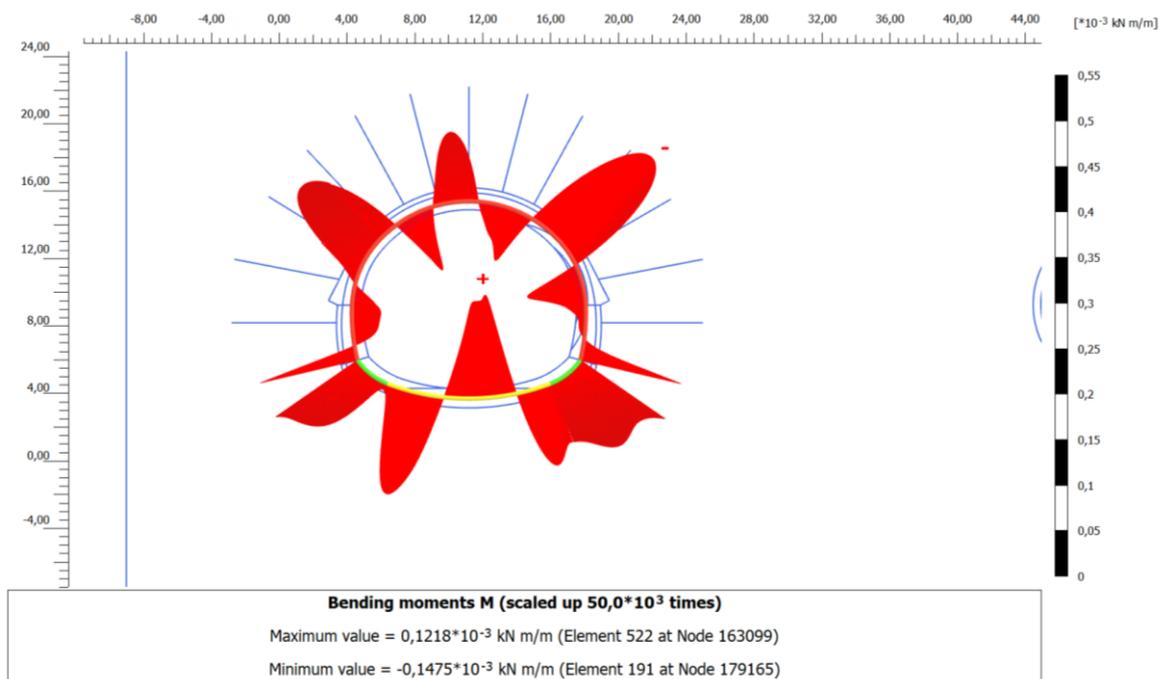


Figura 11-133 – Sezione Tipo I3. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 188 di 285

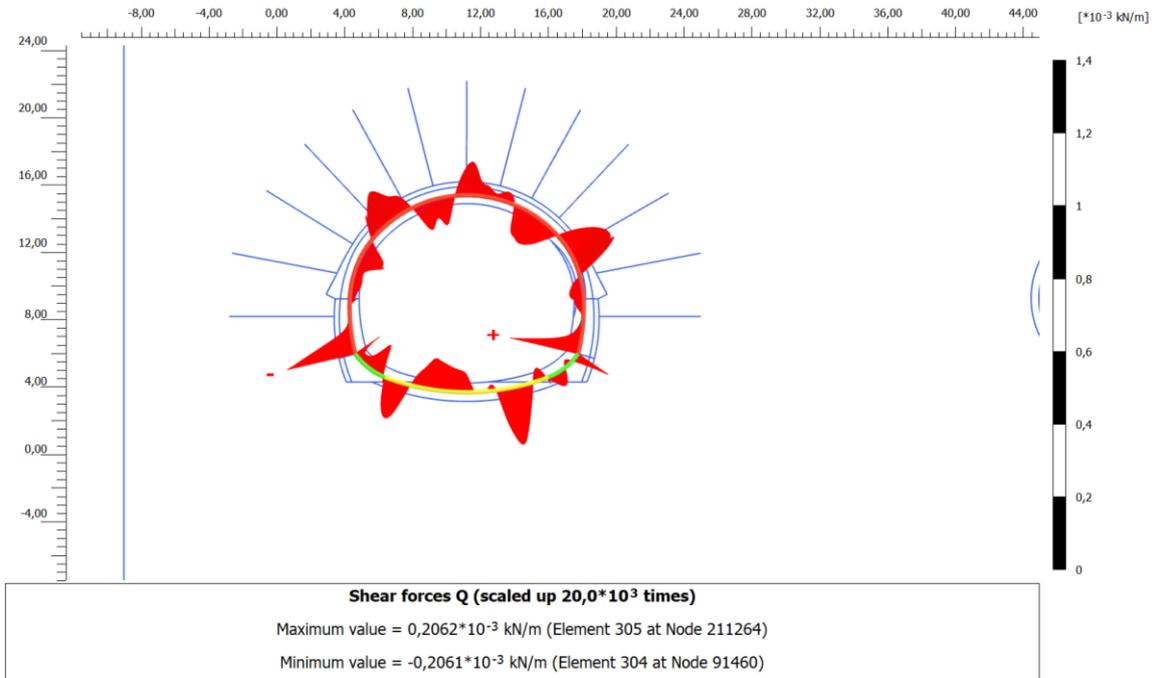


Figura 11-134 – Sezione Tipo I3. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 15)

**Bulloni radiali:**

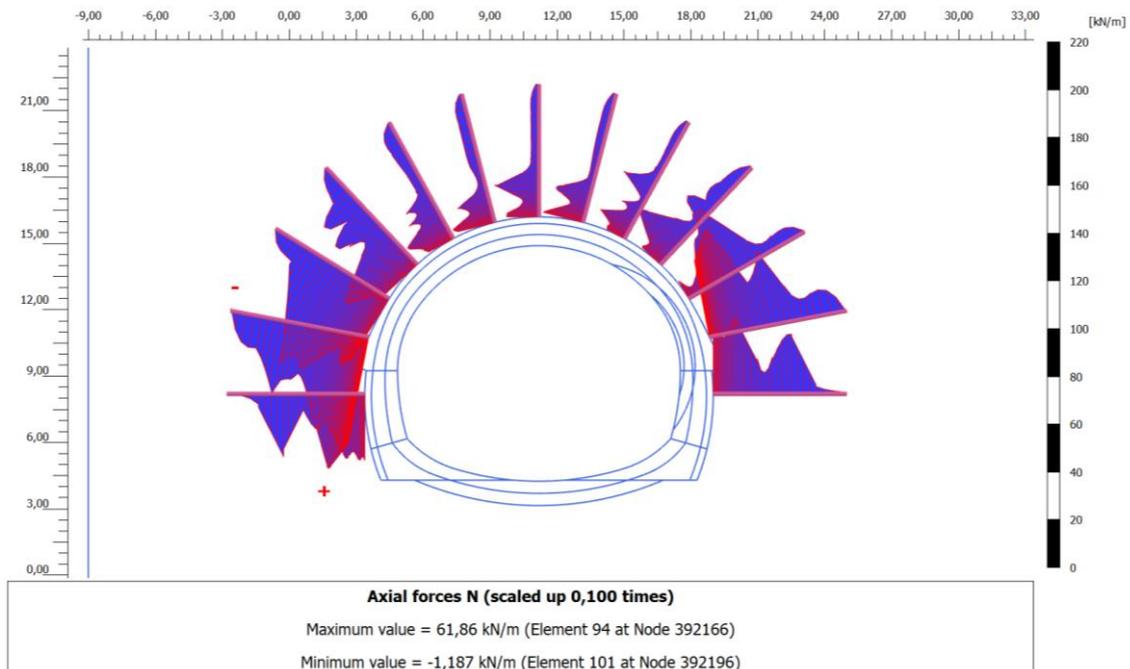


Figura 11-135– Sezione Tipo I3. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	189 di 285	

### 11.12.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.12.3.1. 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 (fase 13).

Il rivestimento di prima fase della sezione I1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB200 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

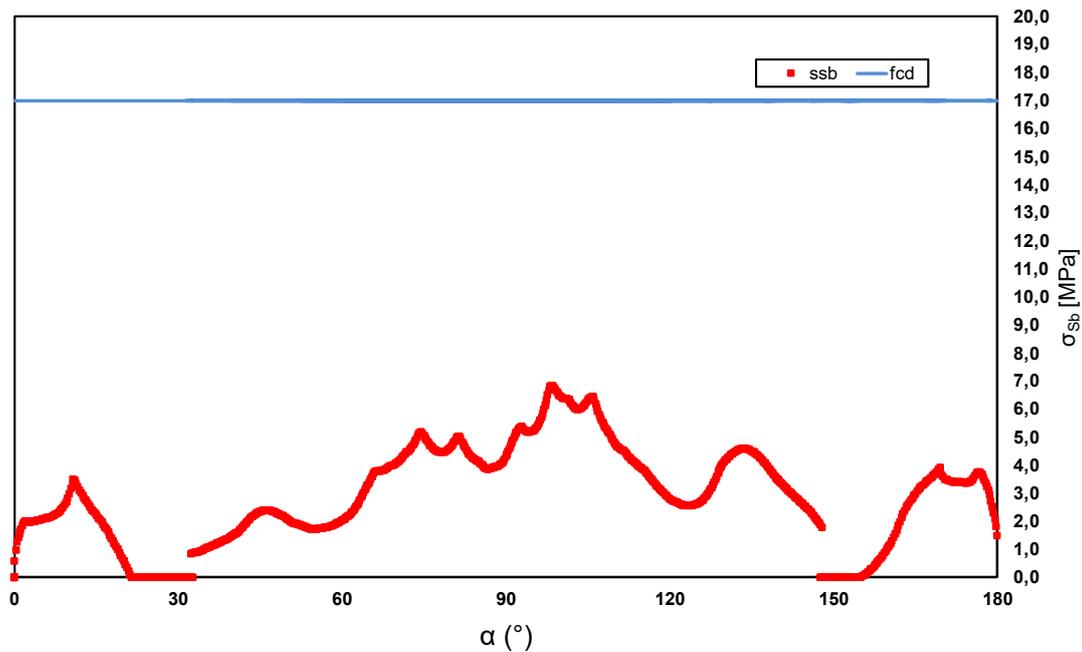


Figura 11-136: Verifica SLU per lo spritz-beton – – Sezione I1

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 190 di 285

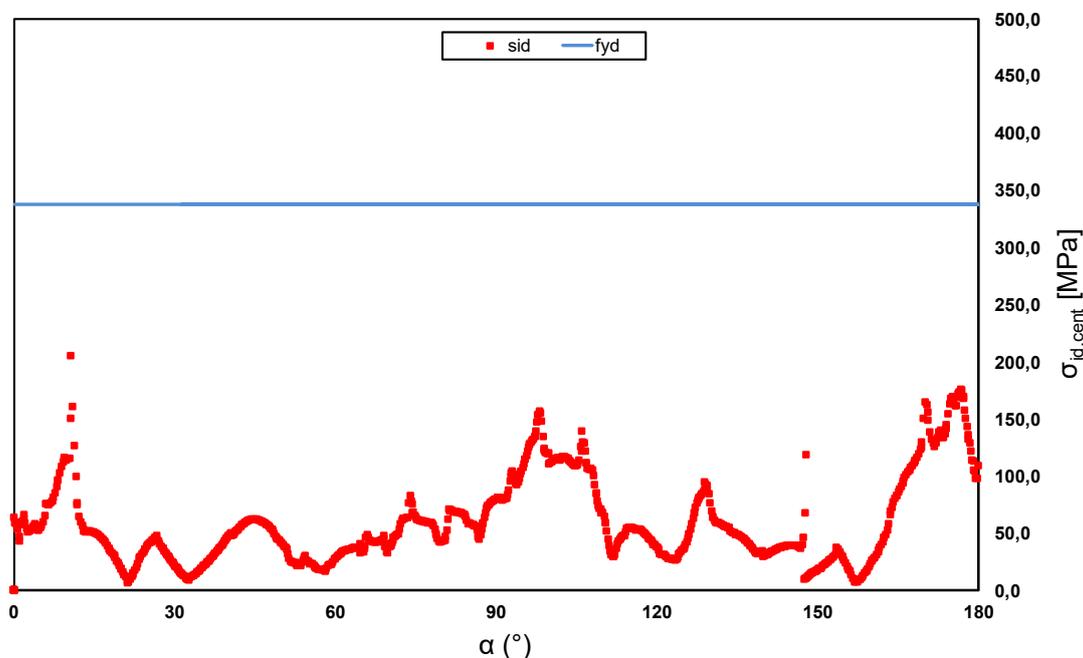


Figura 11-137: Verifica SLU per le centine -- Sezione 11

### 11.12.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1.0 m	Φ18/20	Φ18/20	Φ10/20x30	391.3
Murette	25/30	14.1	1.1 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x30	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1.1 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x30	391.3

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  $\alpha$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	191 di 285

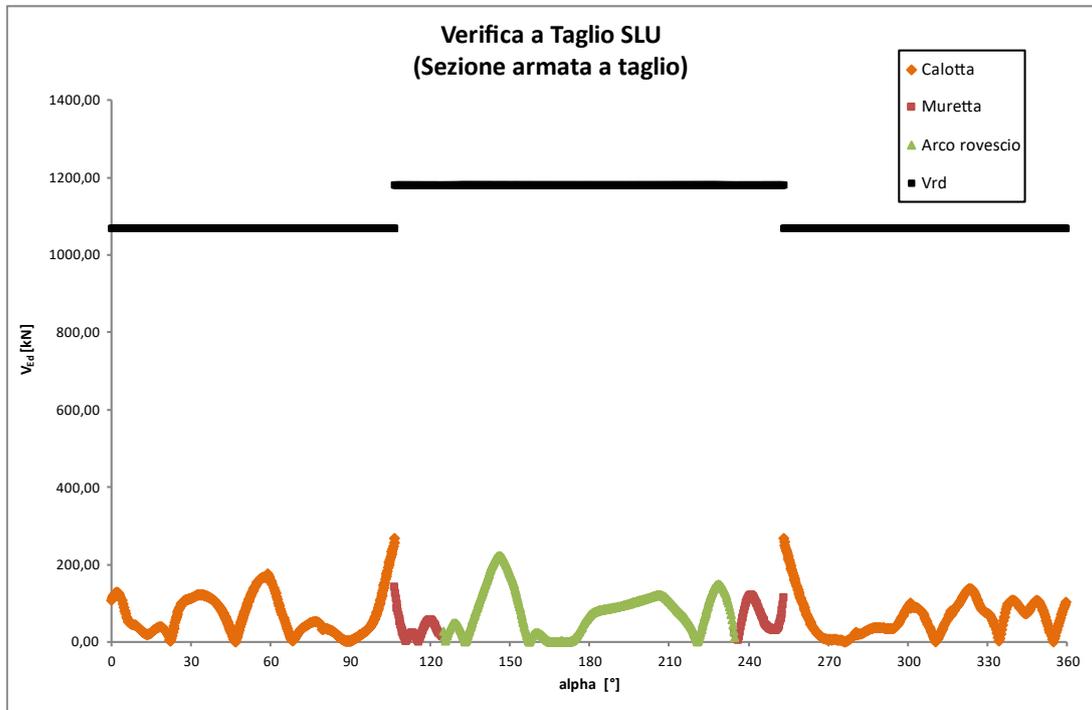


Figura 11-138 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione I1

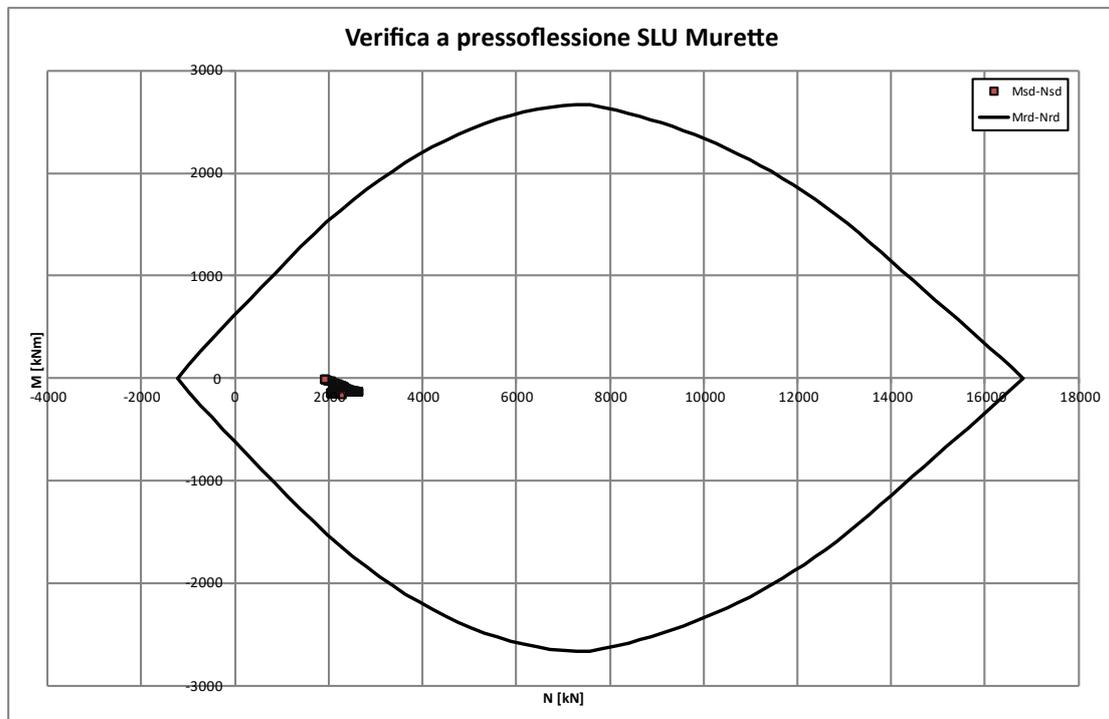


Figura 11-139 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione I1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 192 di 285

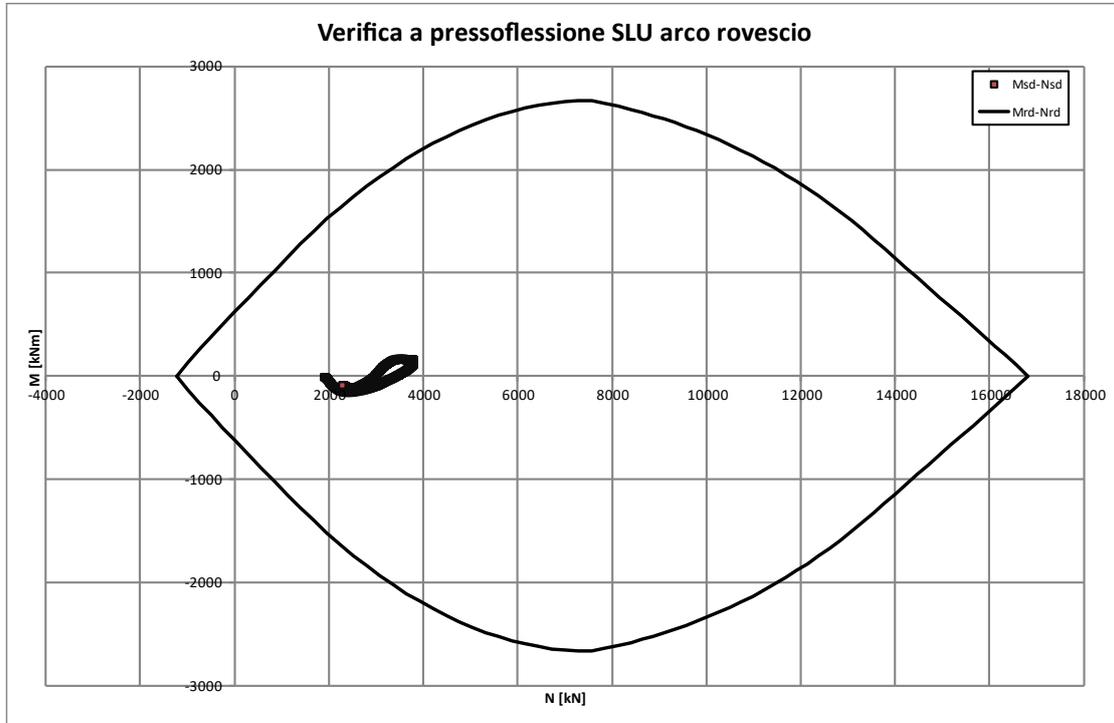


Figura 11-140 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione I1

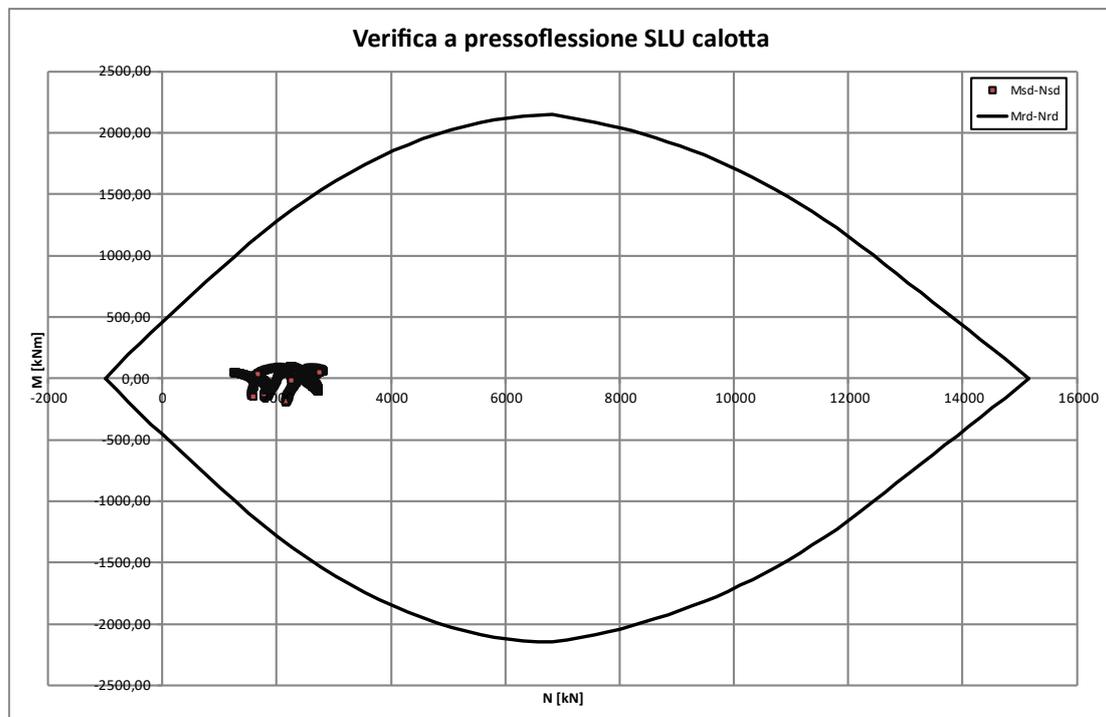


Figura 11-141 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione I1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C FOGLIO. 193 di 285

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  $\alpha$ .

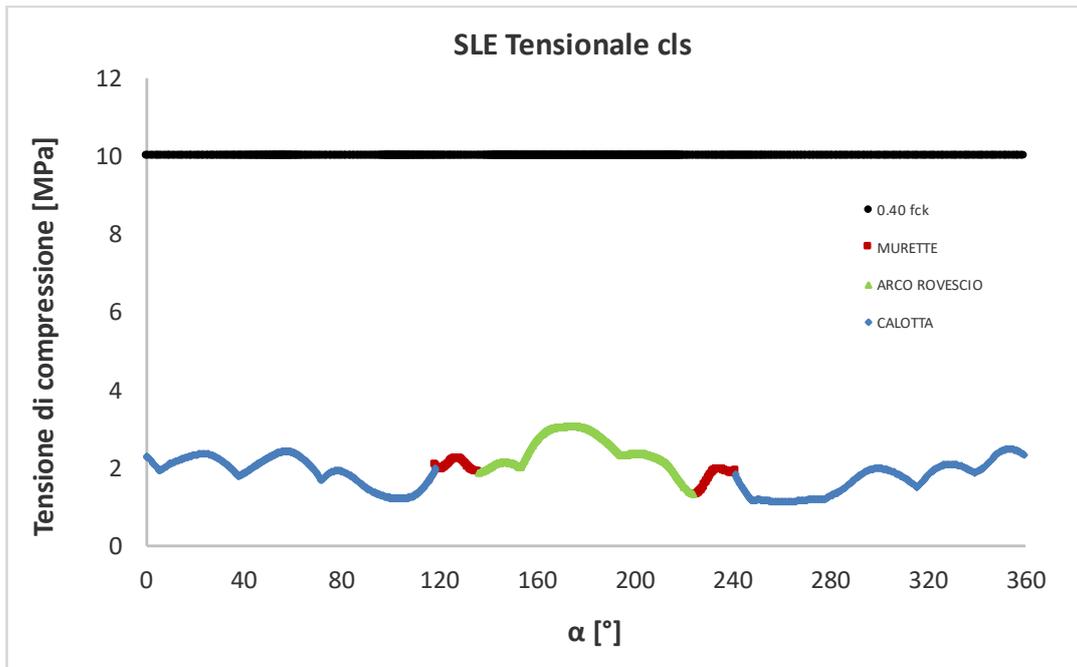
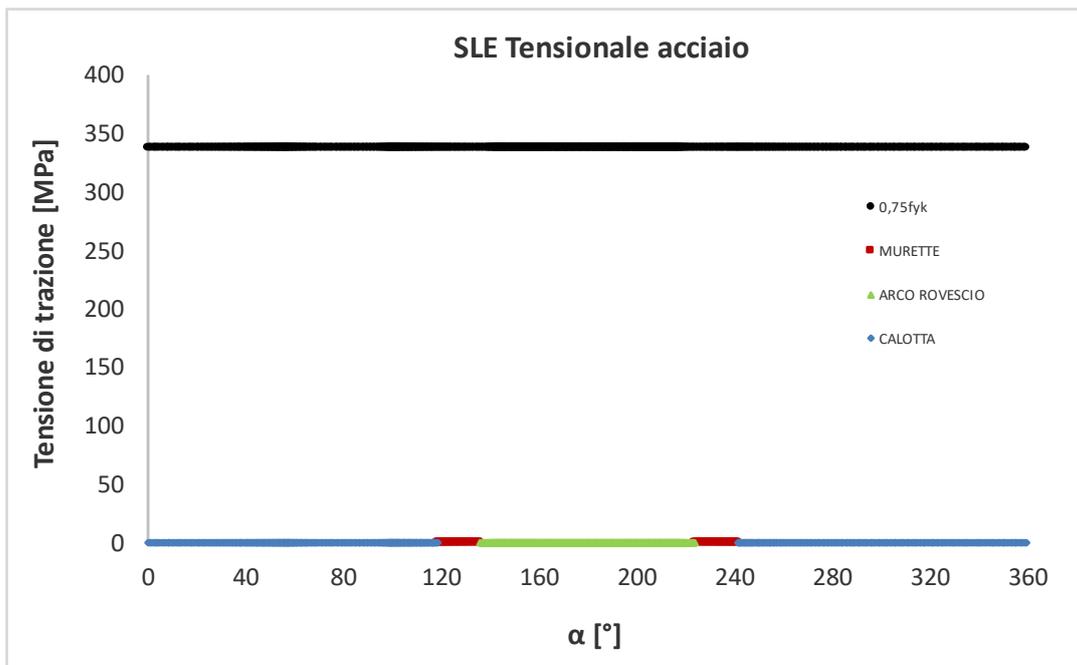


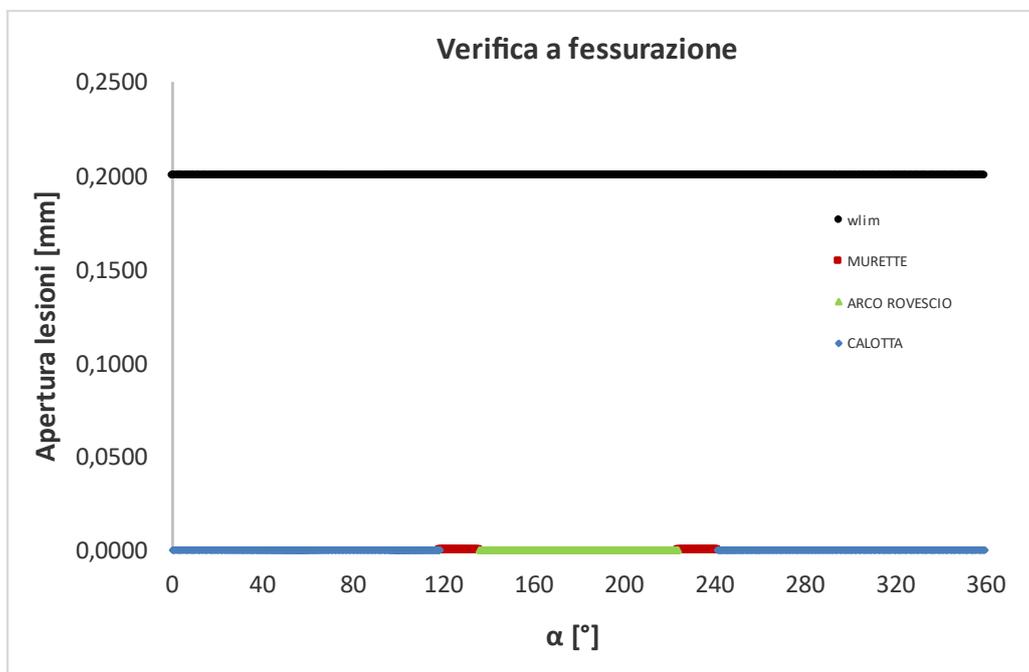
Figura 11-142 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione I1



Figura

11-143 – Verifica tensioni acciaio – Sezione I1

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	194 di 285



Figura

11-144 – Verifica a fessurazione – Sezione I1

### 11.12.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione I1 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
13+14 barre $\Phi 24$	51	6	1	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 61 \cdot 1.3 = 79.3 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 6 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 210.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=2.65**

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
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>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0200002</td> <td>C</td> <td>195 di 285</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	195 di 285													
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale																		

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=2.23**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	196 di 285

## 11.13 SEZIONE I2

### 11.13.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo I2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
I2	6.3	5.4	600	16.20	27	1914	30.8	17056
H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria $S_m$ : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria $\gamma$ : peso dell'unità di volume dell'ammasso $c'_d$ : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso $\varphi'_d$ : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso $E_d$ : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso								

Tabella 11-53 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione I2.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
I2 – Settore 1	7.5	0.12	7.81	1.24	A	A	B
I2 – Settore 2	6.4	0.12	6.67	1.24	A	A	B

Tabella 11-54 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo I2- Settore1.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 197 di 285

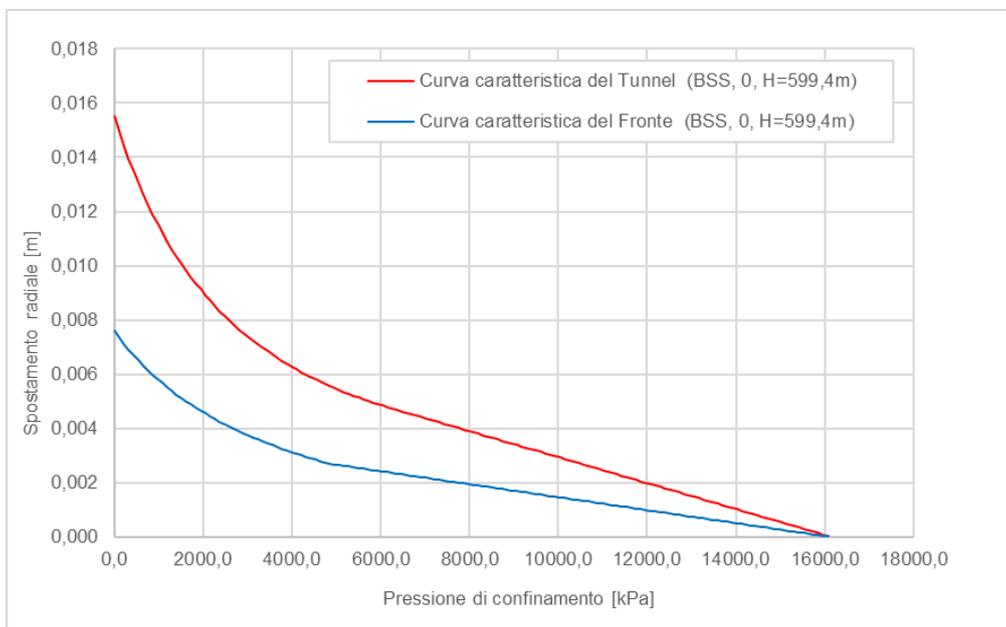


Figura 11-145 – Curve caratteristiche settore 1– Sezione I2

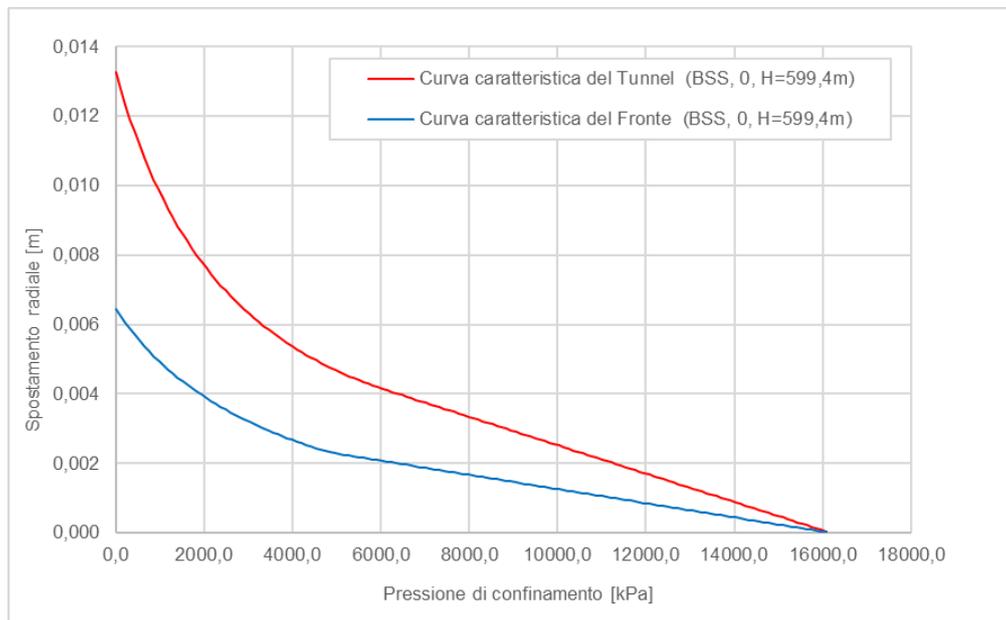


Figura 11-146 – Curve caratteristiche settore 2– Sezione I2

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	198 di 285

### 11.13.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione I2. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone I2	BSSa	599.4	Terreno naturale	27	2393	36.7	17056
	BSSa (D=0.1)	599.4	Terreno naturale	27	2309	36.2	15388
	BSSa (D=0.2)	599.4	Terreno naturale	27	2222	35.6	13792

Tabella 11-55: Sezione I2– Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

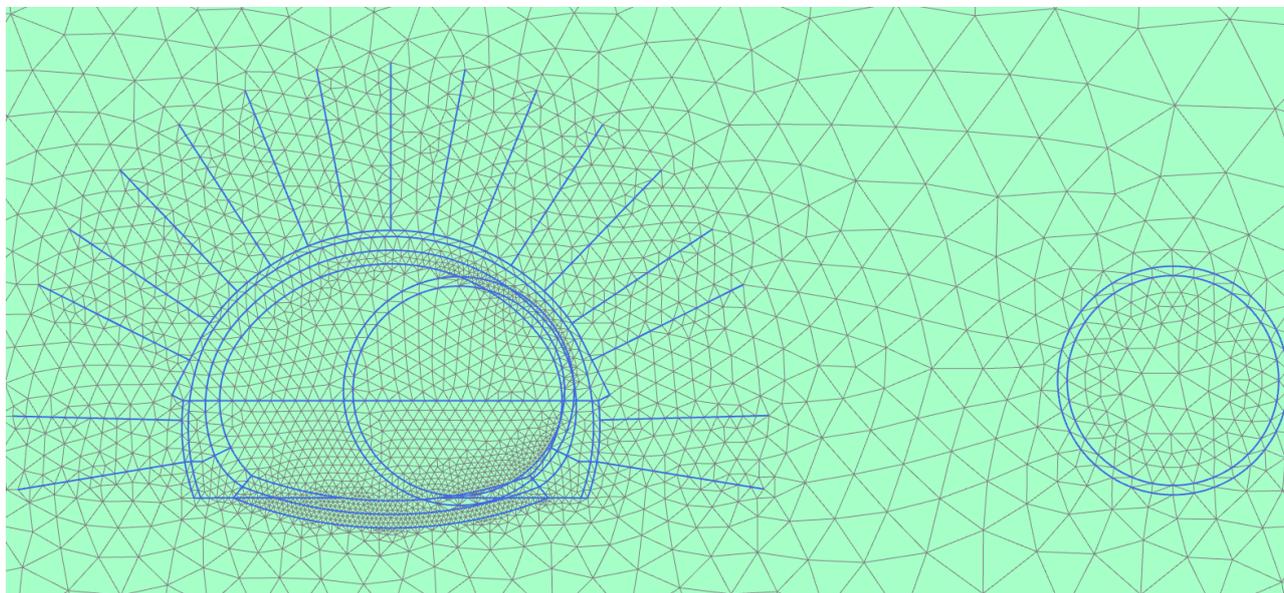


Figura 11-147 -11-148– Particolare mesh– Sezione I2

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.4.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	199 di 285

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	130	33000	0.2	42.9	6.0
Murette	C25/30	130	33000	0.2	42.9	6.0
Calotta e piedritti	C25/30	130	33000	0.2	42.9	6.0

Tabella 11-56 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della Sezione I2

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di deconfinamento applicati al modello.

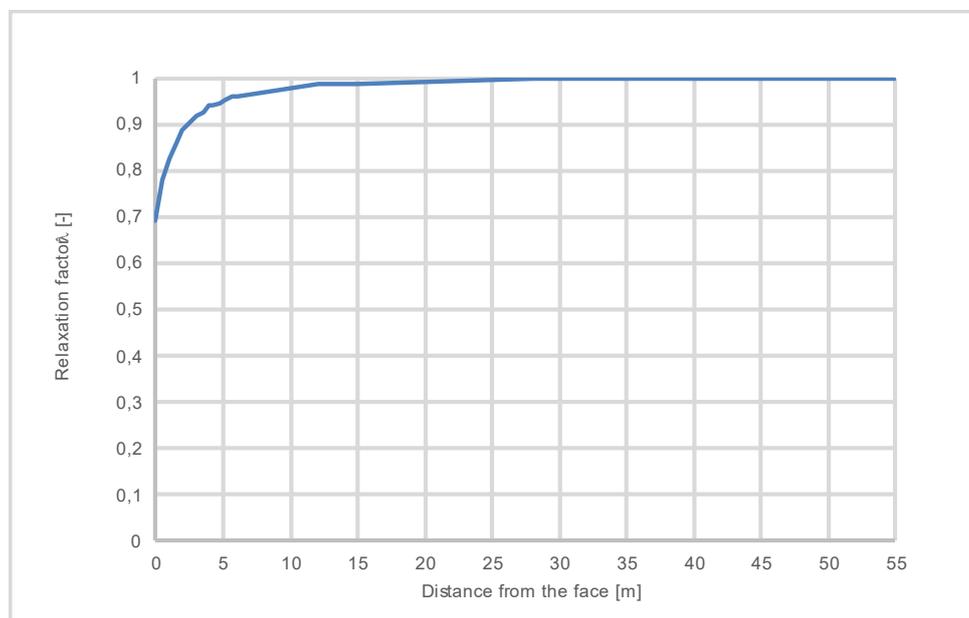


Figura 11-149– Curva di rilascio calotta – Sezione I2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 200 di 285	

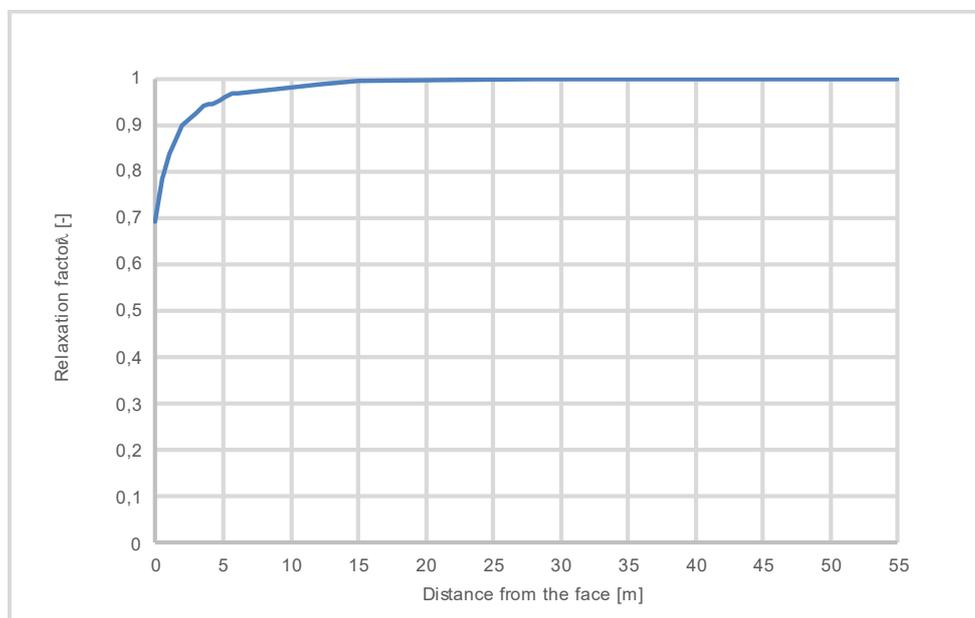


Figura 11-150– Curva di rilascio scavo strozzo– Sezione I2

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

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Scavo calotta del camerone-apertura del fronte (x=0m)	69.00
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	82.50
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento (x=3m)	91.90
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100
8.	Scavo dello strozzo (apertura del fronte) (x=0m) e installazione rivestimento provvisorio in calotta mezza maturazione	69.00
9.	Scavo dello strozzo per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	83.80
10.	Inserimento dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento di prima fase, scavo strozzo per 6m di avanzamento	96.60
11	Scavo dello strozzo per 15 m di avanzamento e maturazione completa provvisorio (di calotta e strozzo) (x=15m)	99.00
12.	Completamento dello scavo dello strozzo per tutto il camerone e scavo dell'arco rovescio (rilascio 100%)	100

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	201 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
13	Posa in opera dell'arco rovescio e delle murette	100
14.	Degradazione dell'ammasso roccioso (D=0.1)	100
15	Posa in opera della calotta	100
16.	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine) e degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.2)	100

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3m dal fronte*

*Tabella 11-57– Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la I2*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 11-172, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 13500 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (547.4m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 202 di 285

### 11.13.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

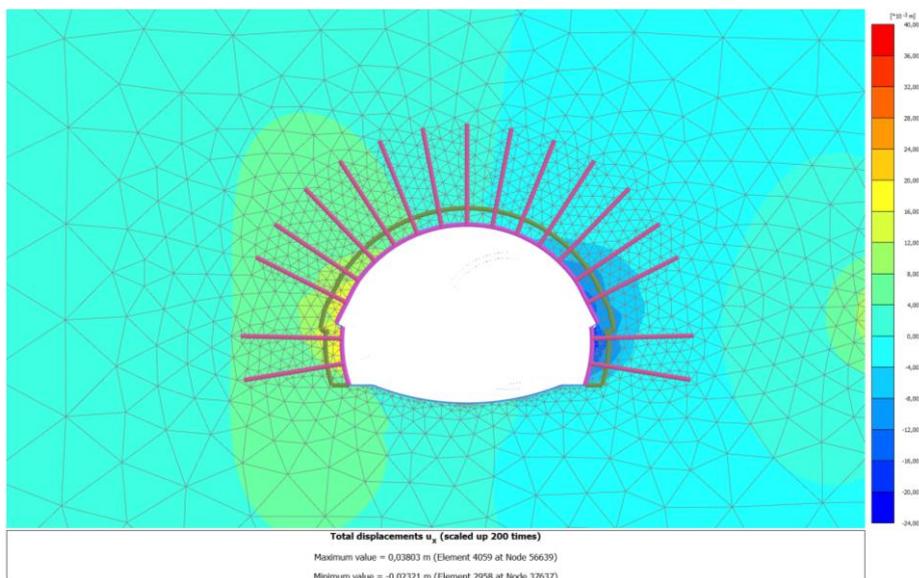


Figura 11-151: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo I2. (fase 12)

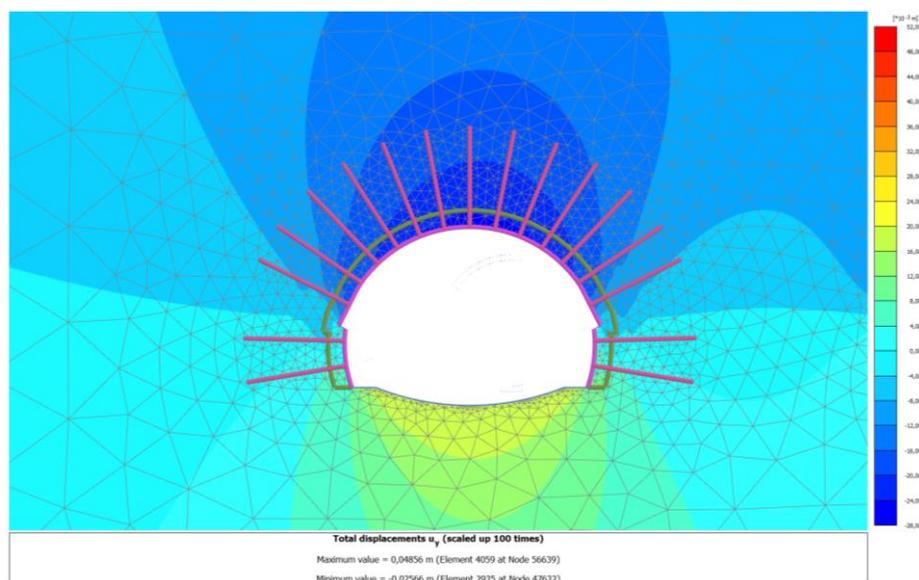


Figura 11-152: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo I2. (fase 12)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	203 di 285

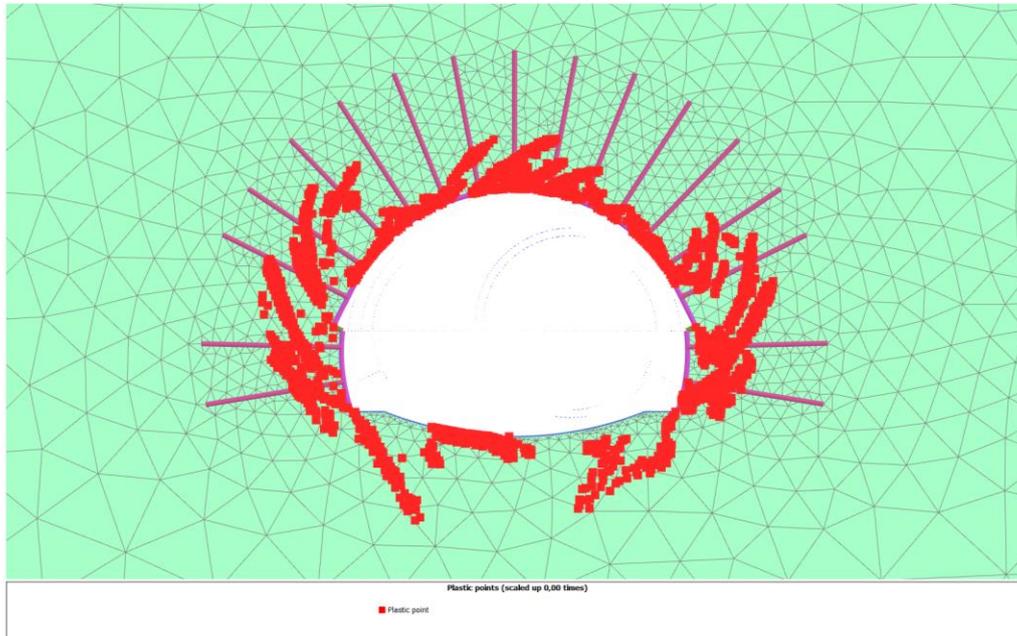


Figura 11-153: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo I2. (fase 12)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

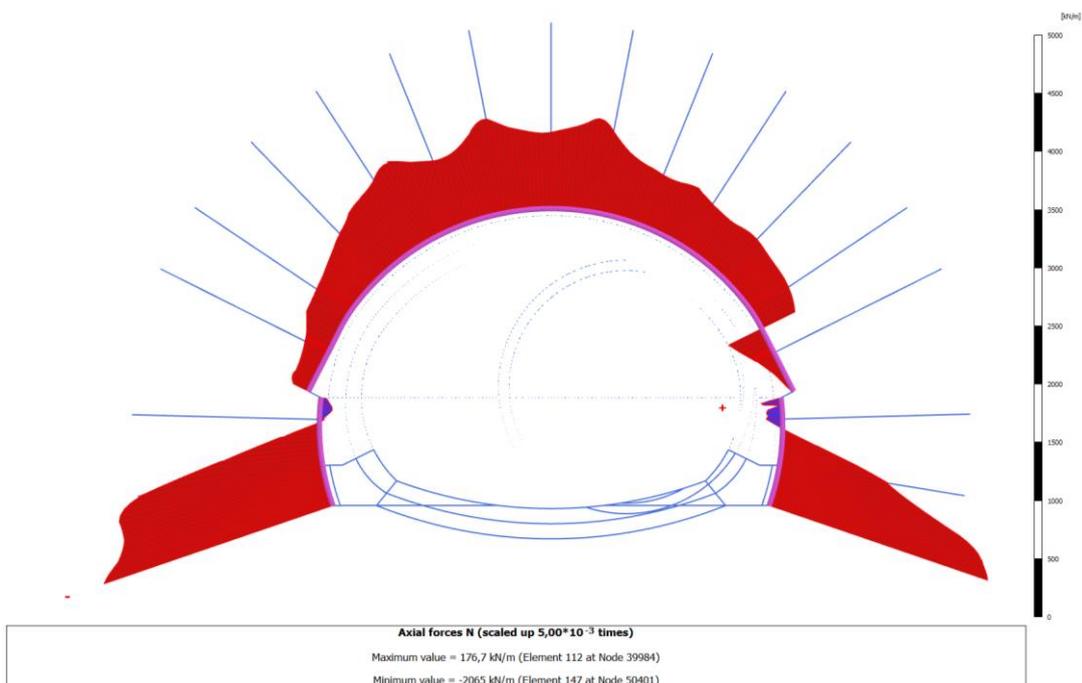


Figura 11-154 – Sezione Tipo I2. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	204 di 285

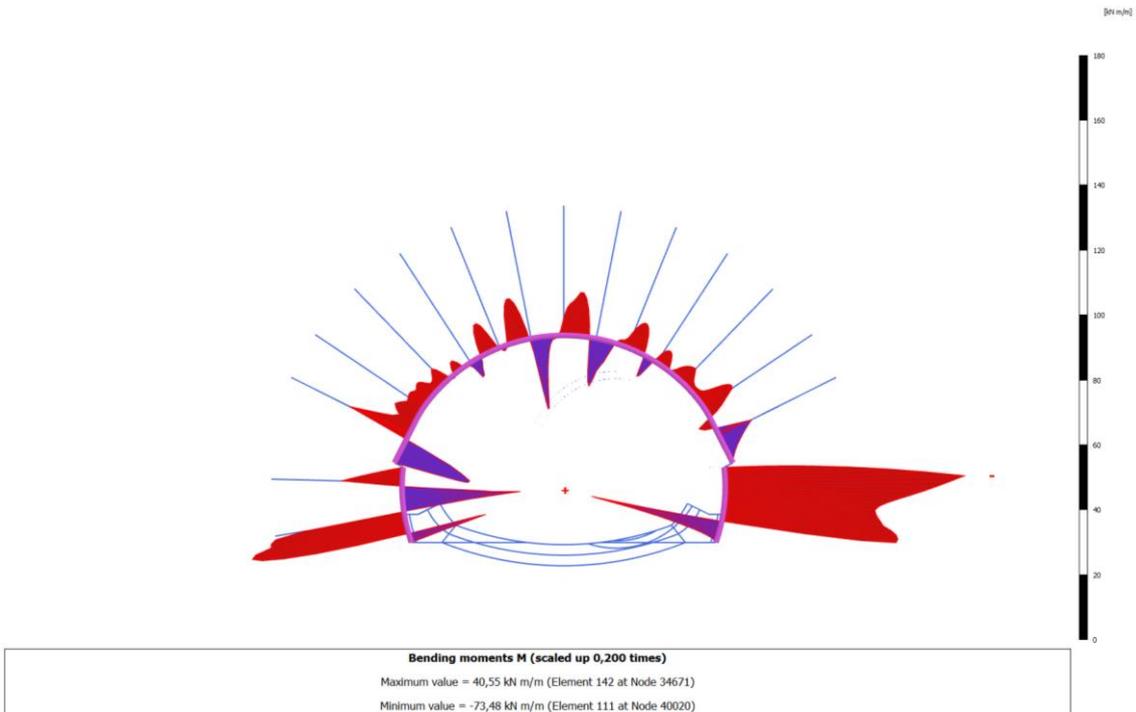


Figura 11-155 – Sezione Tipo I2. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 14)

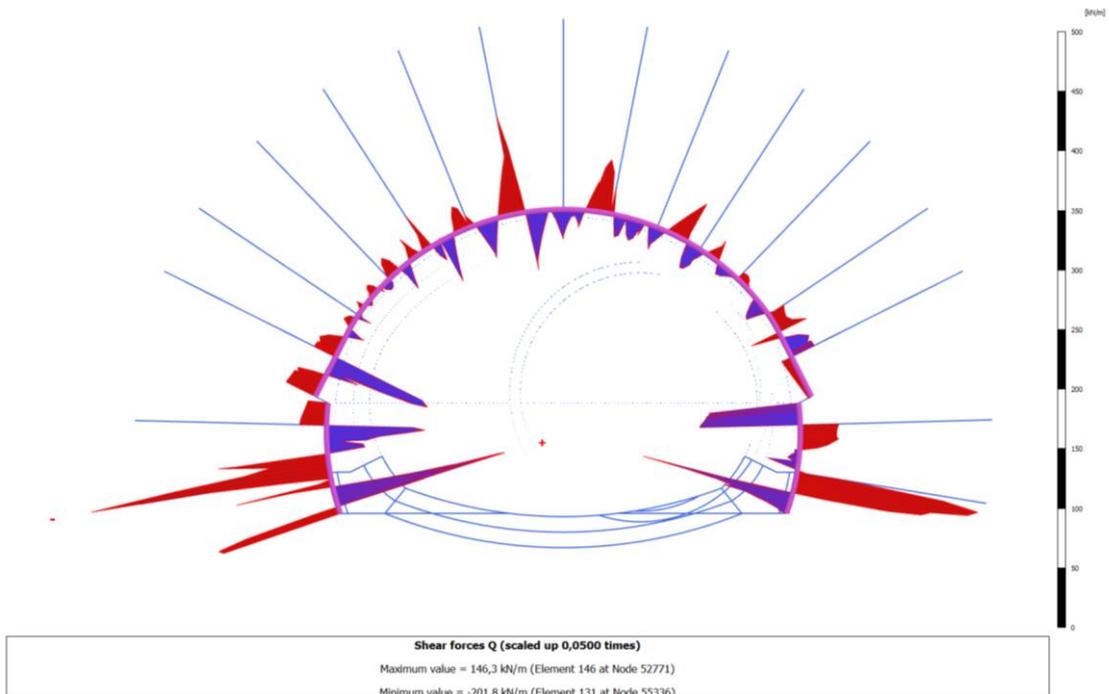


Figura 11-156 Sezione Tipo I2. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 205 di 285

**Rivestimento definitivo:**

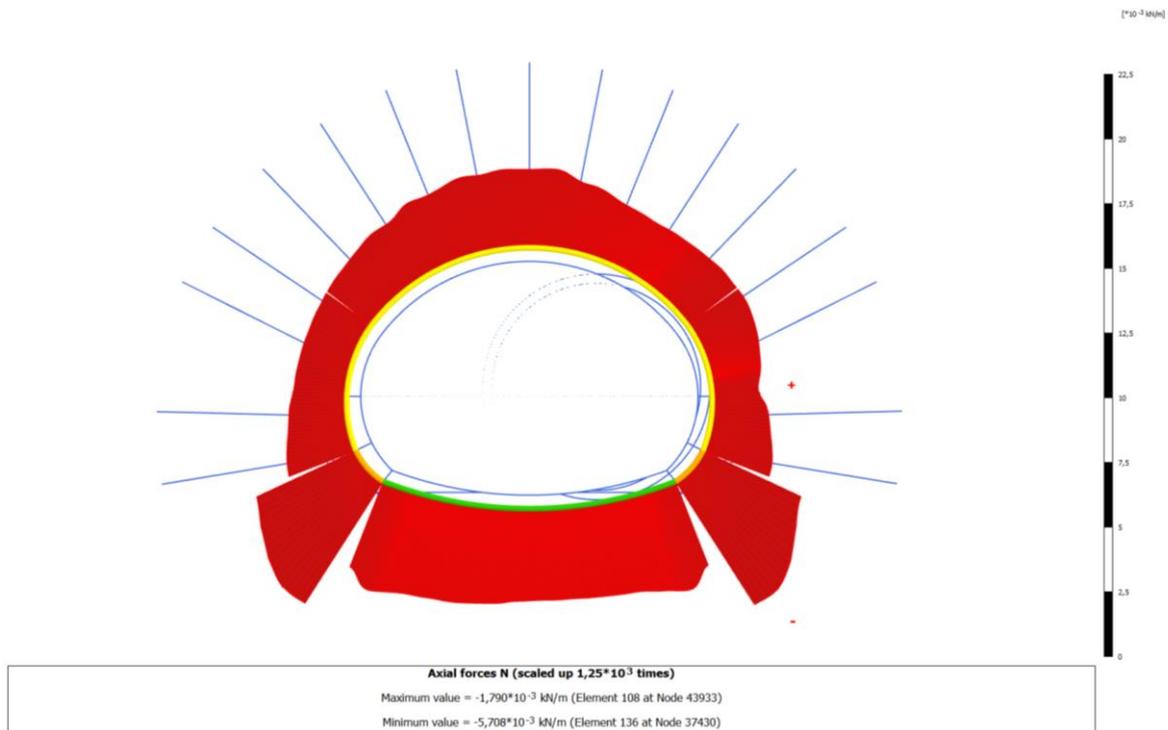


Figura 11-157 – Sezione Tipo I2. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 16)

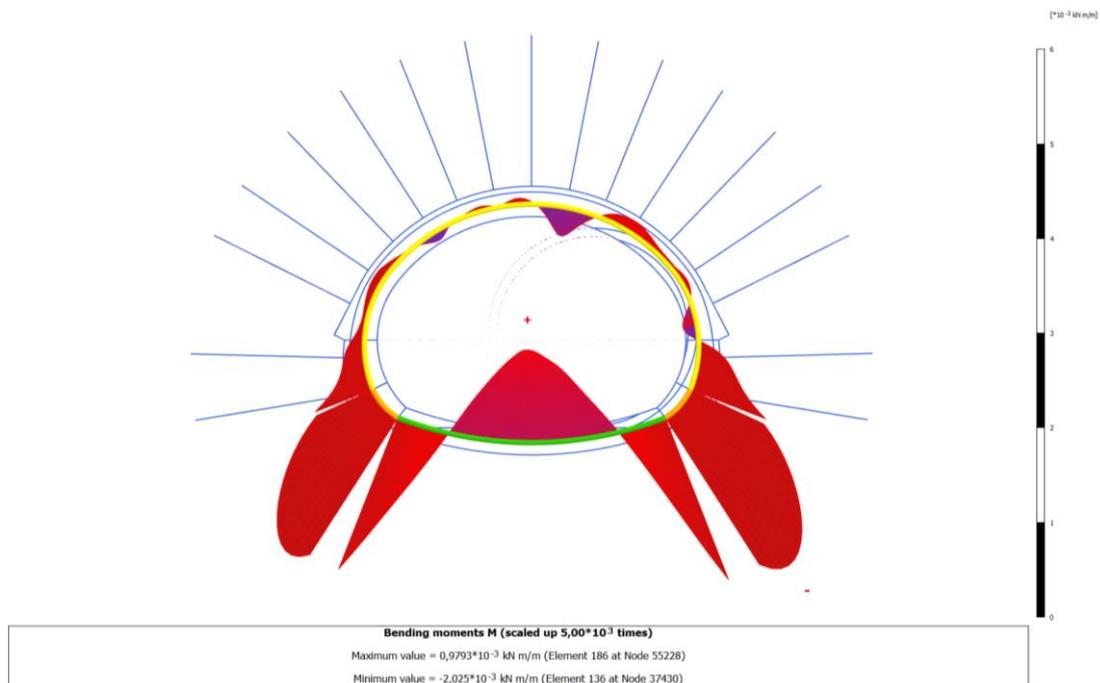


Figura 11-158 – Sezione Tipo I2. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 16)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C FOGLIO. 206 di 285

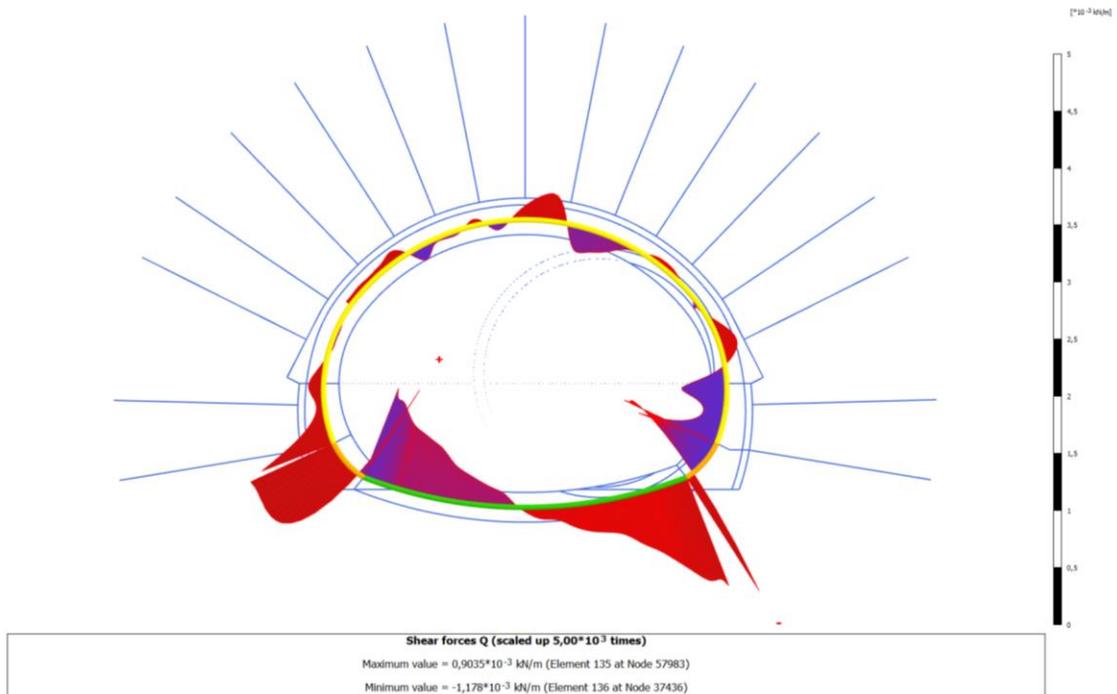


Figura 11-159 – Sezione Tipo I2. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 16)

**Bulloni radiali:**

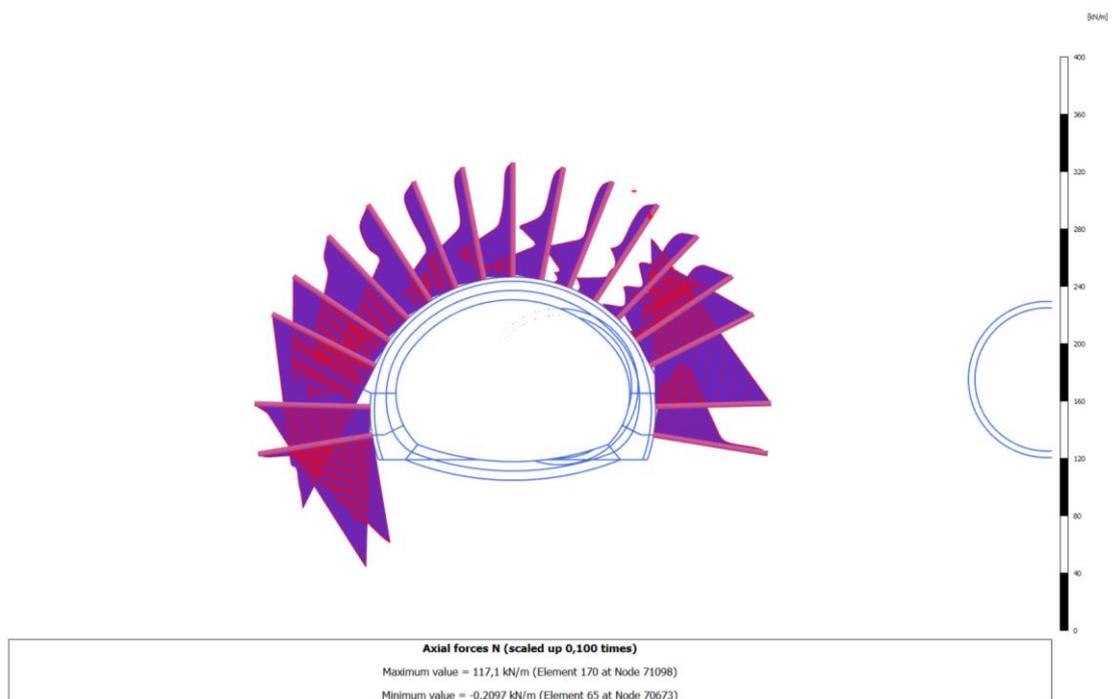


Figura 11-160– Sezione Tipo I2. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	207 di 285

### 11.13.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.13.3.1. 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 (fase 14).

Il rivestimento di prima fase della sezione I2 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB200 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

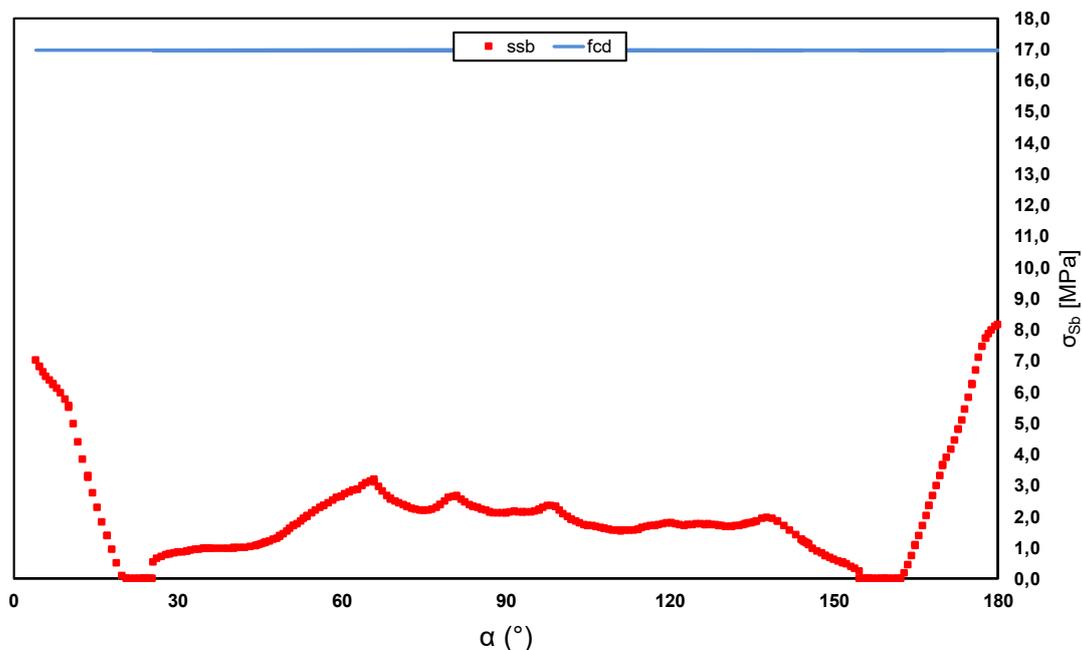


Figura 11-161: Verifica SLU per lo spritz-beton -- Sezione I2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 208 di 285

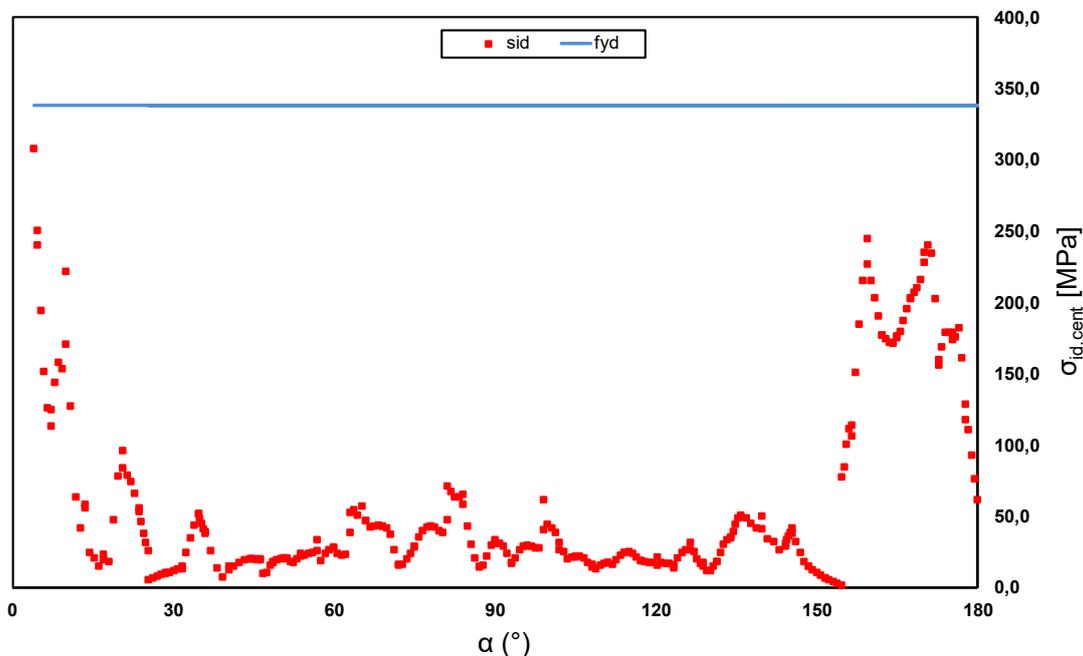


Figura 11-162: Verifica SLU per le centine -- Sezione I2

### 11.13.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ12/20x30	391.3
Murette	25/30	14.1	1.5 m*	Φ20/20	Φ20/20	Φ12/20x30	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1.3 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ12/20x30	391.3

\*tale valore, utilizzato in fase di verifica, rappresenta lo spessore medio della muretta, considerata la variabilità di spessore tra 1.3 m e 2.0 m.

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 16 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 209 di 285

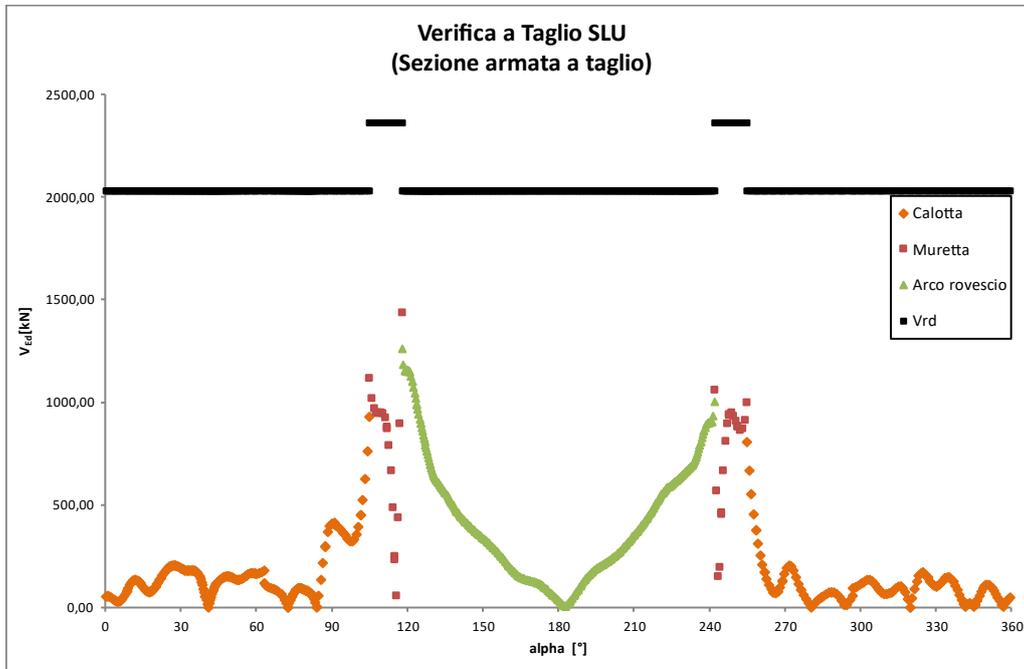


Figura 11-163 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione I2

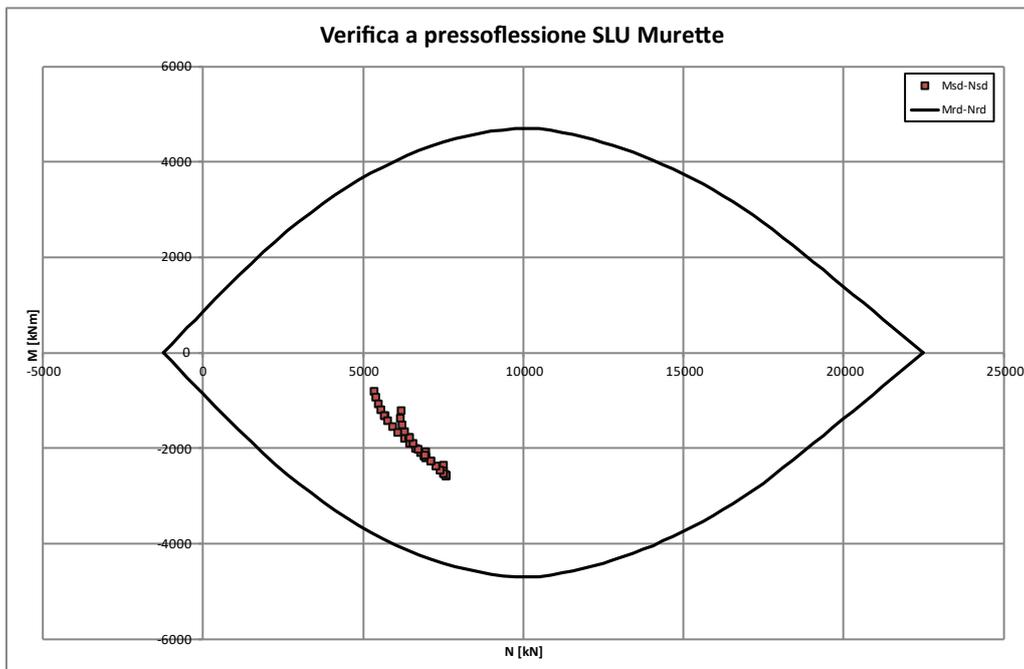


Figura 11-164 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione I2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 210 di 285

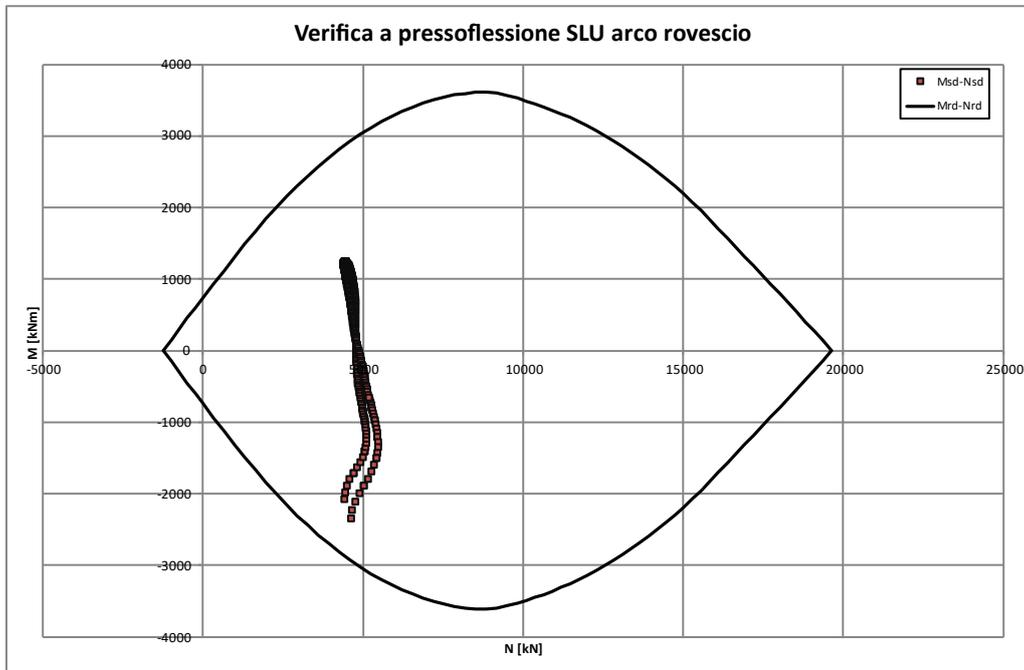


Figura 11-165 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione I2

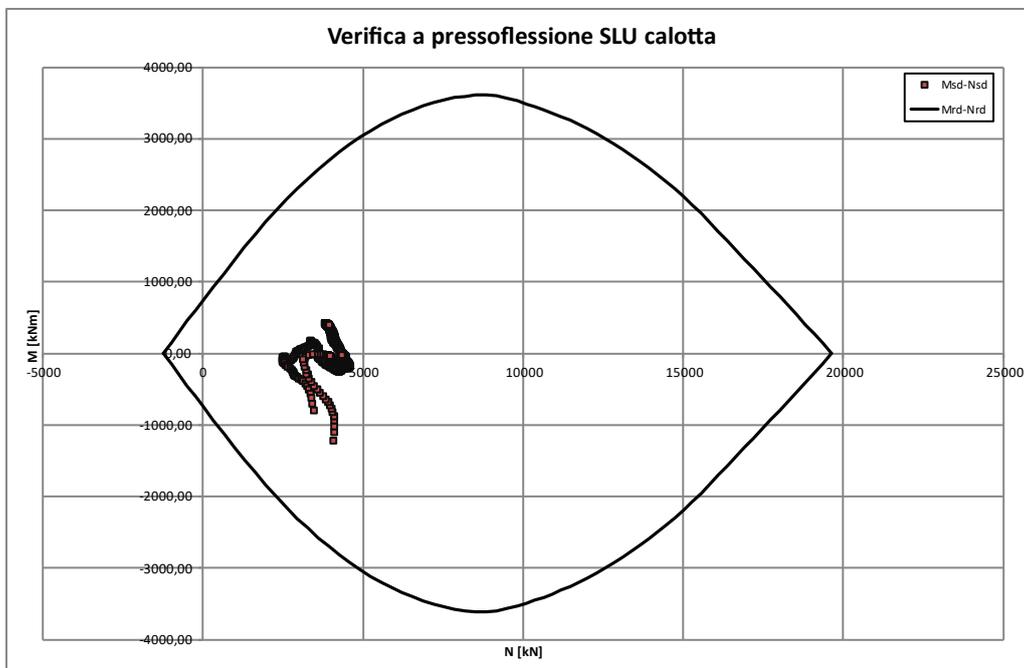


Figura 11-166 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione I2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 211 di 285

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  $\alpha$ .

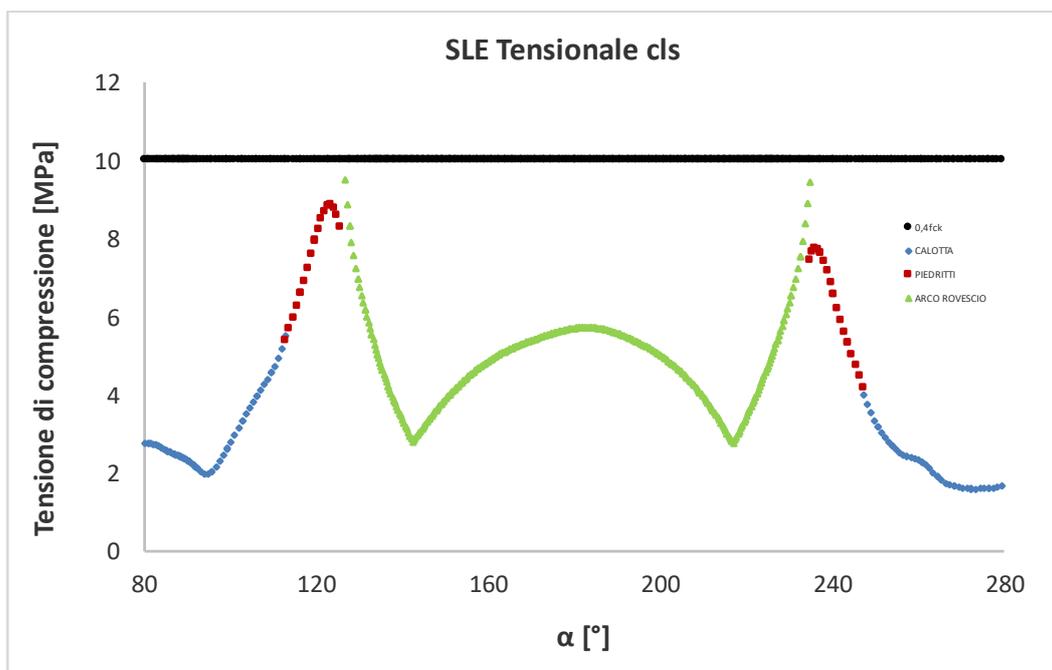


Figura 11-167 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione I2

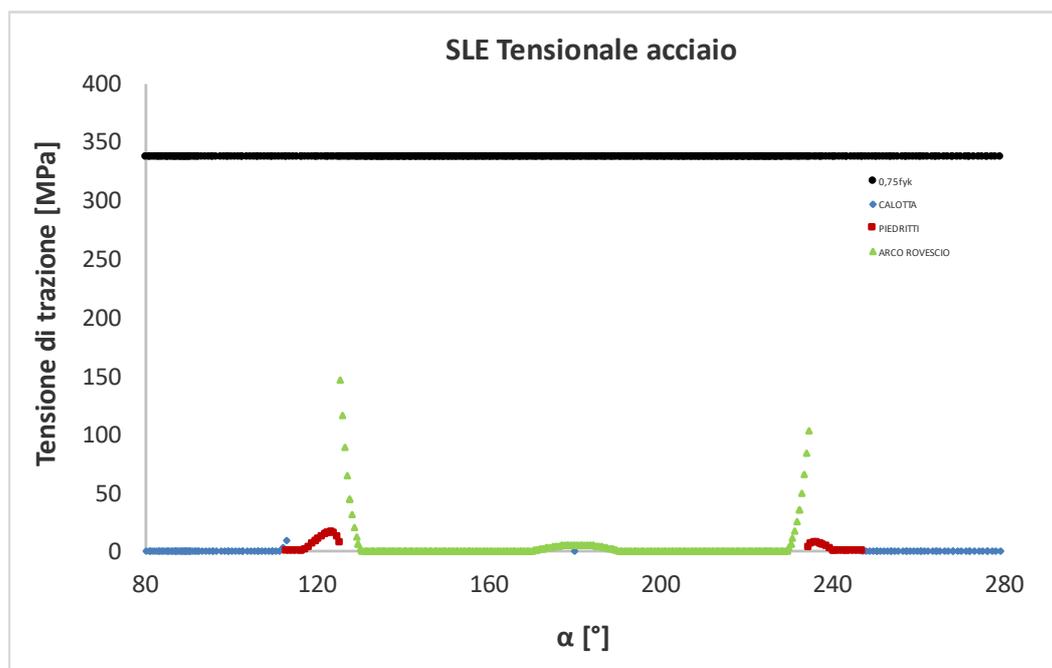


Figura 11-168 – Verifica tensioni acciaio – Sezione I2

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 212 di 285

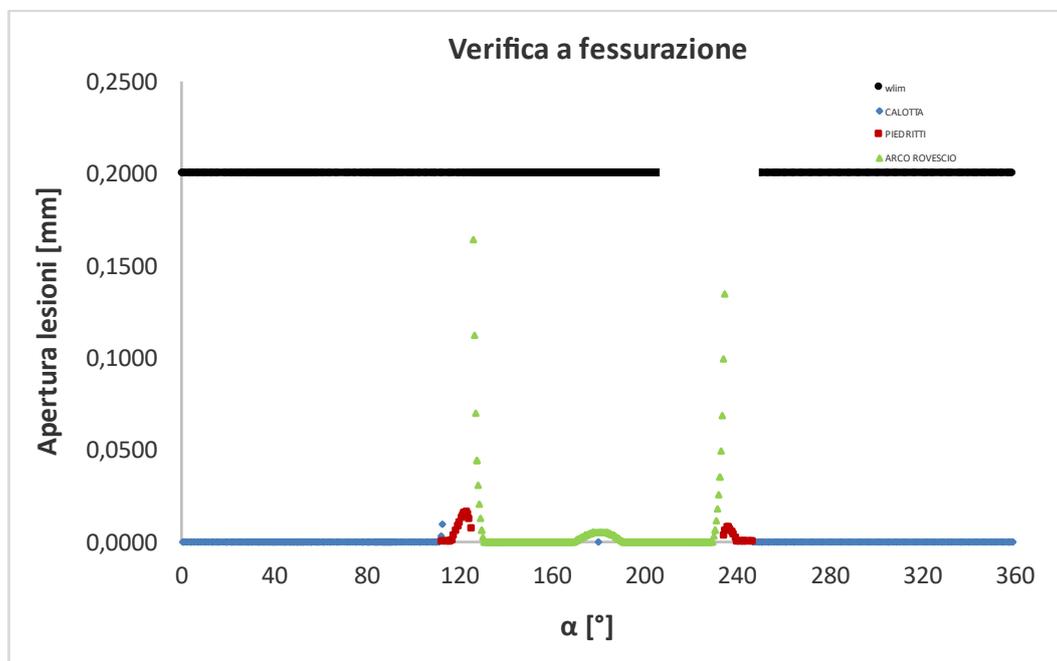


Figura 11-169 – Verifica a fessurazione – Sezione I2

### 11.13.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione I2 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
16+17 barre $\Phi 24$	51	8	1.0	1.1	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 120 \cdot 1.3 = 156 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 8 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 280.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d \cdot 3.$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	213 di 285

Con **FS=1.79**

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=1.13**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	214 di 285

## 11.14 SEZIONE I3

### 11.14.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo I3 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq\_SETT1}$ [m]	$R_{eq\_SETT2}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
I3	7.4	5.9	546,3	14.75	27	1839	31.4	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math>: tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>								

Tabella 11-58 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione I3.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
I3 – Settore 1	7.7	0.10	9.01	1.22	A	A	B
I3 – Settore 2	6.1	0.10	7.24	1.22	A	A	B

Tabella 11-59 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo I3.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	215 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

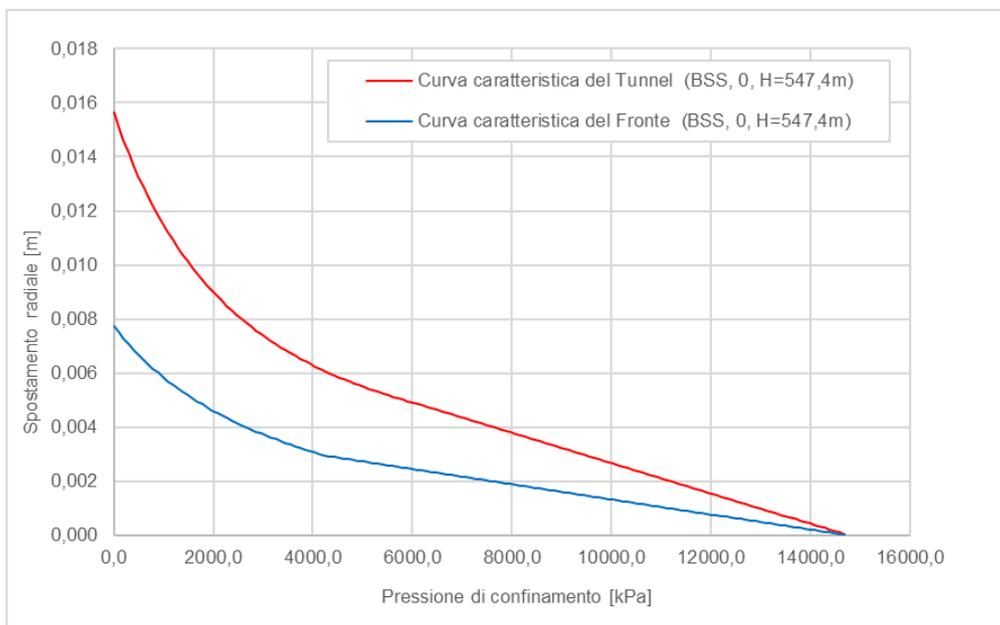


Figura 11-170 – Curve caratteristiche settore 1– Sezione 13

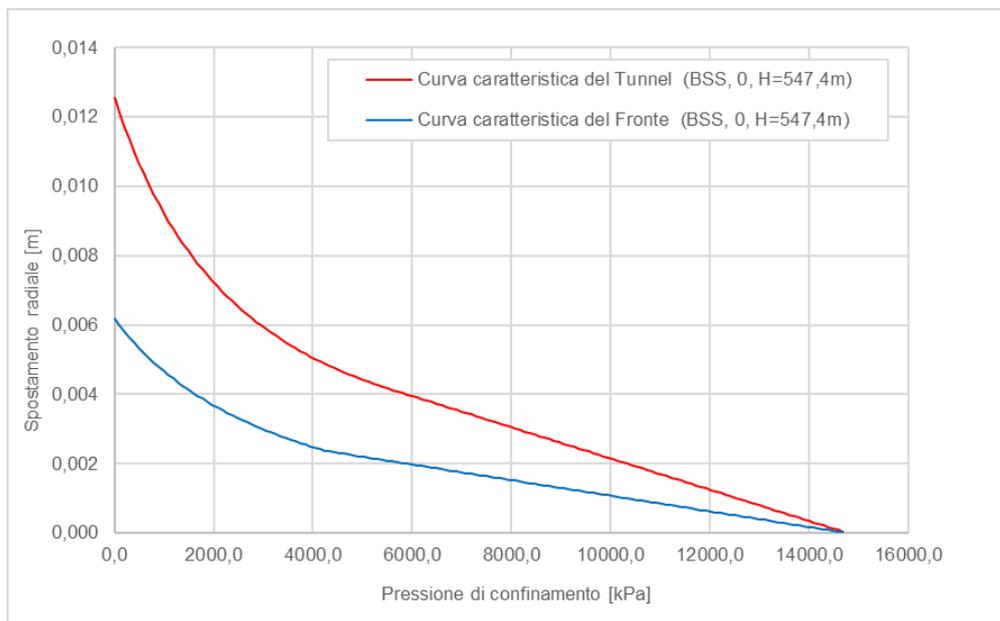


Figura 11-171 – Curve caratteristiche settore 2– Sezione 13

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	216 di 285

### 11.14.2 Interazione opera – terreno

Si riportano di seguito le analisi della sezione I3. Le caratteristiche della formazione adottate per le analisi numeriche sono riportate nella tabella seguente

Sezione	Formazione	Copertura	Materiale	$\gamma$	c	$\varphi$	$E_{op}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(kN/mc)	(kPa)	(°)	(MPa)
Camerone I3	BSSa	547.4	Terreno naturale	27	2299	37.4	17056
	BSSa (D=0.1)	547.4	Terreno naturale	27	2116	36.8	15388
	BSSa (D=0.2)	547.4	Terreno naturale	27	2131	36.3	13792

Tabella 11-60: Sezione I3– Parametri meccanici del terreno usati modello di calcolo

Come precedentemente accennato, la mesh di calcolo è generata mediante una griglia non strutturata composta da elementi triangolari a 15 nodi. Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo della sezione in esame per incrementare la precisione dei risultati, lasciando la mesh meno fitta vicino la canna scavata con TBM, le cui analisi non sono oggetto della presente relazione.

Di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata.

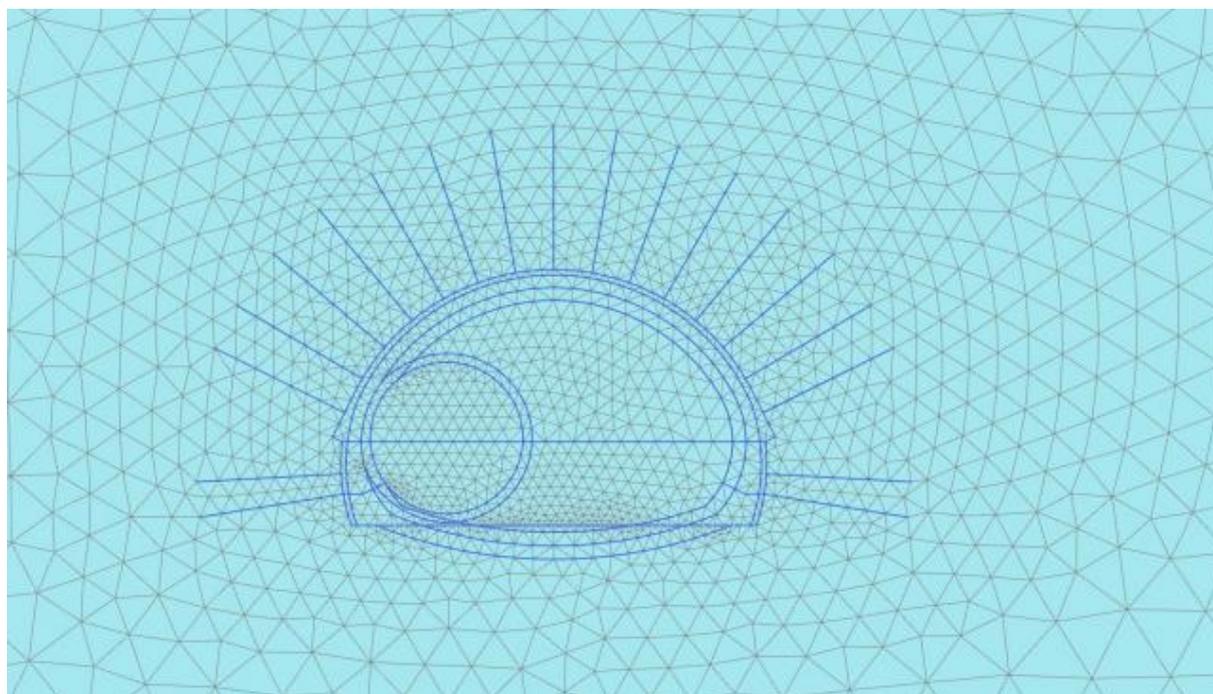


Figura 11-172– Particolare mesh– Sezione I3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	217 di 285

Le caratteristiche degli elementi di sostegno di prima fase e del definitivo utilizzati nel modello numerico per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione sugli elementi strutturali sono riportate al §11.1.5.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai relativi elaborati.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri assegnati agli elementi plate inseriti lungo la linea media della carpenteria in oggetto al fine di ottenere le sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

I valori di rigidezza sono stati moltiplicati per un valore pari a  $10^{-6}$ .

Elemento	Classe calcestruzzo	h (cm)	E [MPa]	$\nu$ [-]	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
Arco rovescio	C25/30	150	31476	0.2	47.21	8.85
Murette	C25/30	150	31476	0.2	47.21	8.85
Calotta e piedritti	C25/30	140	31476	0.2	44.06	7.19

Tabella 11-61 – Rivestimento provvisorio-Parametri utilizzati nell'analisi della Sezione I3

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare le curve di rilascio, tenendo conto delle due fasi di scavo parzializzato in maniera separata.

Nella seguente figura sono rappresentati gli andamenti del coefficiente di deconfinamento applicati al modello.

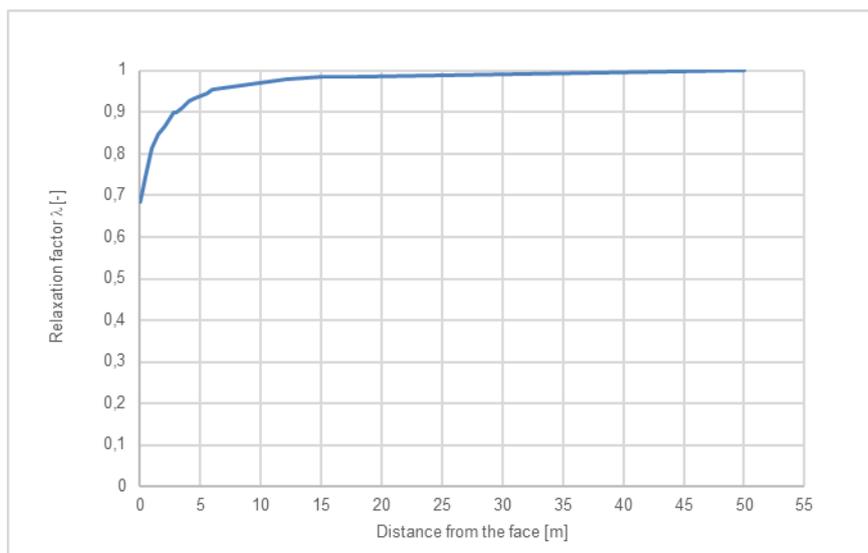


Figura 11-173– Curva di rilascio calotta – Sezione I3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	218 di 285

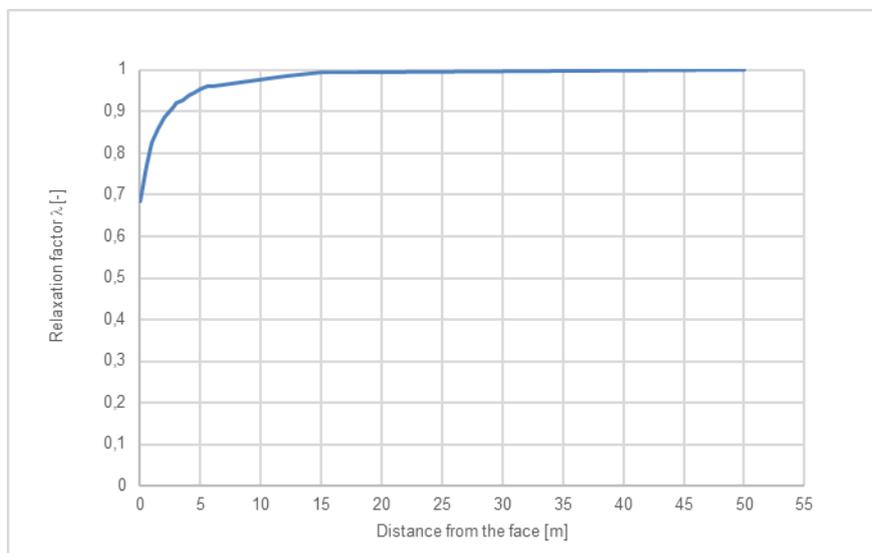


Figura 11-174– Curva di rilascio scavo strozzo– Sezione I3

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

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
0.	Litostatico	-
1	Nil	-
2.	Scavo galleria di linea con TBM	98.60
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.00
4.	Scavo calotta del camerone-apertura del fronte (x=0m)	68.45
5.	Scavo calotta per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	81.20
6.	Scavo calotta per 3 m di avanzamento (x=3m)	89.90
7.	Iniezione dei bulloni radiali (attivazione*) e scavo settore calotta per tutta lunghezza del tunnel	100
8.	Scavo dello strozzo (apertura del fronte) (x=0m) e installazione rivestimento provvisorio in calotta mezza maturazione	68.45
9.	Scavo dello strozzo per 1 m di avanzamento (sfondo max) (x=1m)	82.55
10.	Inserimento dei bulloni radiali, posa in opera rivestimento di prima fase, scavo strozzo per 6m di avanzamento	95.97
11	Scavo dello strozzo per 15 m di avanzamento e maturazione completa provvisorio (di calotta e strozzo) (x=15m)	99.32
12.	Completamento dello scavo dello strozzo per tutto il camerone e scavo dell'arco rovescio (rilascio 100%)	100

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	219 di 285

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [-]
13	Posa in opera dell'arco rovescio e delle murette	100
14.	Degradazione dell'ammasso roccioso (D=0.1)	100
15	Posa in opera della calotta	100
16.	Lungo termine: Attivazione carico idraulico 20m al di sopra della calotta e rimozione dei rivestimenti provvisori (chiodi+ centine) e degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.2)	100

*\*l'installazione dei bulloni avviene per ogni singolo sfondo, l'iniezione avviene entro 3m dal fronte*

*Tabella 11-62– Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la I3*

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono state ricavate adottando il modello numerico mostrato in Figura 11-172, nel quale il peso dell'unità di volume dello strato superficiale di 1m è posto pari a 12053 kN/m<sup>3</sup> al fine di simulare la copertura di verifica della Sezione (547.4m). Questo valore è ottenuto tenendo conto del fatto che la copertura presente nel modello è pari a 100m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 220 di 285

### 11.14.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Le seguenti figure rappresentano gli spostamenti nell'intorno del cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo, e i punti di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

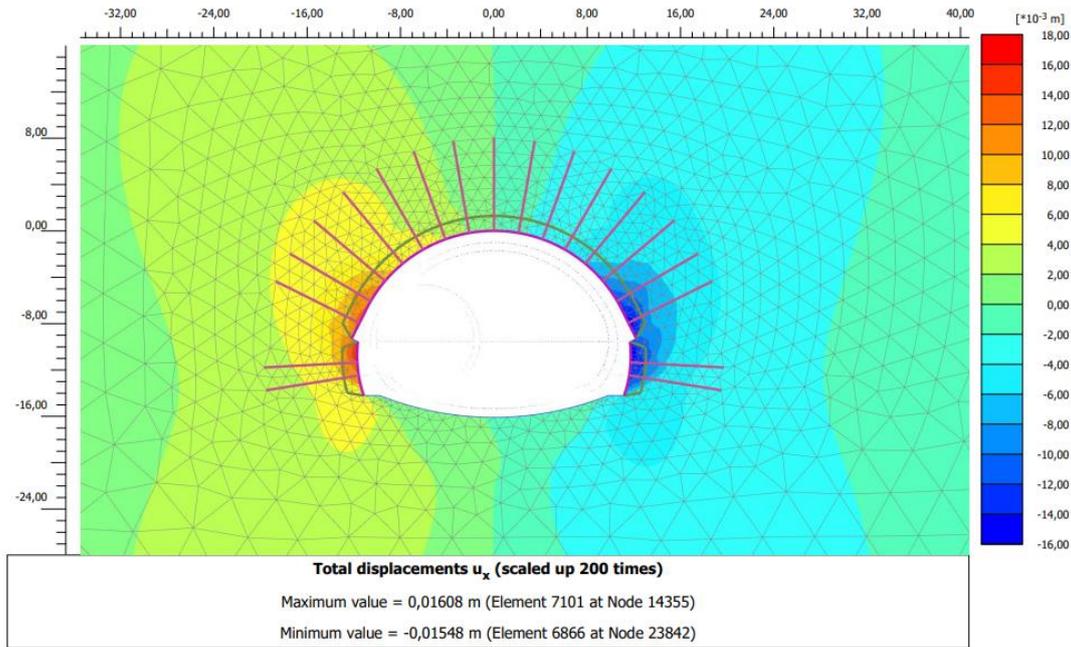


Figura 11-175: Spostamenti in direzione orizzontale - Sezione Tipo I3. (fase 12)

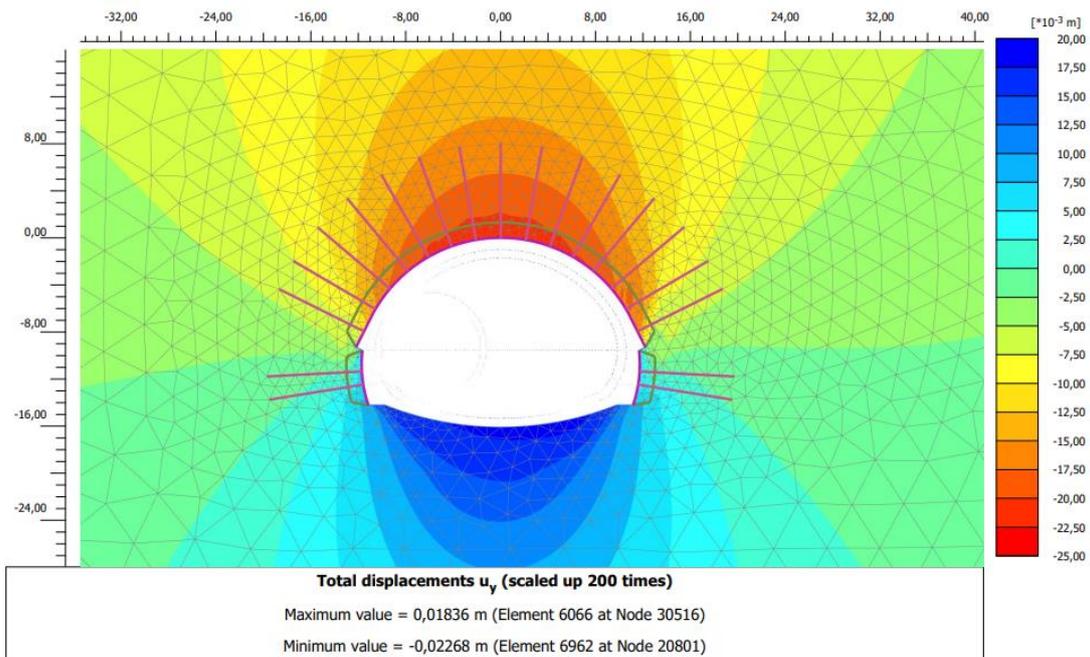


Figura 11-176: Spostamenti in direzione verticale - Sezione Tipo I3. (fase 12)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 221 di 285

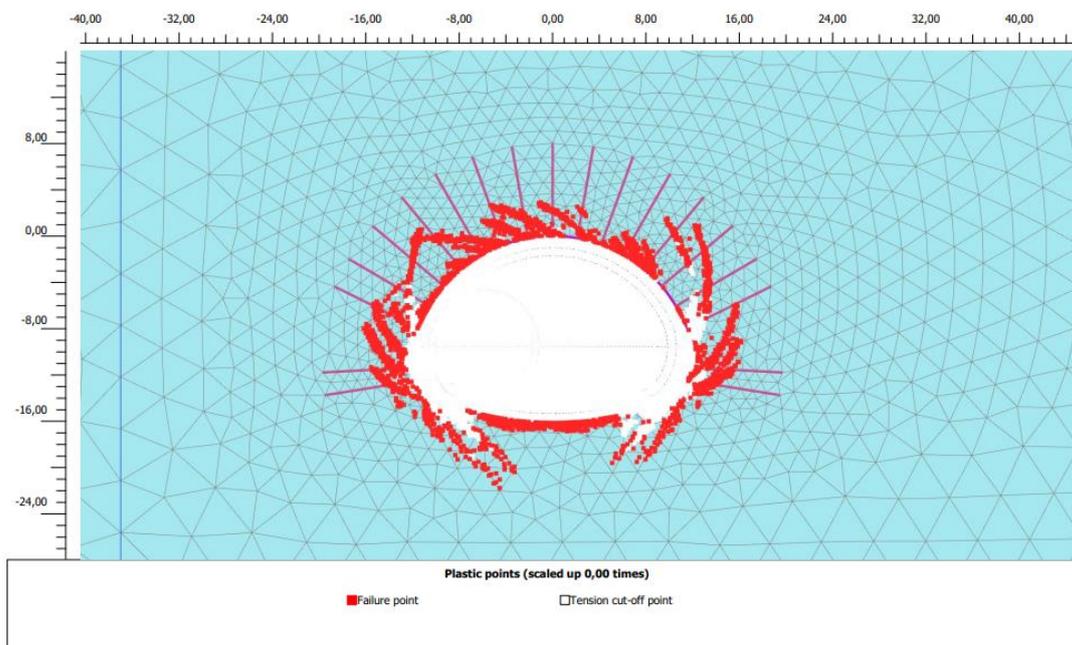


Figura 11-177: Zone di plasticizzazione - Sezione Tipo I3. (fase 12)

Si riportano di seguito gli output in termini di sollecitazioni a cui si farà riferimento per la verifica degli elementi strutturali, scegliendo le fasi in cui i rivestimenti risultano maggiormente caricati.

**Rivestimento provvisorio:**

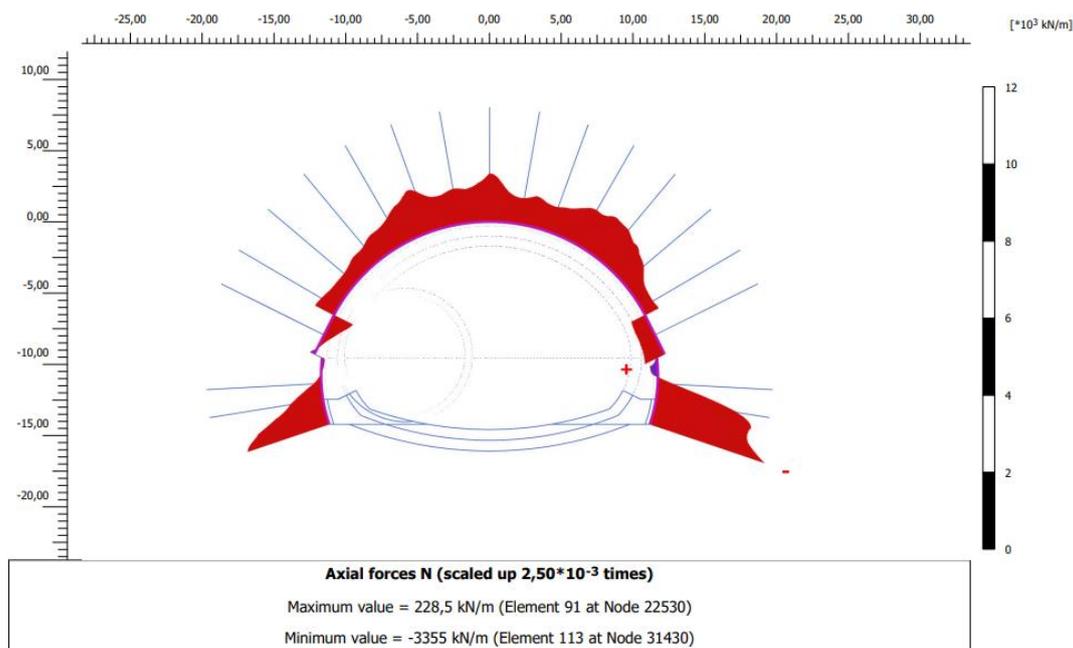


Figura 11-178 – Sezione Tipo I3. Sforzo normale sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 222 di 285

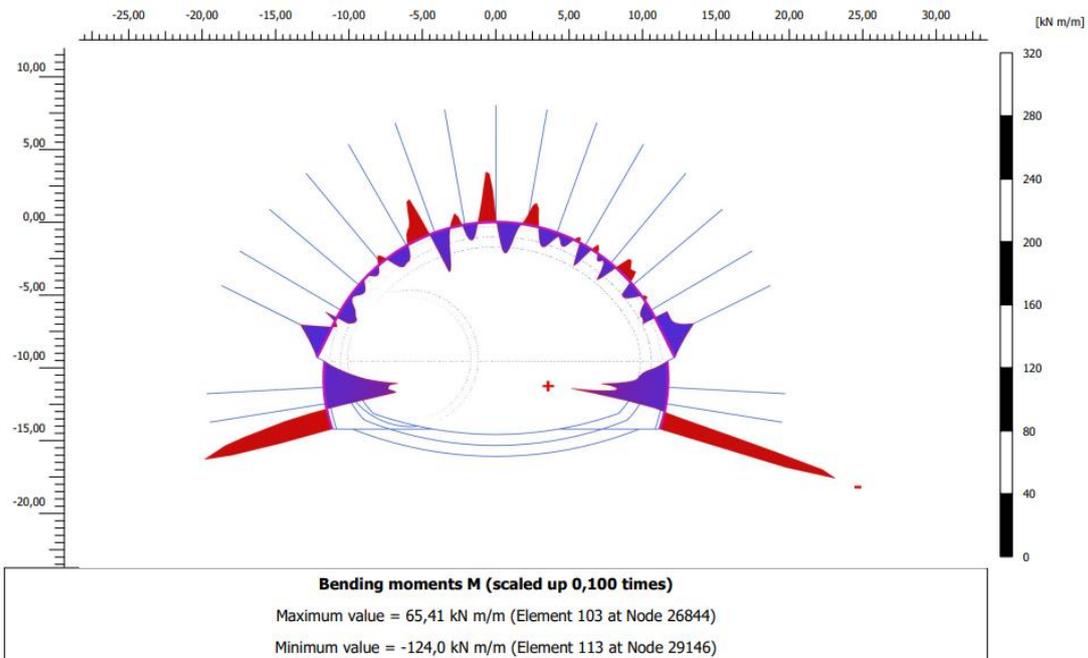


Figura 11-179 – Sezione Tipo I3. Momento flettente sul rivestimento di prima fase (fase 14)

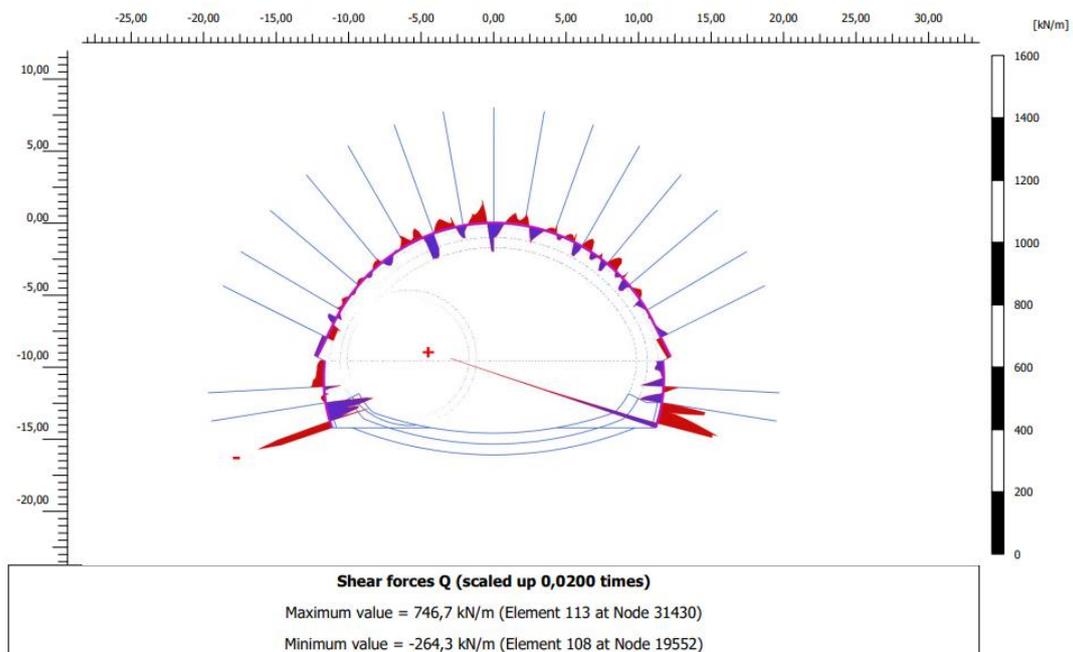


Figura 11-180 Sezione Tipo I3. Sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase (fase 14)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 223 di 285

**Rivestimento definitivo:**

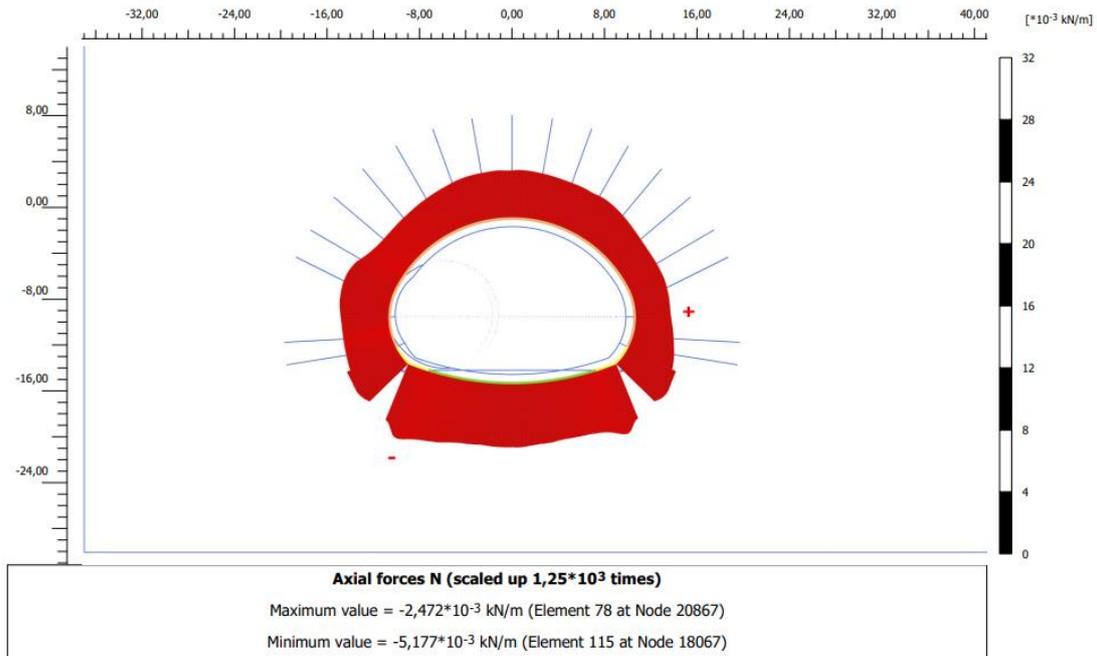


Figura 11-181 – Sezione Tipo I3. Sforzo normale sul rivestimento definitivo (fase 16)

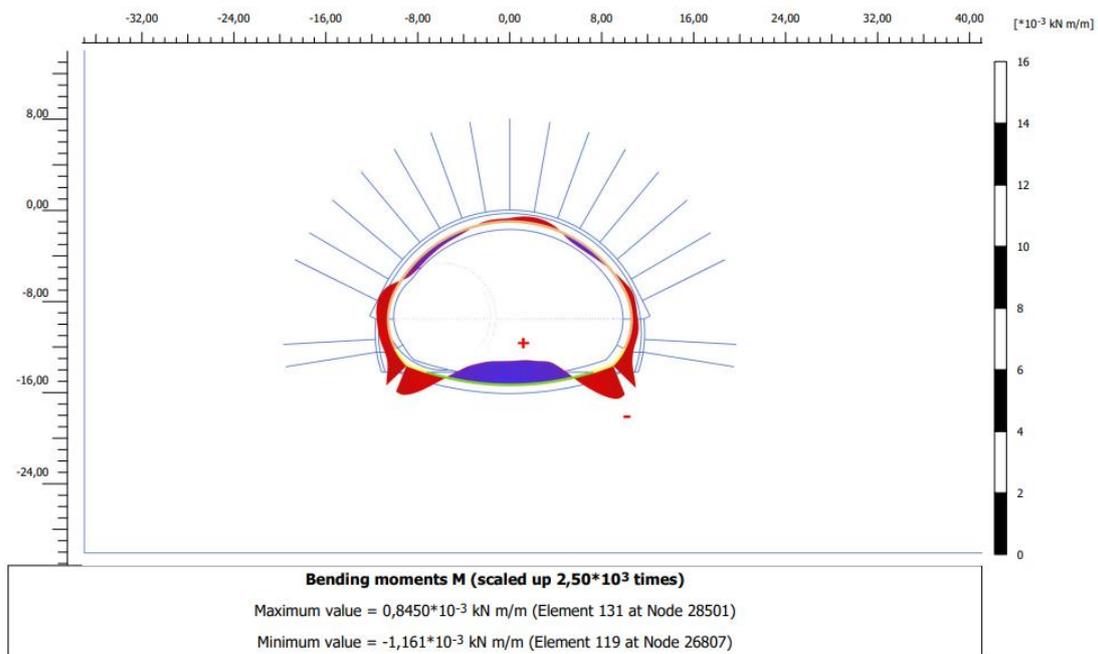


Figura 11-182 – Sezione Tipo I3. Momento flettente sul rivestimento definitivo (fase 16)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 224 di 285

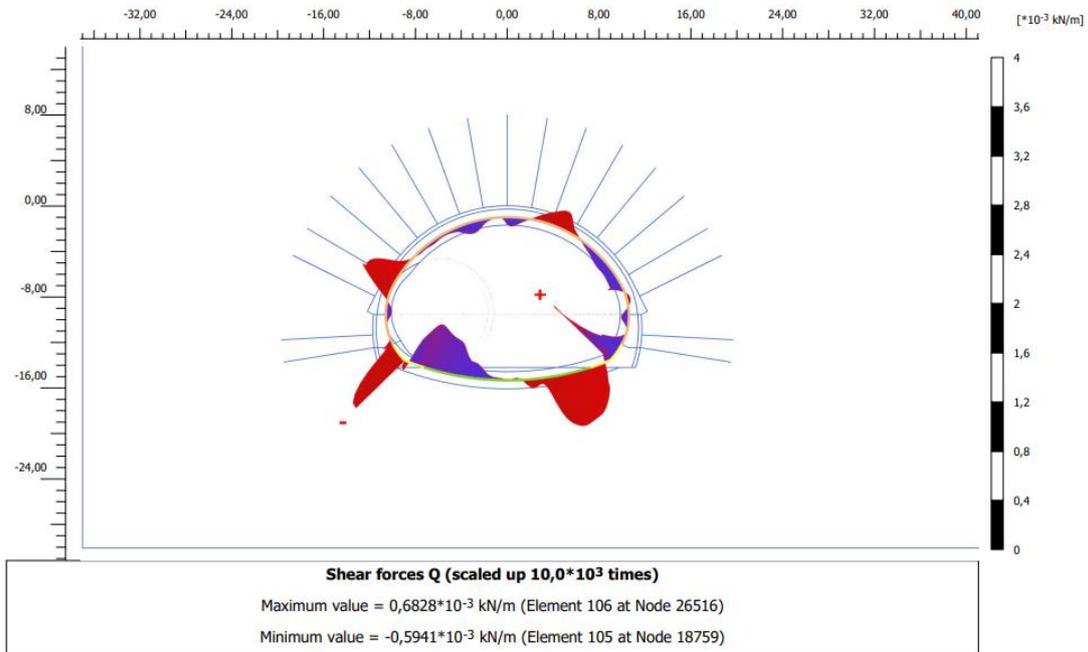


Figura 11-183 – Sezione Tipo I3. Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo (fase 16)

**Bulloni radiali:**

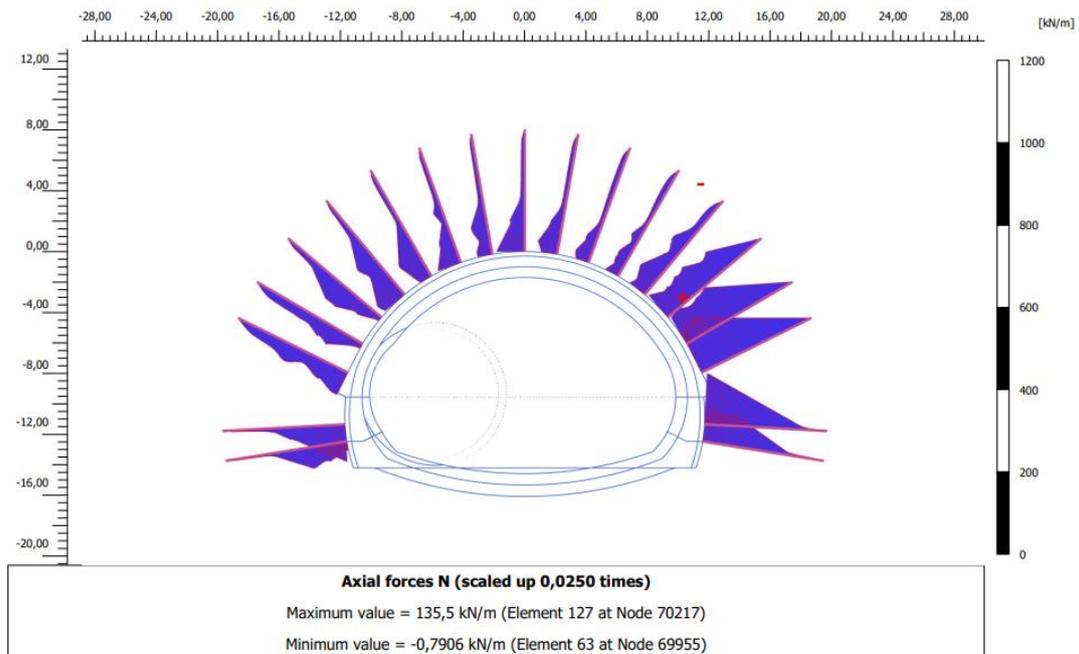


Figura 11-184– Sezione Tipo I3. Sforzo normale sui bulloni radiali (fase 15)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 225 di 285

### 11.14.3 Verifica degli elementi strutturali

#### 11.14.3.1. 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 (fase 14).

Il rivestimento di prima fase della sezione I3 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton C30/37 ( $f_{cd}=17$  MPa) di spessore pari a 0.30 m e centine HEB220 S355 ( $f_{yd} = 338.1$  MPa) passo 1 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 e per le centine.

Le figure sottostanti mostrano 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.

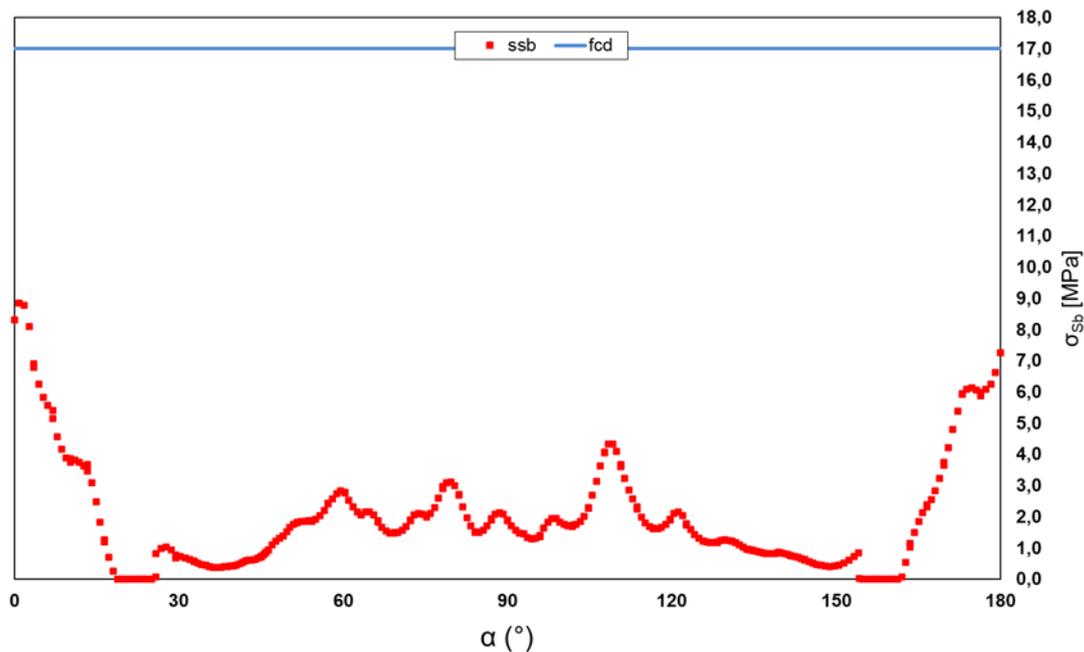


Figura 11-185: Verifica SLU per lo spritz-beton -- Sezione I3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 226 di 285

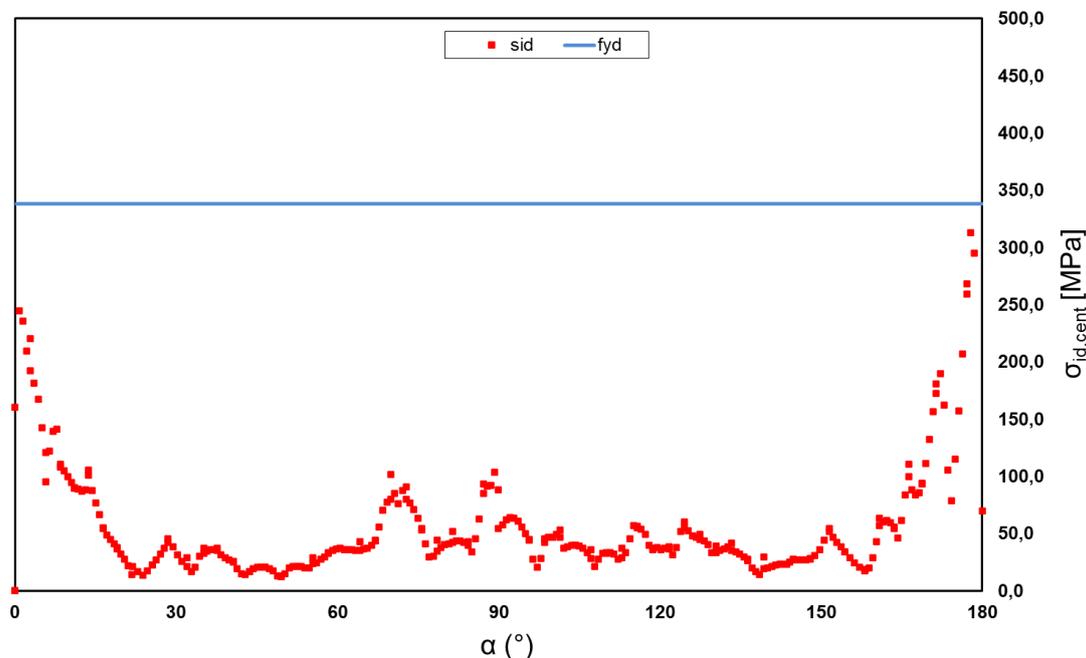


Figura 11-186: Verifica SLU per le centine -- Sezione 13

#### 11.14.3.2. 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 risultano più gravosi rispetto alle fasi precedenti, e sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in precedenza, 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, l'arco rovescio e le murette:

Elemento	Classe CLS	$f_{cd}$ [MPa]	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio	$f_{yd}$ [MPa]
Calotta	25/30	14.1	1.4 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Murette	25/30	14.1	1.5 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3
Arco rovescio	25/30	14.1	1.5 m	Φ20/20	Φ20/20	Φ10/20x40	391.3

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 16 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di confronto tra azione e resistenza, diagrammati al crescere della coordinata angolare  $\alpha$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C FOGLIO. 227 di 285

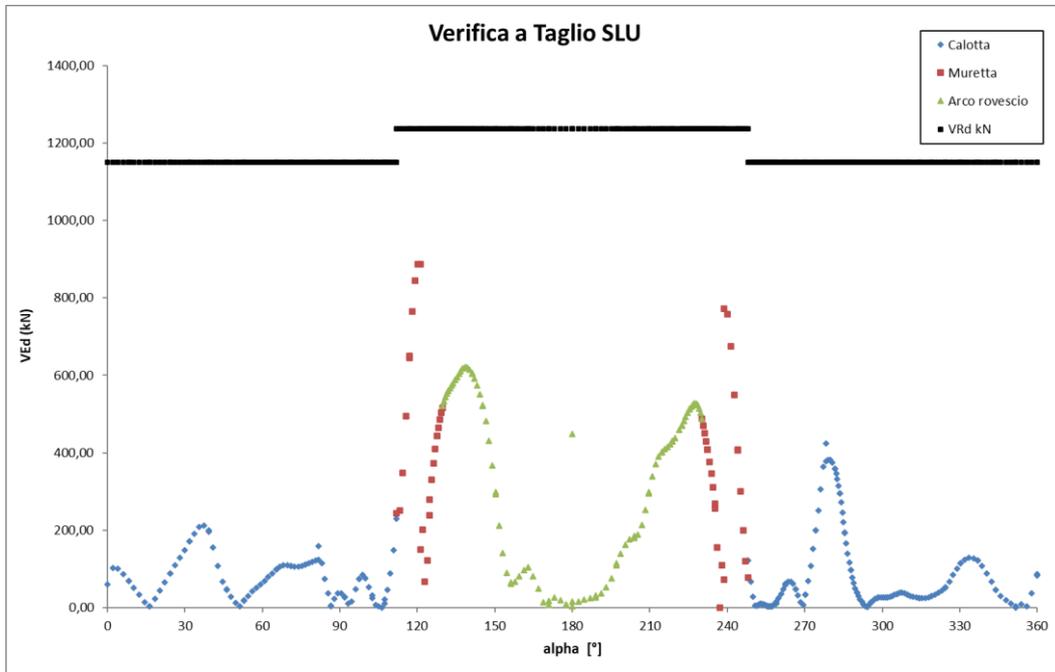


Figura 11-187 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (con armatura a taglio) – Sezione I3

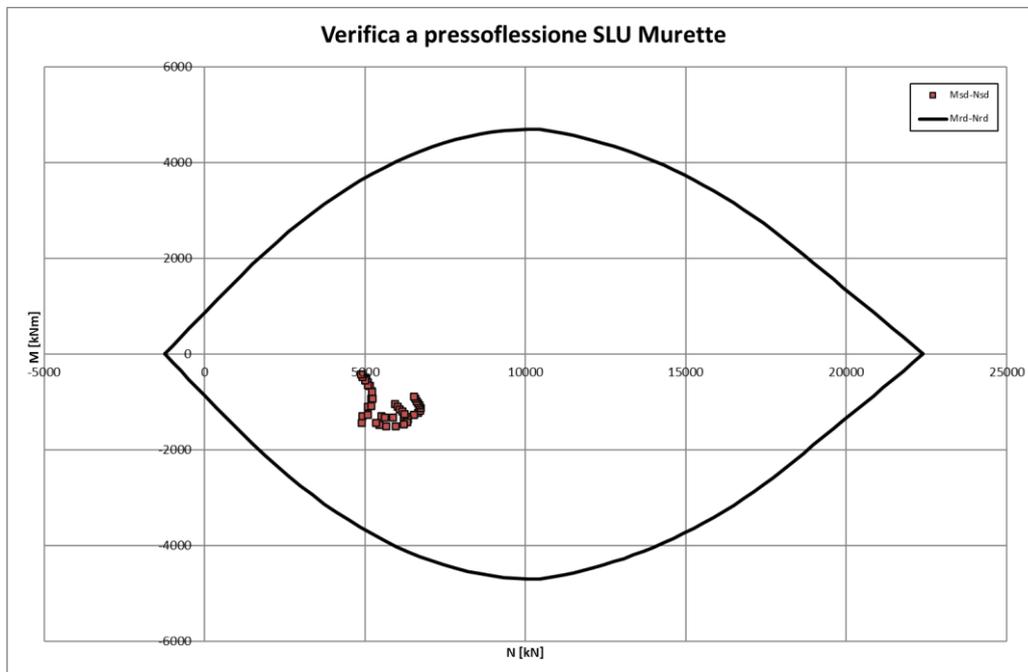


Figura 11-188 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) – Sezione I3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 228 di 285

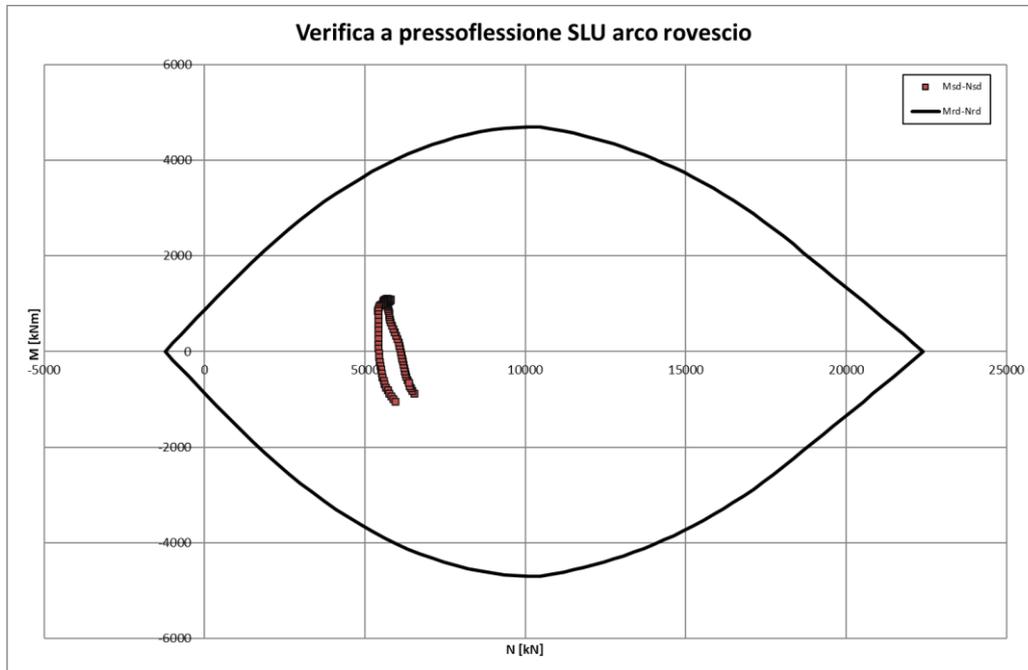


Figura 11-189 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) – Sezione I3

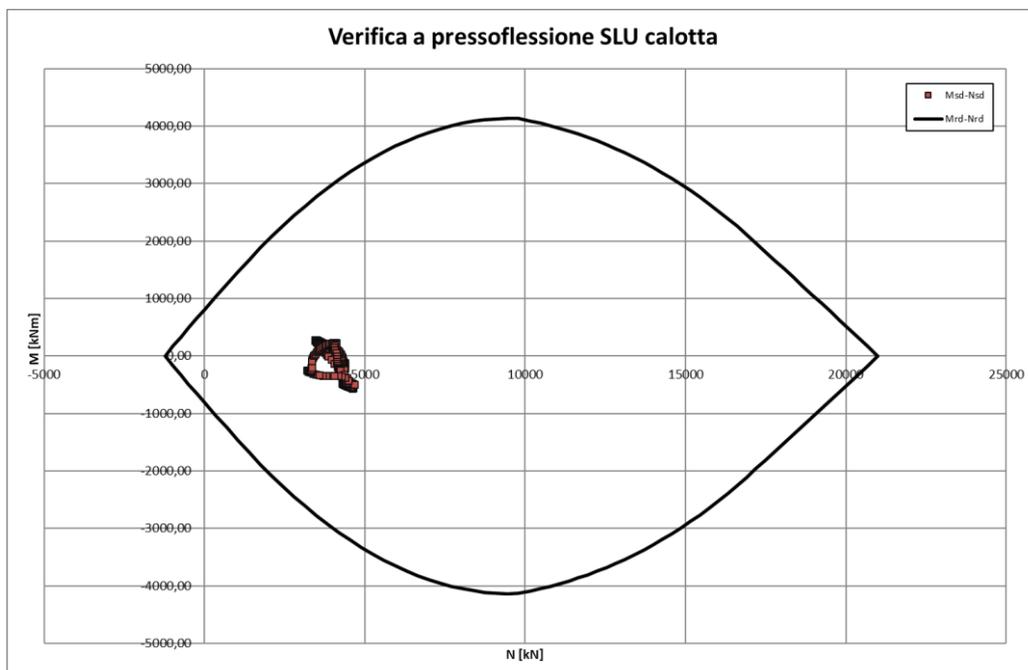


Figura 11-190 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) – Sezione I3

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	229 di 285

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  $\alpha$ .

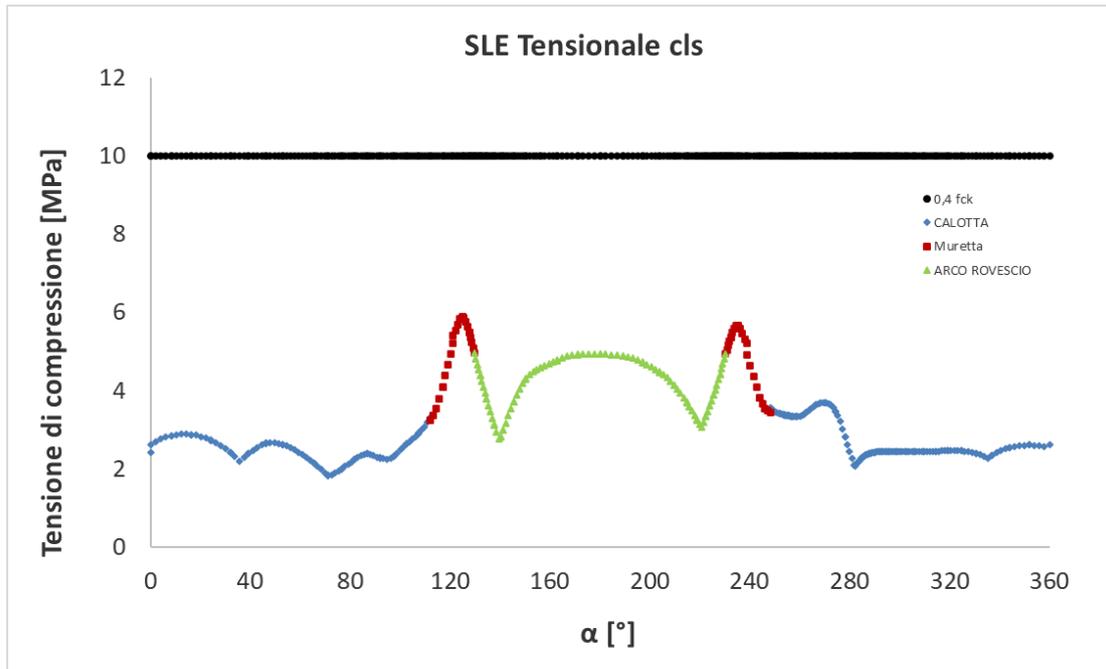


Figura 11-191 – Verifica tensioni calcestruzzo– Sezione I3

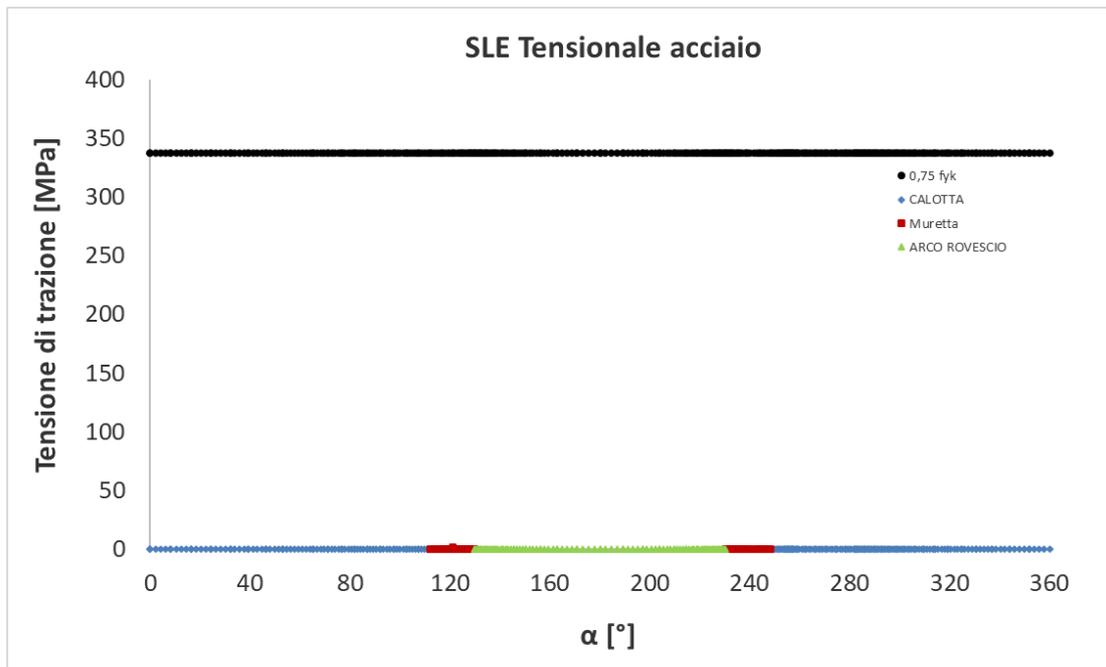


Figura 11-192 – Verifica tensioni acciaio – Sezione I3

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	230 di 285

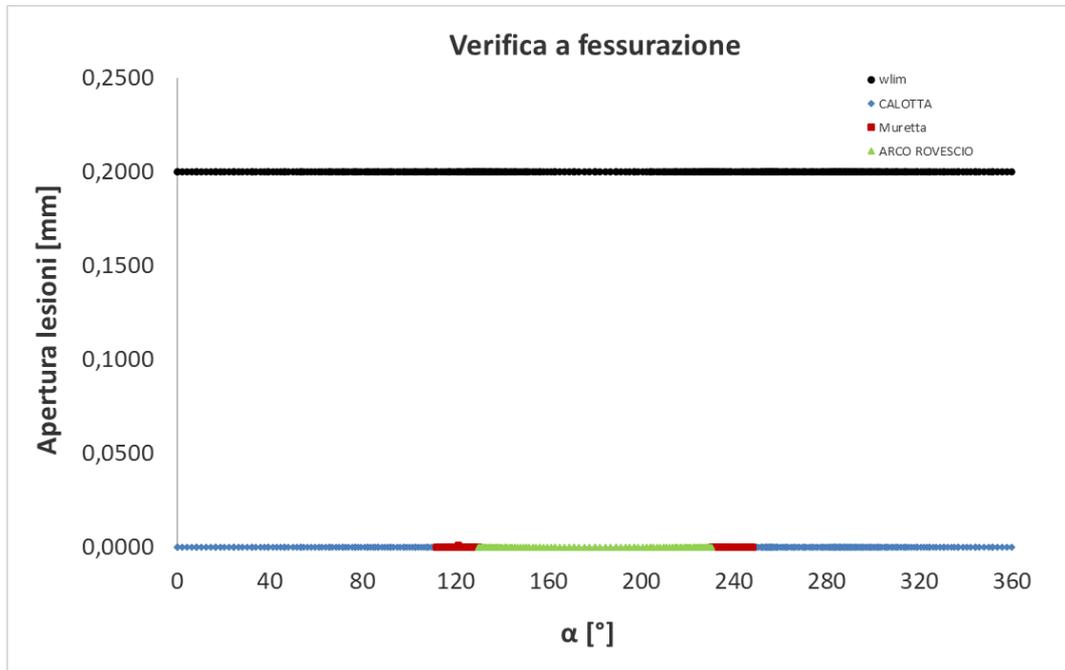


Figura 11-193 – Verifica a fessurazione – Sezione I3

### 11.14.3.3. Verifica dei bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione I3 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
18+19 barre $\Phi 24$	51	8	1	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 135 \cdot 1.3 = 175.5 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 8 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 280.2 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d \cdot 3.$$

Con **FS=1.60**

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 231 di 285	

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

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=1.01**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	232 di 285

## 11.15 SEZIONE LTS

### 11.15.1 Stabilità del fronte

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo LTt eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
LTS	5.5	567.3	15.32	27	1868	31.4	17056
H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria $S_m$ : tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria $\gamma$ : peso dell'unità di volume dell'ammasso $c'_d$ : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso $\varphi'_d$ : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso $E_d$ : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso							

Tabella 11-63 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione LTt.

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
LTS	6.0	0.11	6.78	1.23	A	A	B

Tabella 11-64 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo LTt.

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 233 di 285

### 11.15.2 Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare la curva di rilascio.

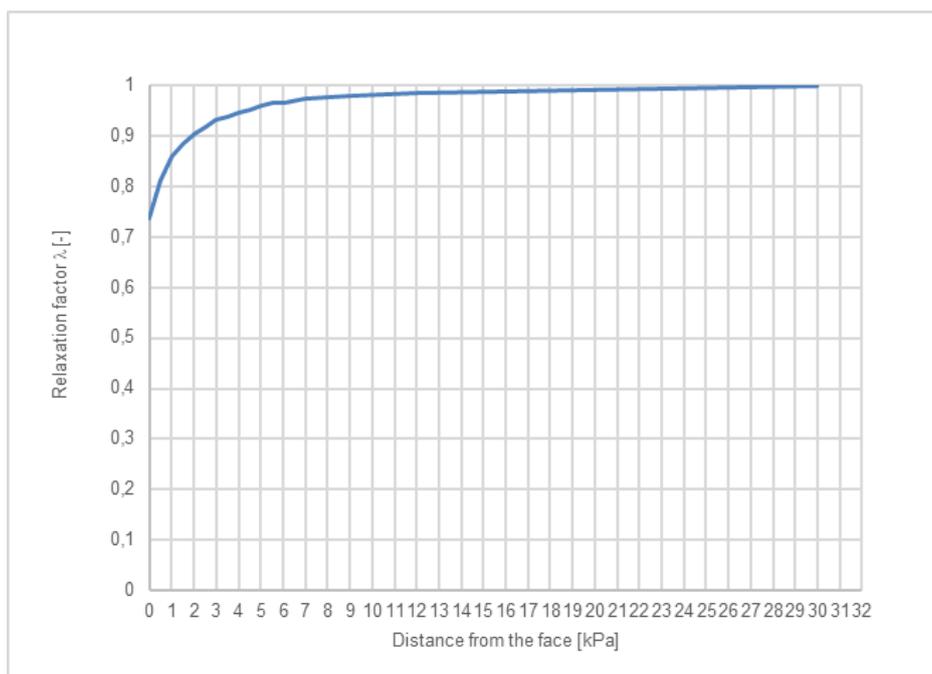


Figura 11-194 – Curva di rilascio settore 1– Sezione LTs

La tabella seguente riassume i fattori di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipologica:

#	Fase di analisi	Fattore di rilascio [%]
1.	Litostatico	-
2.	Scavo galleria di destra con TBM	98.6
3.	Posa in opera dei conci della TBM	100.0
4.	Scavo a sezione piena del camerone – apertura del fronte	73.8
5.	Scavo per 3 m di avanzamento e inserimento dei bulloni radiali	93.3
6.	Scavo per ulteriori 3 m di avanzamento	96.6
7.	Scavo per ulteriori 3 m di avanzamento e installazione delle centine e dei 30 cm di spritz beton.	98.0
8.	Completamento dello scavo per tutto il camerone	100.0

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	234 di 285

9.	Scavo dell'arco rovescio	100.0
10.	Posa in opera dell'arco rovescio	100.0
11.	Posa in opera del rivestimento definitivo	100.0
12.	Scavo galleria di sinistra con TBM	98.6
13.	Posa in opera dei conci della TBM	100.0
14.	Rimozione dei rivestimenti provvisori	100.0
15.	Degradazione parametri meccanici dell'ammasso (D=0.1)	100.0
16.	Degradazione dell'ammasso roccioso: si considera una riduzione dei parametri geomeccanici dell'ammasso applicando un fattore di disturbo (D=0.2) per tener conto del degrado a lungo termine.	100.0

Tabella 11-65 – Fasi di modellazione e fattori di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione LTs

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 235 di 285

### 11.15.2.1. Risultati dell'analisi numerica

Sollecitazioni di verifica (M,T,N) sul rivestimento di prima fase nella fase che precede il getto dell' arco rovescio – FASE 9

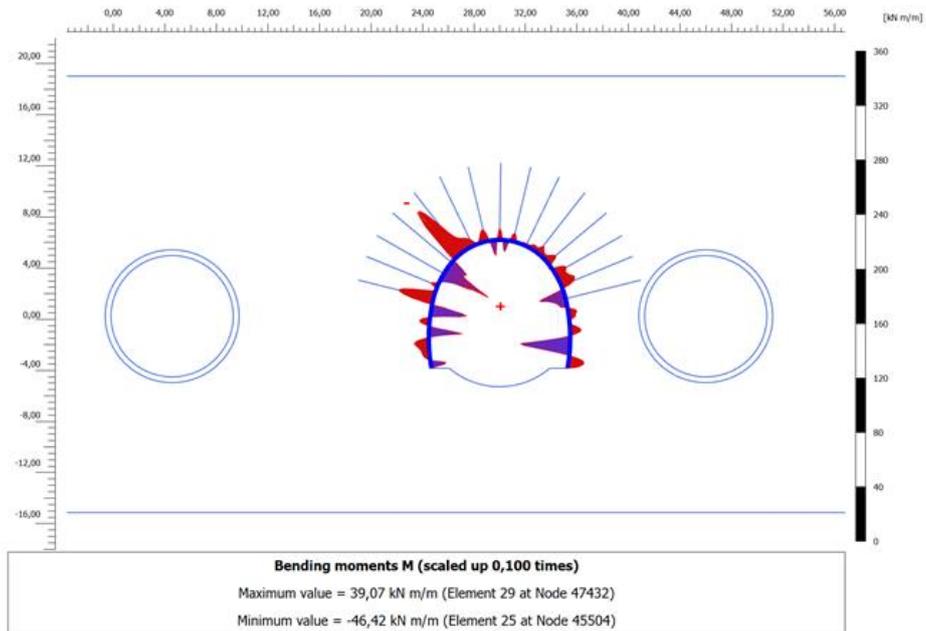


Figura 11-195 – Prinvestimento: Momento flettente (FASE 9)

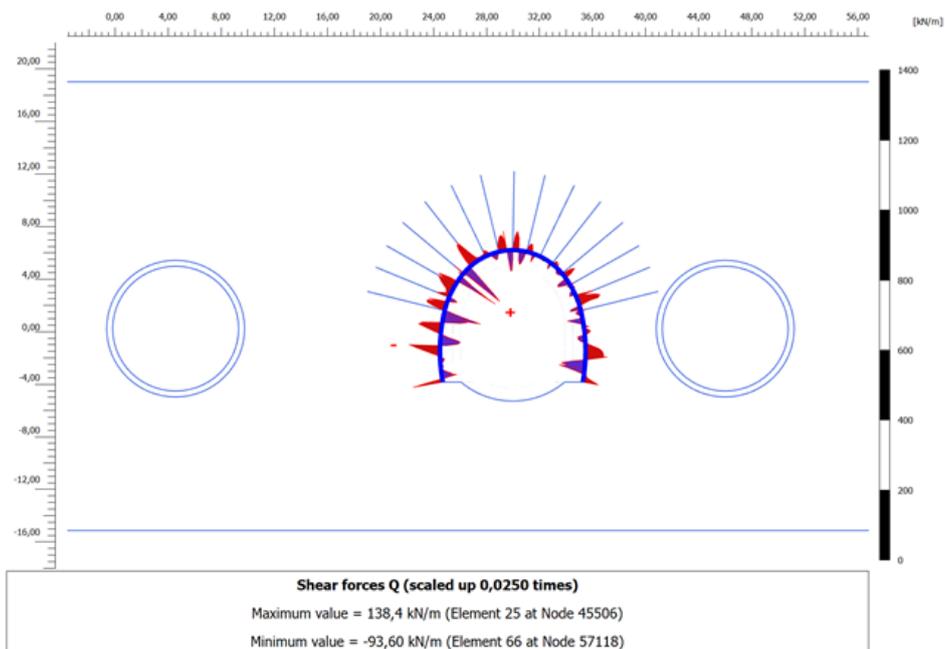


Figura 11-196 - Prinvestimento: sforzo di taglio (FASE 9)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 236 di 285

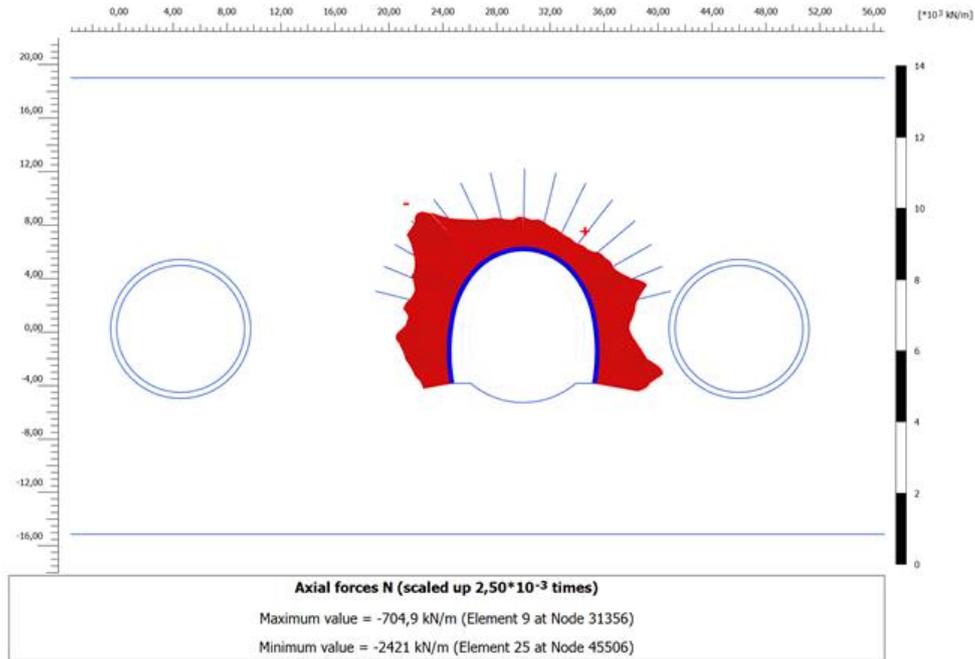


Figura 11-197 - Prerivestimento: sforzo assiale (FASE 9)

Sollecitazioni di verifica (M,T,N) sul rivestimento definitivo – FASE 16

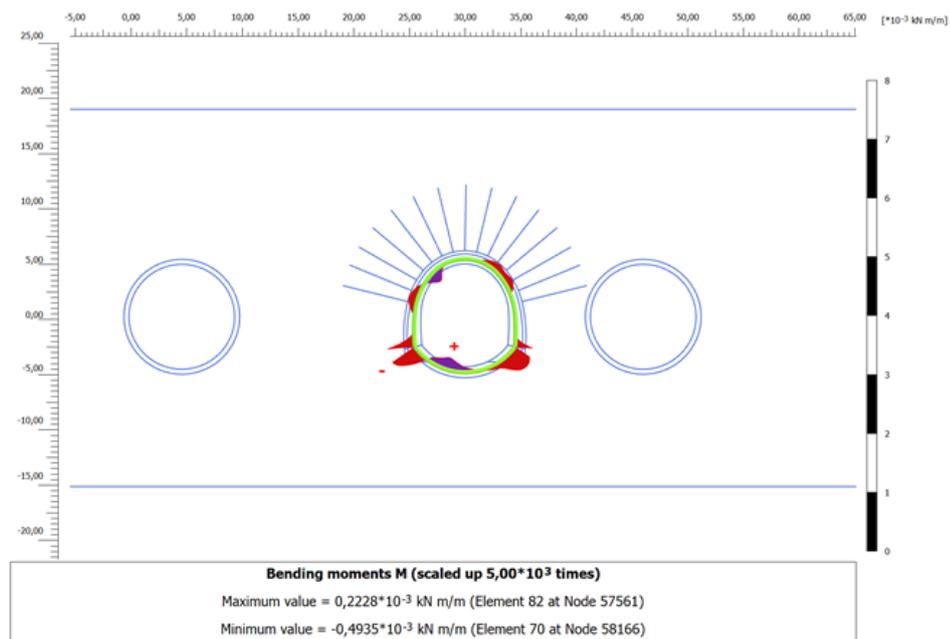


Figura 11-198 - Rivestimento definitivo: Momento flettente (FASE 16)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 237 di 285

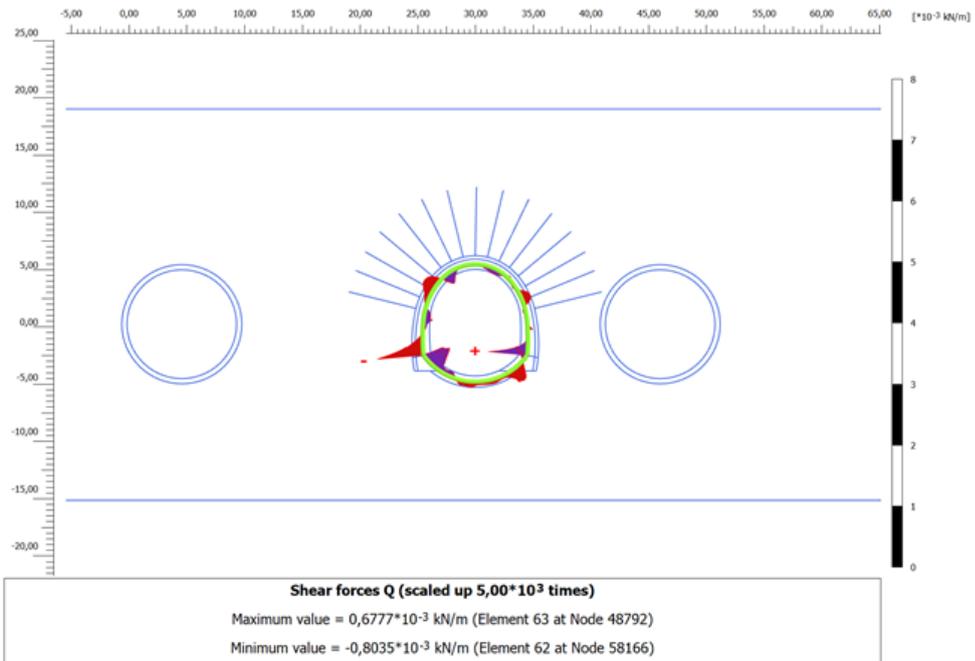


Figura 11-199 - Rivestimento definitivo: sforzo di taglio (FASE 16)

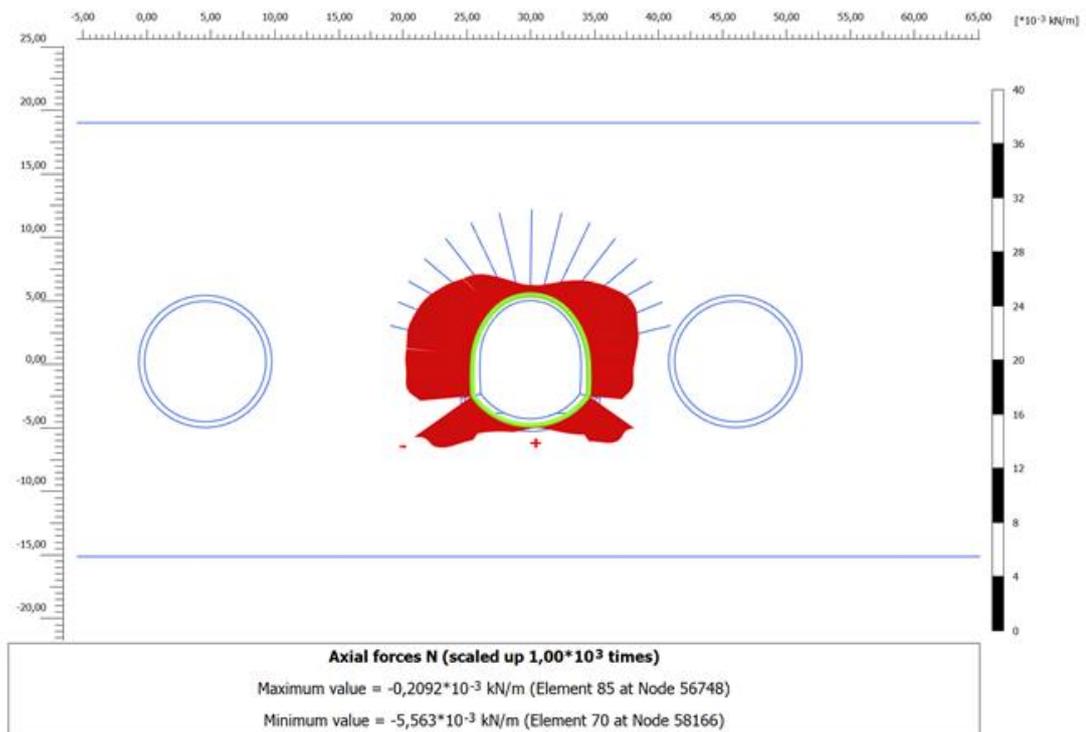


Figura 11-200 -Rivestimento definitivo: sforzo assiale (FASE 20)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 238 di 285

### Sforzo assiale sui bulloni radiali - FASE 13

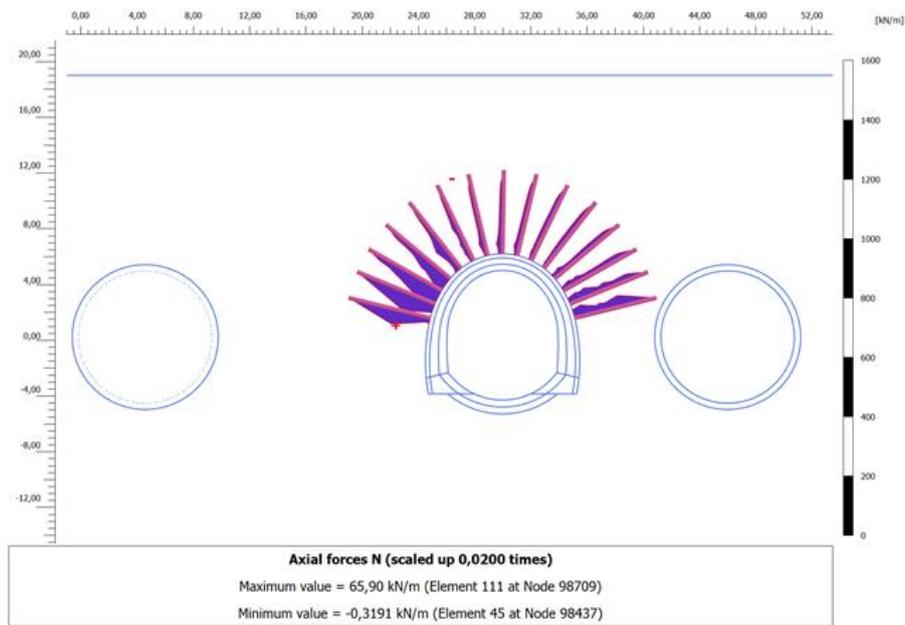


Figura 11-201 - Sforzo assiale sui bulloni radiali (FASE 13)

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 239 di 285

### 11.15.2.2. Verifica dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento provvisorio è stato verificato nei confronti dello SLU a presso-flessione e taglio, applicando i coefficienti parziali sulle azioni secondo le procedure descritte. Le verifiche fanno riferimento all'analisi che simula la realizzazione dello scavo per fasi, in particolare alla fase immediatamente precedente il getto dell'arco rovescio (FASE7). Le caratteristiche del rivestimento provvisorio sono sintetizzate nelle tabelle seguenti:

Elemento	Spritz-beton			EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]
	h (cm)	R <sub>ck</sub>	E <sub>om</sub> (GPa)		
Spritz- beton maturato (28gg)	30	37	33.019	9,91E+06	74,29E+03

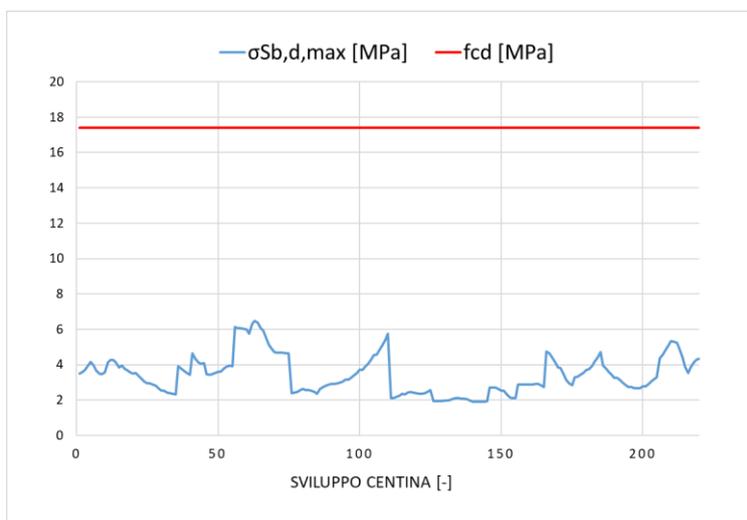


Figura 11-202 - Verifica a compressione dello spritz – Sezione LTs

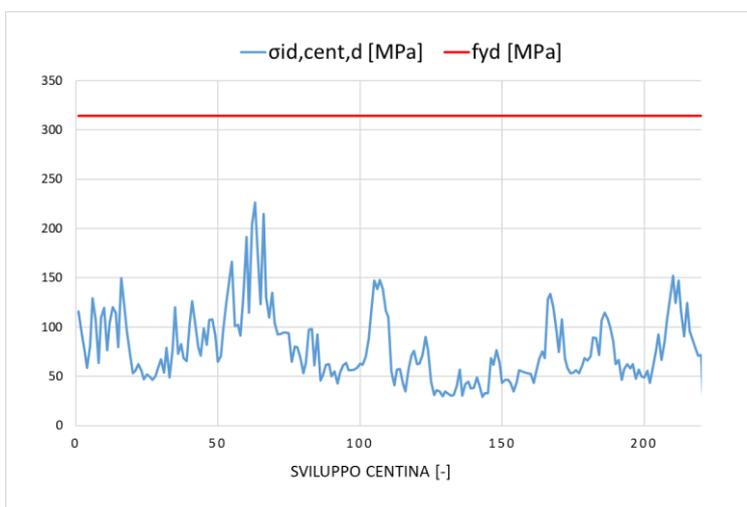


Figura 11-203– Verifica a pressoflessione e taglio della centina – Sezione LTs

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	240 di 285
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

### 11.15.2.3. Verifica dei rivestimenti definitivi

Il rivestimento definitivo è stato verificato nelle fasi di rilascio completo; in questo paragrafo si riportano i risultati delle verifiche con particolare attenzione alla FASE 16 in cui è simulato il degrado dei parametri dell'ammasso roccioso. Le verifiche sono svolte nei confronti dello SLU e dello SLE applicando i coefficienti parziali sulle azioni secondo le procedure descritte. Le caratteristiche del rivestimento definitivo sono sintetizzate nelle tabelle seguenti:

Elemento	$R_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	h (m)	v (-)	EA (kN/m)	EI (kN m <sup>2</sup> /m)
Muretta	30	31447	1.3	0.2	41,2E6	5,89E6
Arco rovescio	30	31447	1.0	0.2	31,4E6	2,62E6
calotta	30	31447	0.9	0.2	28,3E6	1,91E6

È stata considerata un'area di armatura minima in direzione principale pari allo 0,2% dell'area di calcestruzzo ed in direzione secondaria un'area almeno pari al 20% di quella principale. È stata inoltre considerata un'armatura minima a taglio.

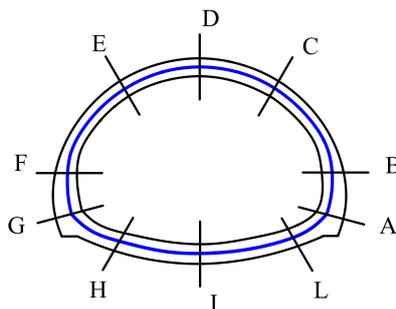


Figura 11-204 - Sezioni di riferimento per le verifiche

Sezione	$b_w$ [mm]	d [mm]
A	1,0	1,24
B	1,0	0,87
C	1,0	0,83
D	1,0	0,83
E	1,0	0,83
F	1,0	0,83
G	1,0	1,24
H	1,0	0,93
I	1,0	0,93
L	1,0	0,93

Tabella 11-66 - Sezioni di riferimento per le verifiche

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	241 di 285

### Verifiche SLE

Sezione	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$A_s$ $A's$	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
A	-4092,7	-355,4	1000	1248	5f20 5f20	-4,2	-29,7
B	-4256,7	29,4	1000	878	5f20 5f20	-4,5	-62,3
C	-2448,5	-128,0	1000	838	5f20 5f20	-3,4	-27,8
D	-762,8	21,6	1000	838	5f20 5f20	-0,9	-10,2
E	-3622,9	209,3	1000	838	5f20 5f20	-5,2	-39,4
F	-5362,1	-154,7	1000	838	5f20 5f20	-6,7	-71,7
G	-5257,5	-11,6	1000	1248	5f20 5f20	-3,9	-57,6
H	-5135,2	-481,8	1000	938	5f20 5f20	-7,5	-39,3
I	-717,6	217,0	1000	936	5f24 5f24	-1,9	9,8
L	-3840,0	-341,2	1000	938	5f20 5f20	-5,5	-30,7

Tabella 11-67- verifica tensionale – SLE (FASE 16)

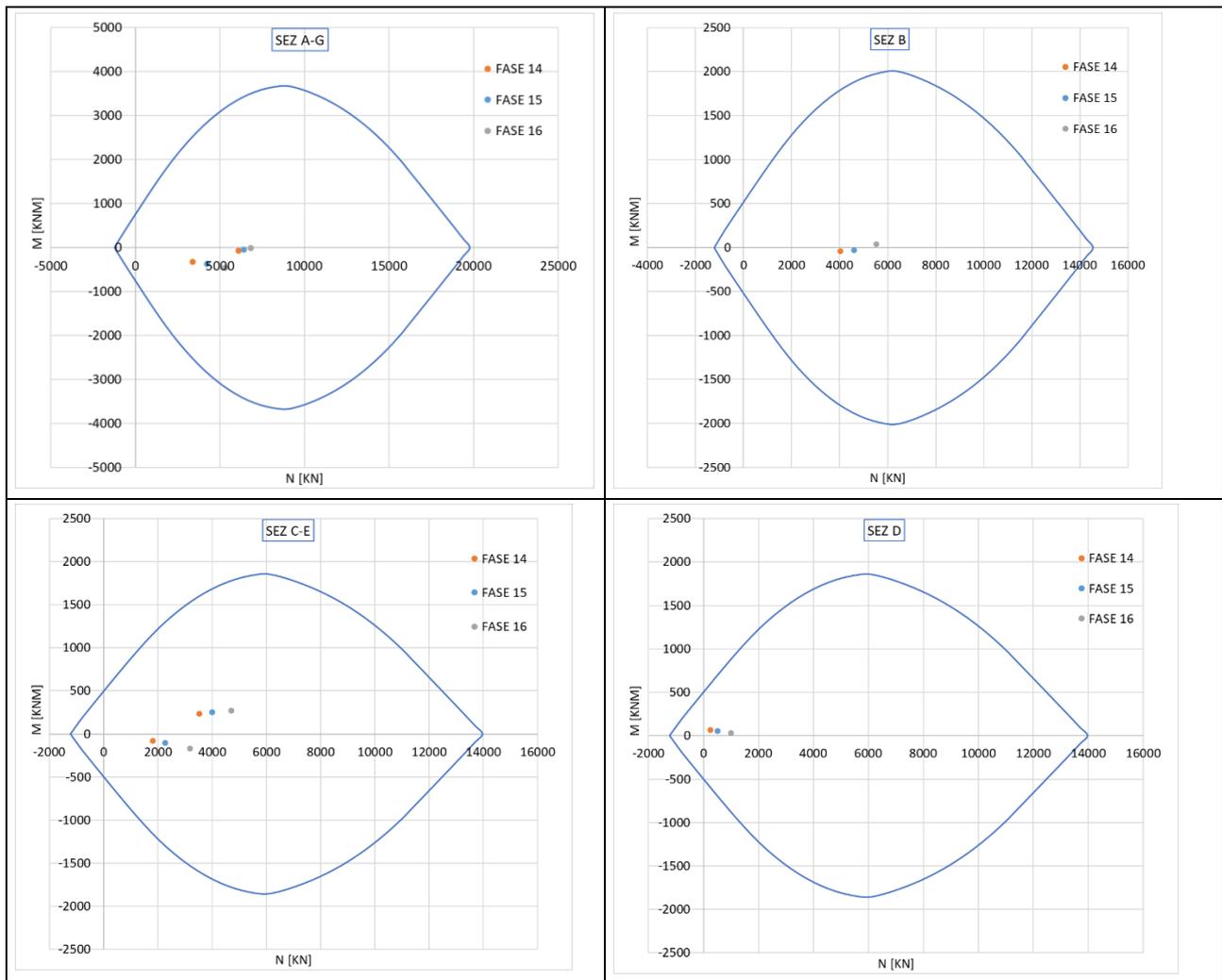
Sezione	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$A_s$ $A's$	$M_i$ [kNm]	$w_d$ [mm]
A	-4092,7	-355,4	1000	1248	5f20 5f20	-1602,5	-
B	-4256,7	29,4	1000	878	5f20 5f20	1056,5	-
C	-2448,5	-128,0	1000	838	5f20 5f20	-711,2	-
D	-762,8	21,6	1000	838	5f20 5f20	442,8	-
E	-3622,9	209,3	1000	838	5f20 5f20	898,1	-

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	242 di 285

F	-5362,1	-154,7	1000	838	5f20 5f20	-1174,9	-
G	-5257,5	-11,6	1000	1248	5f20 5f20	-1869,7	-
H	-5135,2	-481,8	1000	938	5f20 5f20	-1299,9	-
I	-717,6	217,0	1000	936	5f24 5f24	539,6	-
L	-3840,0	-341,2	1000	938	5f20 5f20	-1071,3	-

Tabella 11-68 – Verifica apertura fessure SLE (FASE 16)

### Verifiche SLU



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 243 di 285

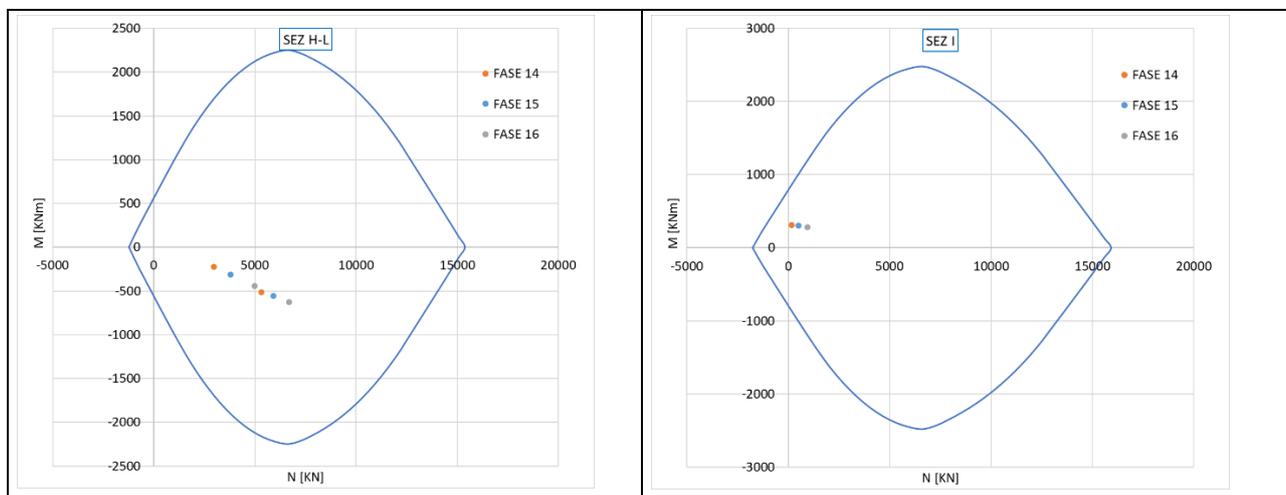


Tabella 11-69 – Verifica a presso-flessione SLU, domo di resistenza (FASI 14-15-16)

Sezione	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$A_s$ $A's$	$M_{Rd}$ [kNm]
A	-5320,5	-462,1	1000	1248	5f20 5f20	-3183,0
B	-5533,7	38,2	1000	878	5f20 5f20	1987,2
C	-3183,1	-166,4	1000	838	5f20 5f20	-1540,3
D	-991,7	28,1	1000	838	5f20 5f20	884,4
E	-4709,7	272,1	1000	838	5f20 5f20	1788,5
F	-6970,7	-201,1	1000	838	5f20 5f20	-1788,0
G	-6834,8	-15,1	1000	1248	5f20 5f20	-3504,5
H	-6675,8	-626,3	1000	938	5f20 5f20	-2253,4
I	-932,9	282,1	1000	936	5f24 5f24	1203,0
L	-4992,0	-443,6	1000	938	5f20 5f20	-2126,9

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:							
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	244 di 285

Tabella 11-70 – Verifica a presso-flessione SLU (FASE 16)

Sezione	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$b_w$ [mm]	$d$ [mm]	$A_s$	$V_{Rd}$ [kN]
A	-5320,5	220,1	1000	1248	5f12	889,5
B	-5533,7	14,2	1000	878	2,5f12	647,0
C	-3183,1	60,3	1000	838	2,5f12	620,5
D	-991,7	-5,0	1000	838	2,5f12	-404,3
E	-4709,7	-0,7	1000	838	2,5f12	-620,5
F	-6970,7	23,8	1000	838	2,5f12	620,5
G	-6834,8	88,8	1000	1248	2,5f12	889,5
H	-6675,8	147,5	1000	938	2,5f12	686,6
I	-932,9	-74,8	1000	936	2,5f12	-429,7
L	-4992,0	-234,8	1000	938	2,5f12	-686,6

Tabella 11-71- Verifica a taglio SLU (FASE 16)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	245 di 285	

#### 11.15.2.4. Verifica bulloni radiali

Gli interventi radiali della sezione LTs 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	$i_{long}$	$\alpha$	$q_s$	$f_{tk}$	$f_{yk}$	$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\xi_a$
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
14+15 barre $\Phi 24$	51	6	1.2	1.0	350	540	450	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 65.9 * 1.3 = 85.7 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

$\gamma_g$  = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento** risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.1 \cdot \pi \cdot 0.051 \cdot 6 \cdot 350}{1.1 \cdot 1.6} = 206.1 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d * 3.$$

Con **FS=2.40**

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=2.06**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	246 di 285	

## 11.16 SEZIONE LMS

### 11.16.1 STABILITA' DEL FRONTE

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo LMs eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
LMS	5.5	585	15.8	27	1894	30.9	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math>: tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>							

Tabella 11-72 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione LMS

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
LMS	6.3	0.12	6.83	1.24	A	A	B

Tab. 3 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo LMS

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 247 di 285

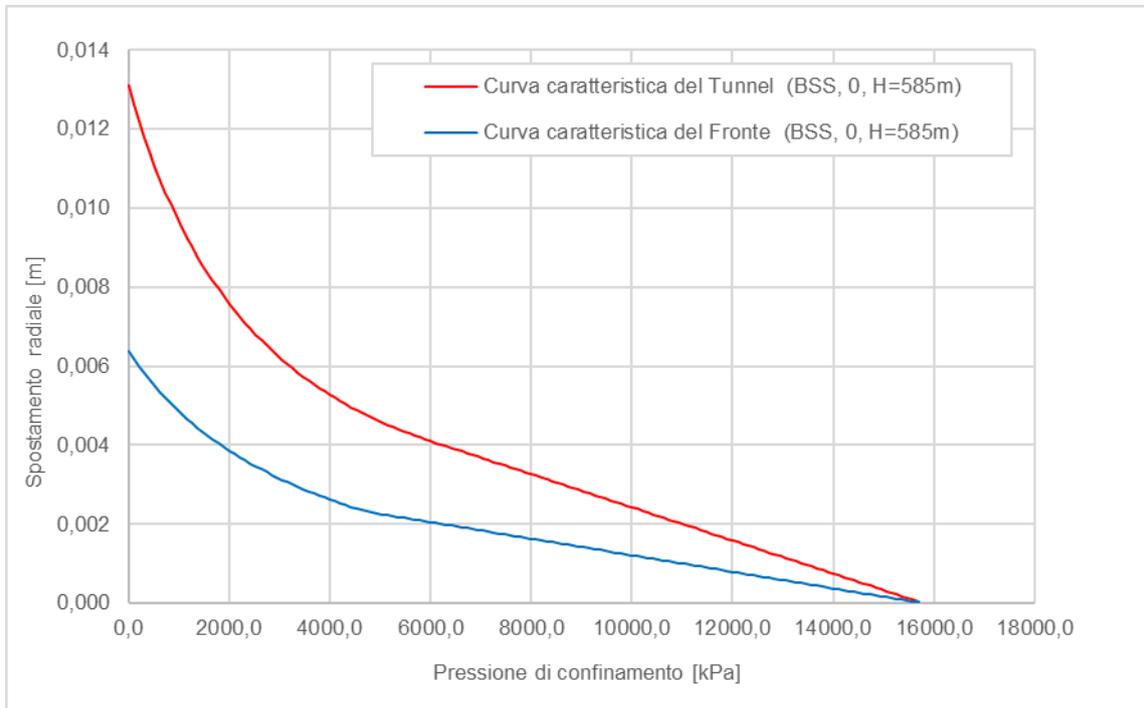


Figura 11-205 – Curve caratteristiche – Sezione LMs

### 11.16.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Vista l’analogia della sezione con la LMs presente in Scaleres, ed essendo quest’ultima stata verificata con parametri geomeccanici peggiori, possono ritenersi automaticamente soddisfatte le verifiche di interazione opera-terreno sulla sezione in esame.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	248 di 285	

## 11.17 SEZIONE LTT

### 11.17.1 STABILITA' DEL FRONTE

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

Sezione	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\phi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
LMs	5.5	590	15.9	27	1901	30.9	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math>: tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\phi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>							

Tabella 11-73 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione LTt

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
LTt	6.4	0.12	5.77	1.24	A	A	B

Tab. 4 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo LTt

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	249 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

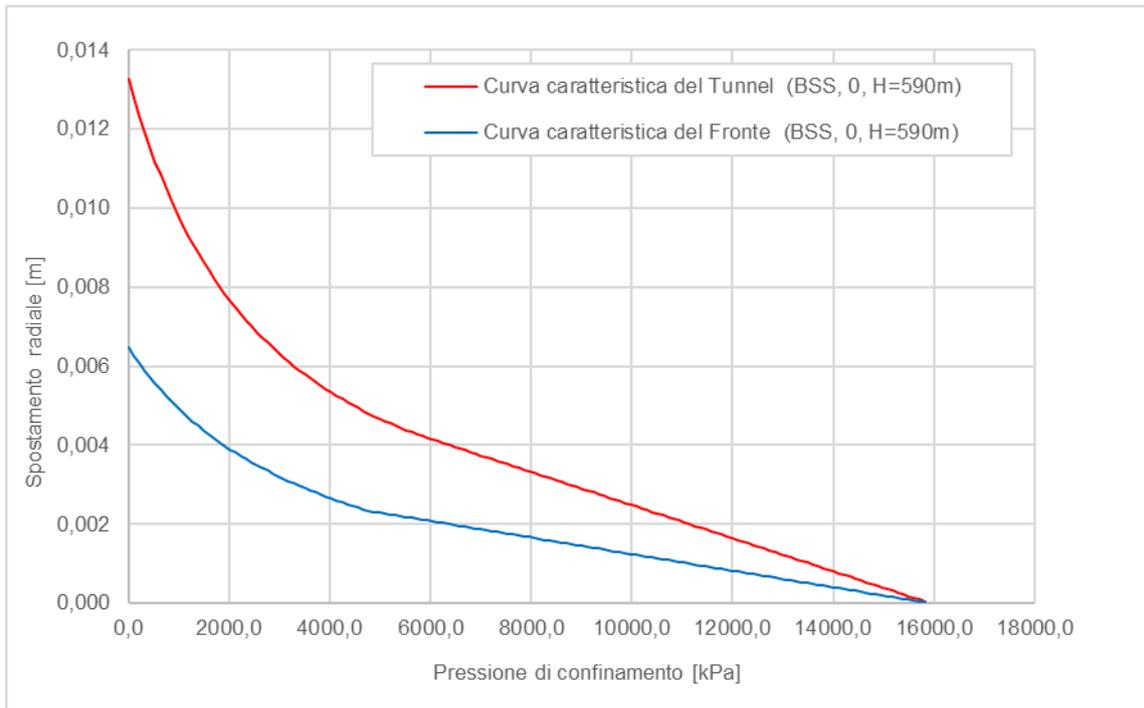


Figura 11-206 – Curve caratteristiche – Sezione LTt

### 11.17.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Vista l’analogia della sezione con la LTt presente in Scaleres, ed essendo quest’ultima stata verificata con parametri geomeccanici peggiori, possono ritenersi soddisfatte le verifiche di interazione opera-terreno sulla sezione in esame.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	250 di 285

## 11.18 SEZIONE A2 ALLARGATA

### 11.18.1 STABILITA' DEL FRONTE

Nella seguente tabella si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A2 allargata eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$S_m$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_d$ [kPa]	$\varphi'_d$ [°]	$E_d$ [MPa]
A2 allargata	6.4	590	15.9	27	1901	30.9	17056
<p>H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria  <math>S_m</math>: tensione media litostatica alla profondità dell'asse della galleria  <math>\gamma</math>: peso dell'unità di volume dell'ammasso  <math>c'_d</math>: valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso  <math>\varphi'_d</math>: valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso  <math>E_d</math>: valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso</p>							

Tabella 11-74 – Dati di input analisi con il metodo delle curve caratteristiche – Sezione A2 allargata

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	$u_F$ [mm]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [-]	Criterio 1	Criterio 2.1	Criterio 2.2
A2 allargata	7.5	0.12	7.95	1.24	A	A	B

Tab. 5 – Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A2 allargata

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 251 di 285

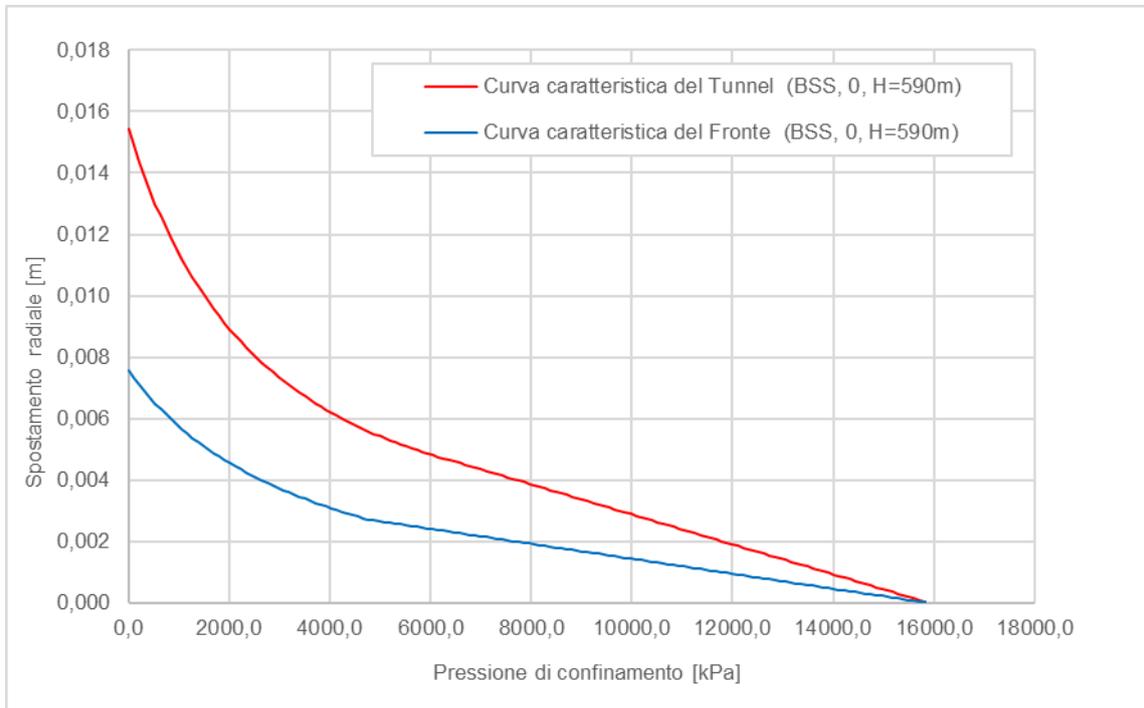


Figura 11-207 – Curve caratteristiche – Sezione A2 allargata

### 11.18.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Vista l'analogia della sezione con la A2 allargata presente in Scaleres, ed essendo quest'ultima stata verificata con parametri geomeccanici peggiori, possono ritenersi soddisfatte le verifiche di interazione opera-terreno sulla sezione in esame.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	252 di 285

## 12. VERIFICA IN CONDIZIONI DI INCENDIO SEZIONE TIPO

Nel seguente capitolo vengono presentati i risultati di verifica di resistenza al fuoco per una sezione tipo della galleria naturale, in particolare del Camerone C3.

### 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](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 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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 253 di 285

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.

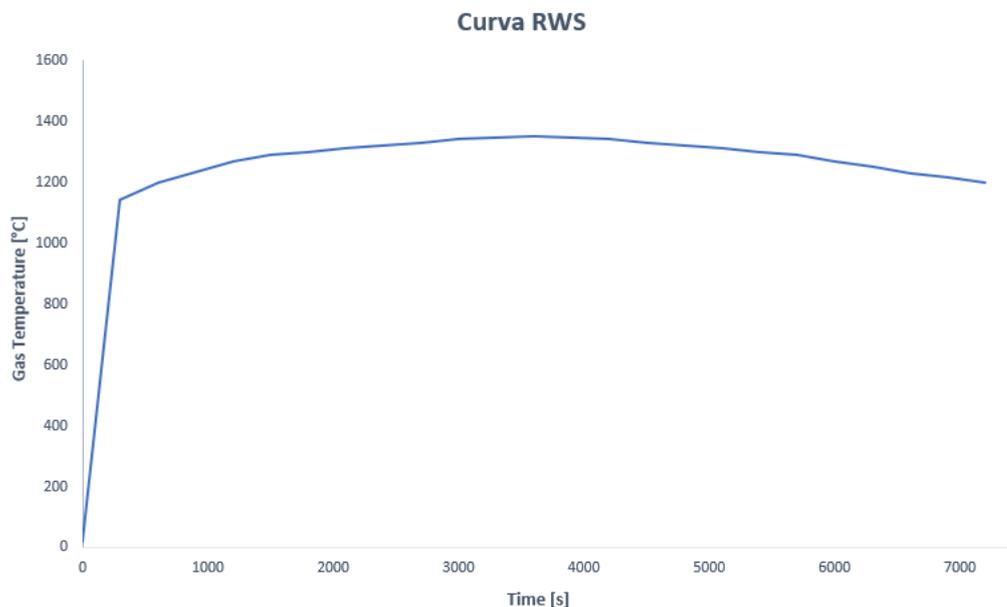


Figura 12-1 - Curva RWS

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	254 di 285

## 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.

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 255 di 285

## 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/m<sup>3</sup>

contenuto di umidità: 46 kg/m<sup>3</sup>

- coefficiente convettivo su profili caldi: 25 W/m<sup>2</sup>K
- coefficiente convettivo su profili freddi: 4 W/m<sup>2</sup>K
- emissività relativa: 0.7
- parametro per la conduttività termica  $\alpha$ : 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  $\alpha$  tramite la relazione:

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

Il parametro  $\alpha$ , 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  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 700 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\alpha(\theta) = (140 \times 10^{-3}) / \theta$  per  $700 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}$

### 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/m<sup>2</sup>K
- coefficiente convettivo su profili freddi: 4 W/m<sup>2</sup>K
- emissività relativa: 0.7

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	256 di 285

## 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;
- 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.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 257 di 285

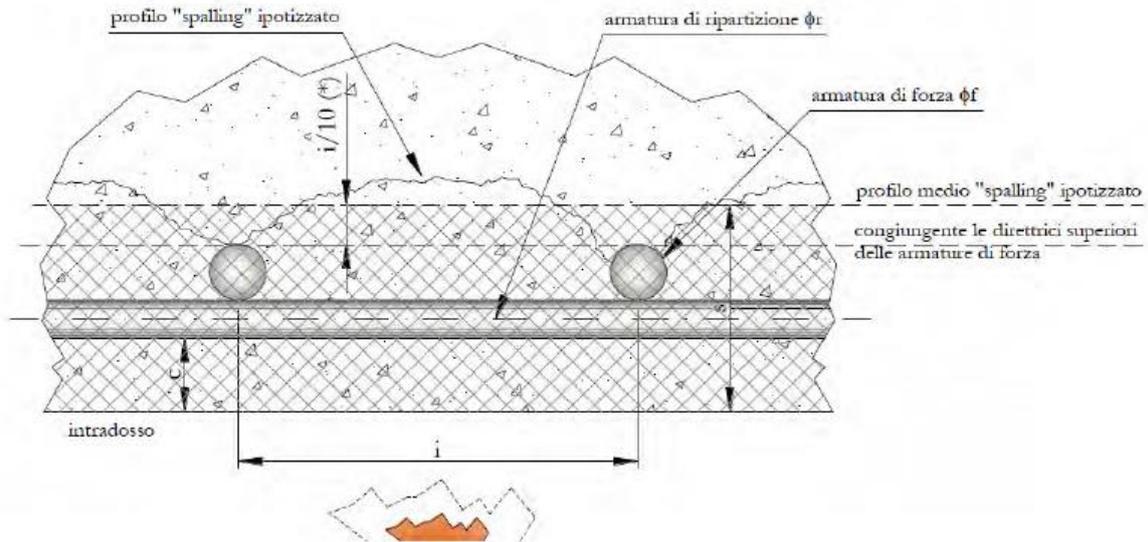


Figura 12-2 - Schema per la valutazione della profondità di 'spalling' per sezioni armate

E' 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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. FOGLIO. C 258 di 285

## 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]	$f_{c,T}/f_{ck}$	$f_{ct,T}/f_{ctk}$	$\epsilon_{pscl,ETC}$	$\epsilon_{ps0,ETC}$	$E_{0,ETC}/f_{ck}$	$\Phi$
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 12-3 - evoluzione delle proprietà del materiale con la temperatura

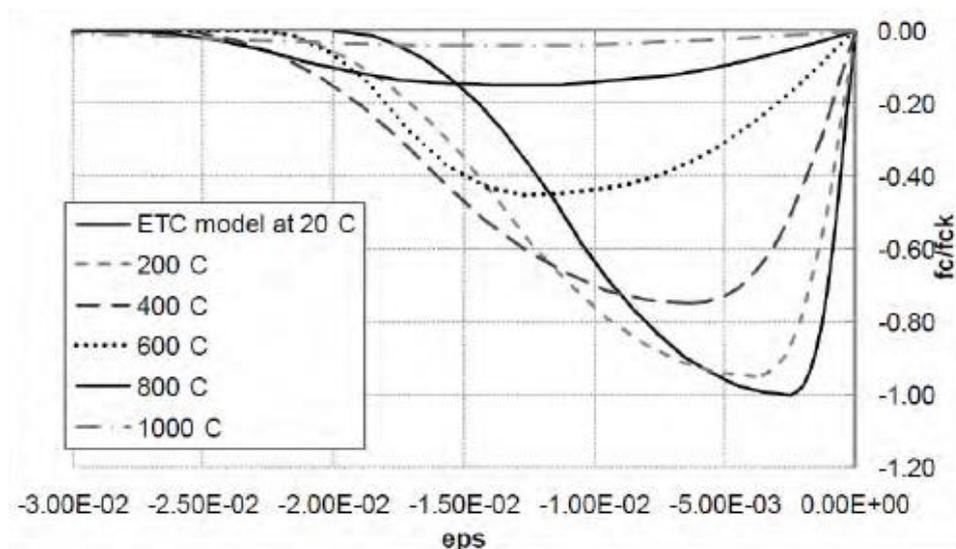


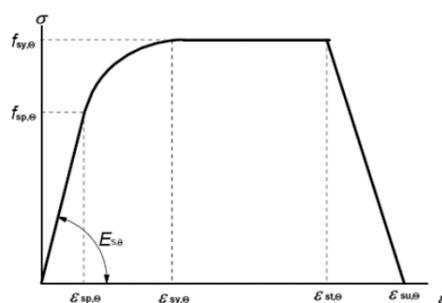
Figura 12-4 - modello costitutivo per il calcestruzzo in funzione della temperatura

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 259 di 285

## 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 nella seguente tabella:

Steel Temperature $\theta$ [°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



Range	Stress $\sigma(\theta)$	Tangent modulus
$\epsilon \leq \epsilon_{sp,\theta}$	$\epsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\epsilon_{sp,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon)}{a[a^2 - (\epsilon - \epsilon_{sy,\theta})^2]^{1,5}}$
$\epsilon_{sy,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\epsilon_{st,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} [1 - (\epsilon - \epsilon_{st,\theta}) / (\epsilon_{su,\theta} - \epsilon_{st,\theta})]$	-
$\epsilon = \epsilon_{su,\theta}$	0,00	-
Parameter <sup>1)</sup>	$\epsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ $\epsilon_{sy,\theta} = 0,02$ $\epsilon_{st,\theta} = 0,15$ $\epsilon_{su,\theta} = 0,20$ Class A reinforcement: $\epsilon_{st,\theta} = 0,05$ $\epsilon_{su,\theta} = 0,10$	
Functions	$a^2 = (\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon_{sp,\theta})(\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c (\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\epsilon_{sy,\theta} - \epsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	260 di 285

## 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:

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

- 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	v	ko	γ
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]
C3	11175	0,3	0,9	27

Figura 12-5 - Parametri geotecnici

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	261 di 285

## 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.

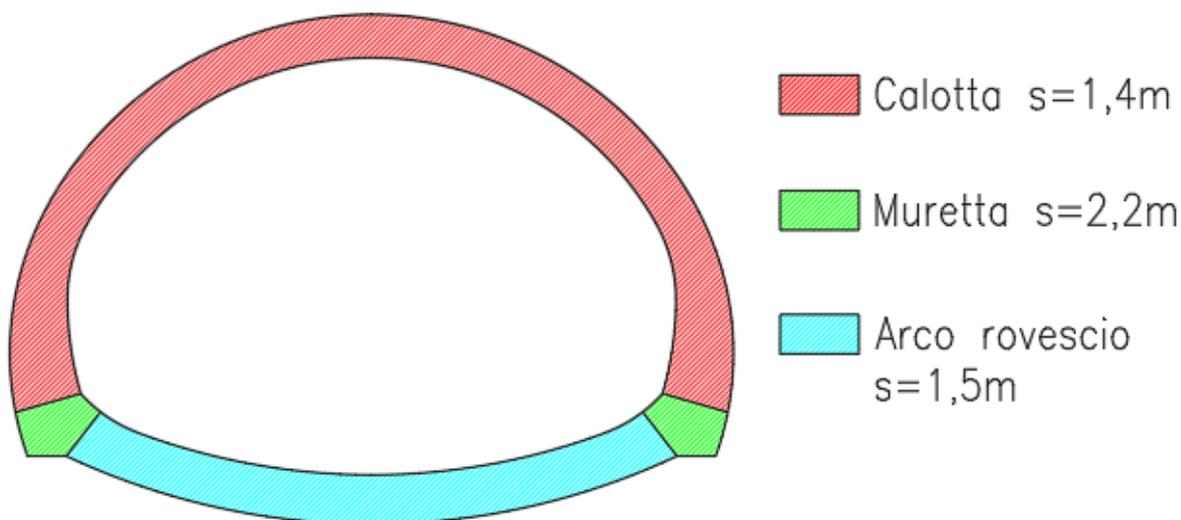


Figura 12-6 - Sezione C3

## 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'  $i$ -mo 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'  $i$ -mo istante 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: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 262 di 285

## Modello strutturale

### Sezione C3:

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.

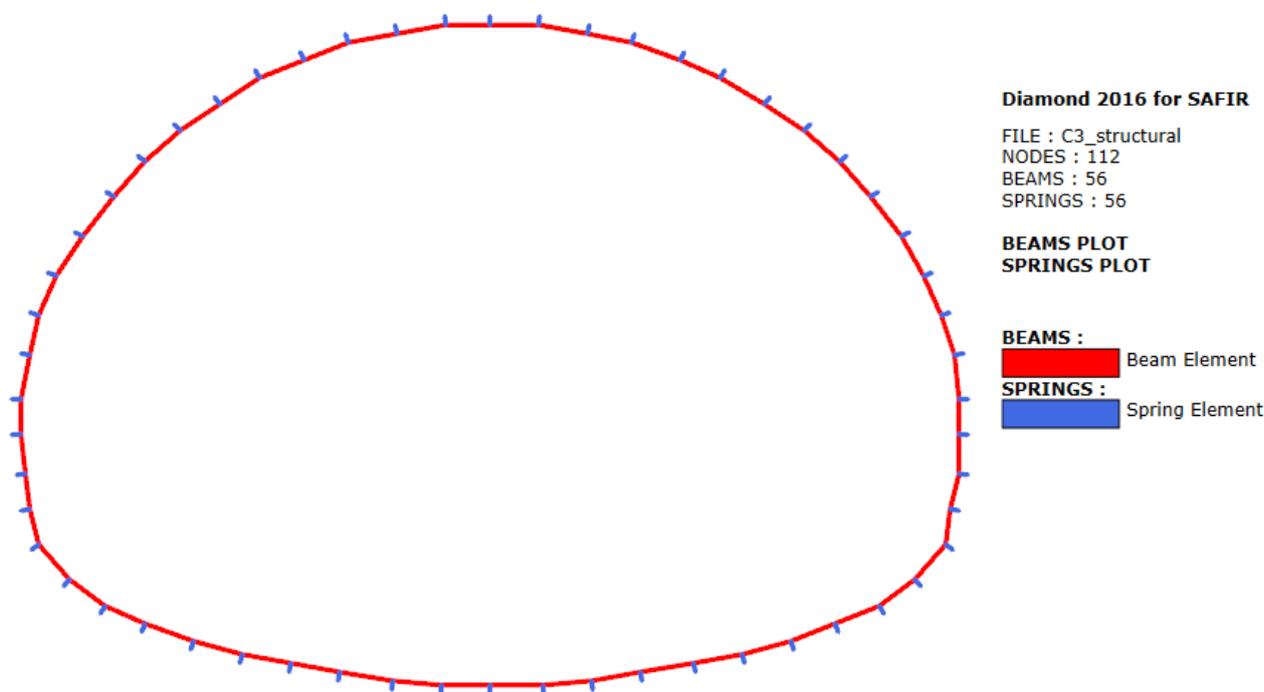


Figura 12-7 - Sezione C3 rappresentata tramite elementi 'beam'

Si evidenzia come la sezione dell'arco rovescio e delle murette non siano soggette 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	263 di 285
GALLERIE							
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale							

		K		A		
		[N/m]		[m]		
AR	ELEM	1	9,18E+08	0,91865		
	ELEM	2	1,56E+09	1		
	ELEM	3	1,56E+09	1		
	ELEM	4	6,17E+08	1,0703		
	ELEM	5	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	6	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	7	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	8	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	9	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	10	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	11	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	12	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	13	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	14	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	15	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	16	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	17	3,84E+08	1,1406		
	ELEM	18	6,17E+08	1,0703		
	ELEM	19	1,56E+09	1		
	ELEM	20	1,56E+09	1		
	ELEM	21	9,18E+08	0,91865		
MURETT_DX	ELEM	22	6,50E+08	0,8373		
	ELEM	23	6,50E+08	0,8373		
	ELEM	24	6,50E+08	0,8373		
	ELEM	25	8,59E+08	0,90765		
CAL	ELEM	26	1,27E+09	0,978		
	ELEM	27	1,27E+09	0,978		
	ELEM	28	9,54E+08	1,0303		
	ELEM	29	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	30	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	31	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	32	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	33	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	34	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	35	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	36	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	37	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	38	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	39	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	40	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	41	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	42	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	43	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	44	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	45	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	46	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	47	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	48	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	49	7,64E+08	1,0826		
	ELEM	50	9,54E+08	1,0303		
	ELEM	51	1,27E+09	0,978		
	ELEM	52	1,27E+09	0,978		
	MURETT_DX	ELEM	53	8,59E+08	0,90765	
		ELEM	54	6,50E+08	0,8373	
		ELEM	55	6,50E+08	0,8373	
		ELEM	56	6,50E+08	0,8373	

Figura 12-8 - Rigidezza molle

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 264 di 285

## 12.1 SEZIONE C3

### ANALISI DELLA TEMPERATURA NEL TEMPO

- Calotta

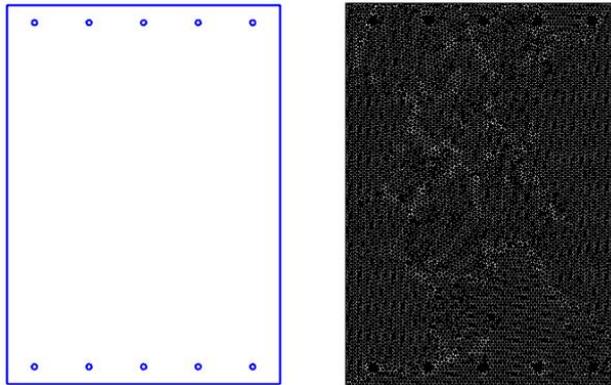


Figura 12-9 - Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

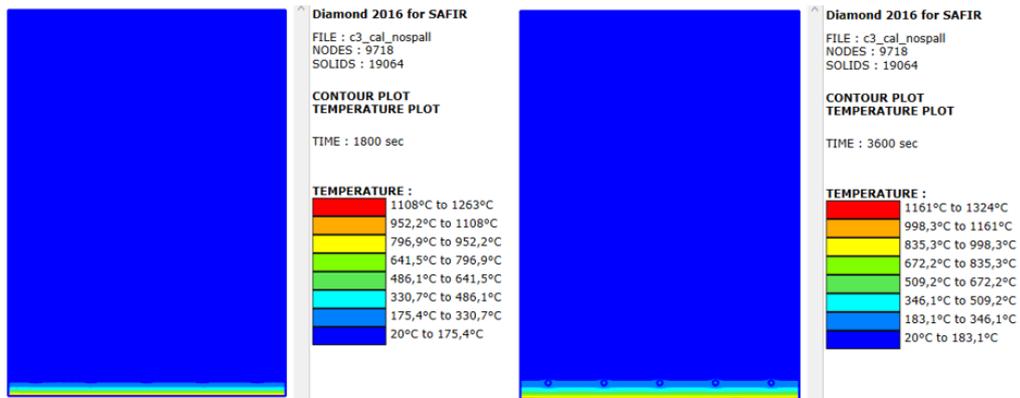


Figura 12-10 - Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

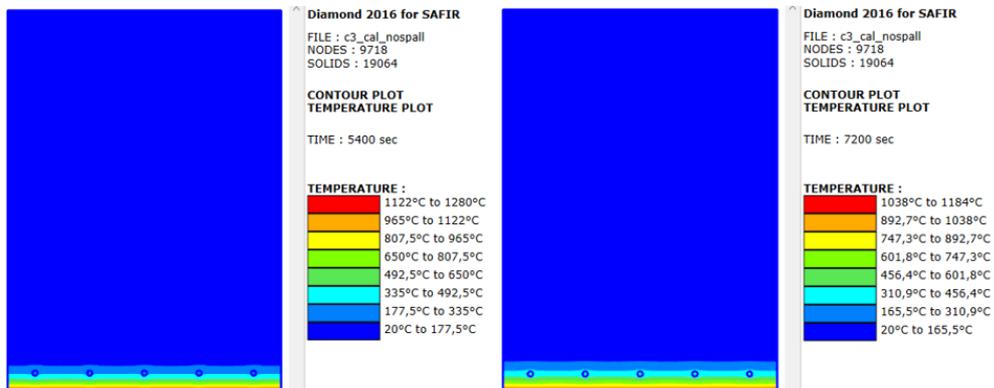


Figura 12-11 - Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 265 di 285

## RISULTATI DELL' ANALISI MECCANICA

### Risultati al tempo $t = 0$

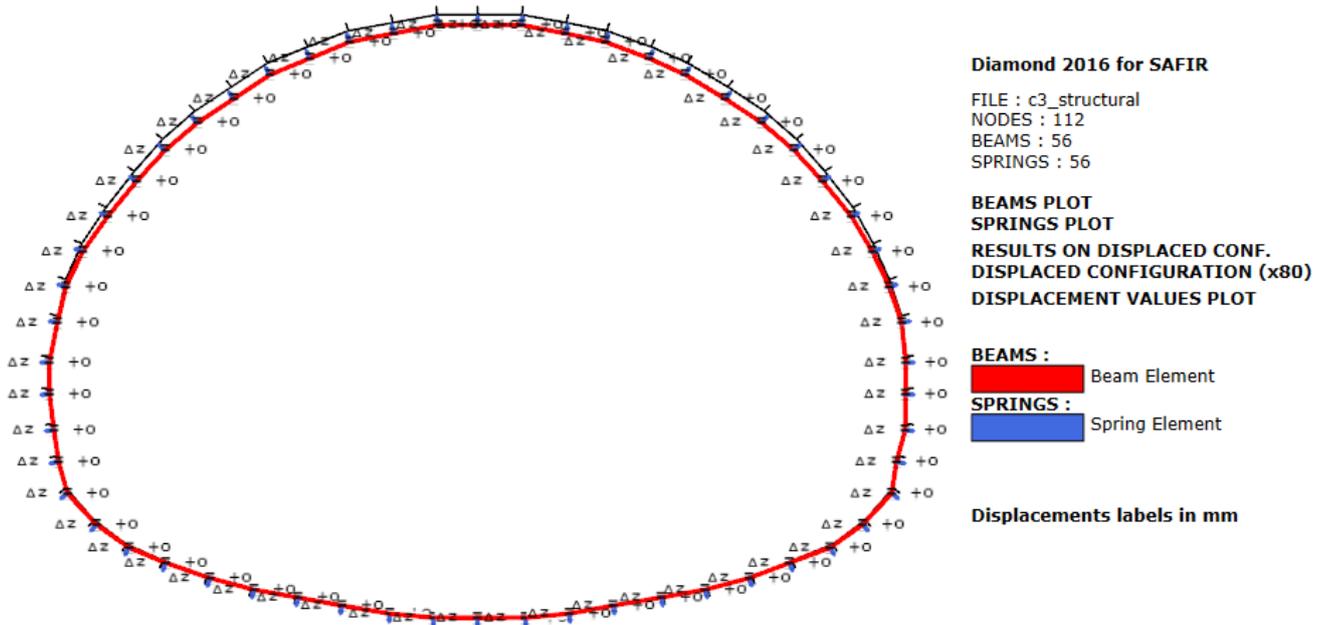


Figura 12-12 - Configurazione deformata

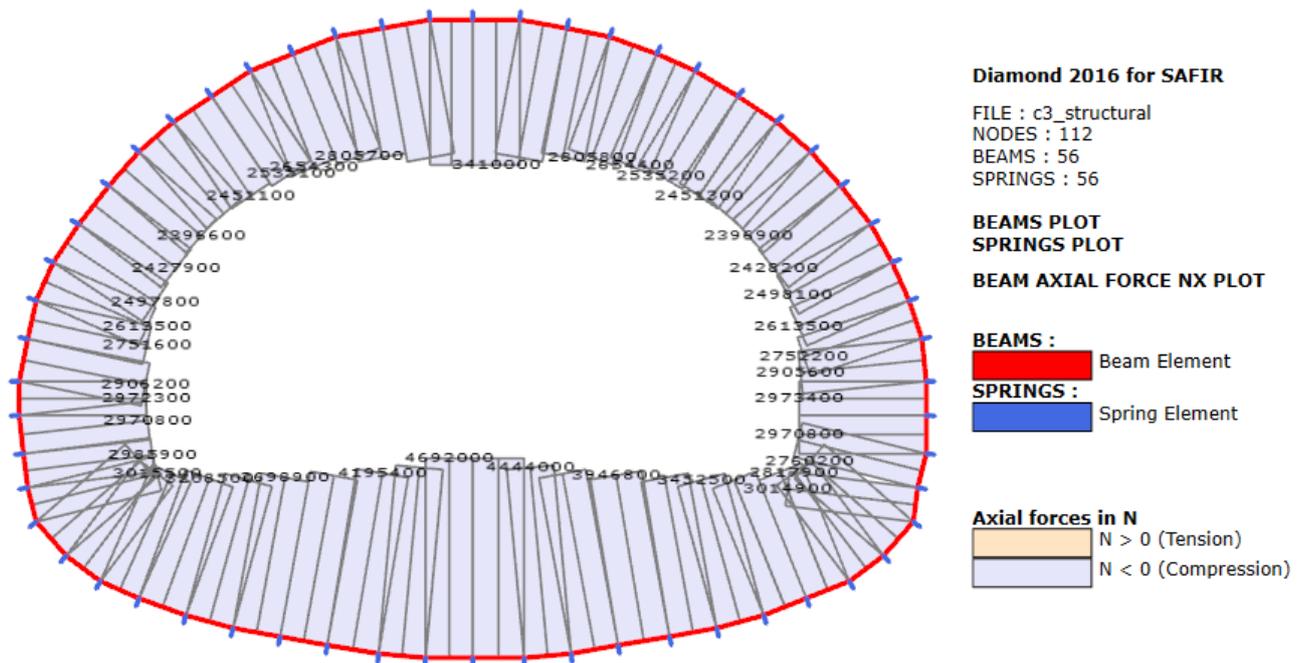


Figura 12-13 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 266 di 285

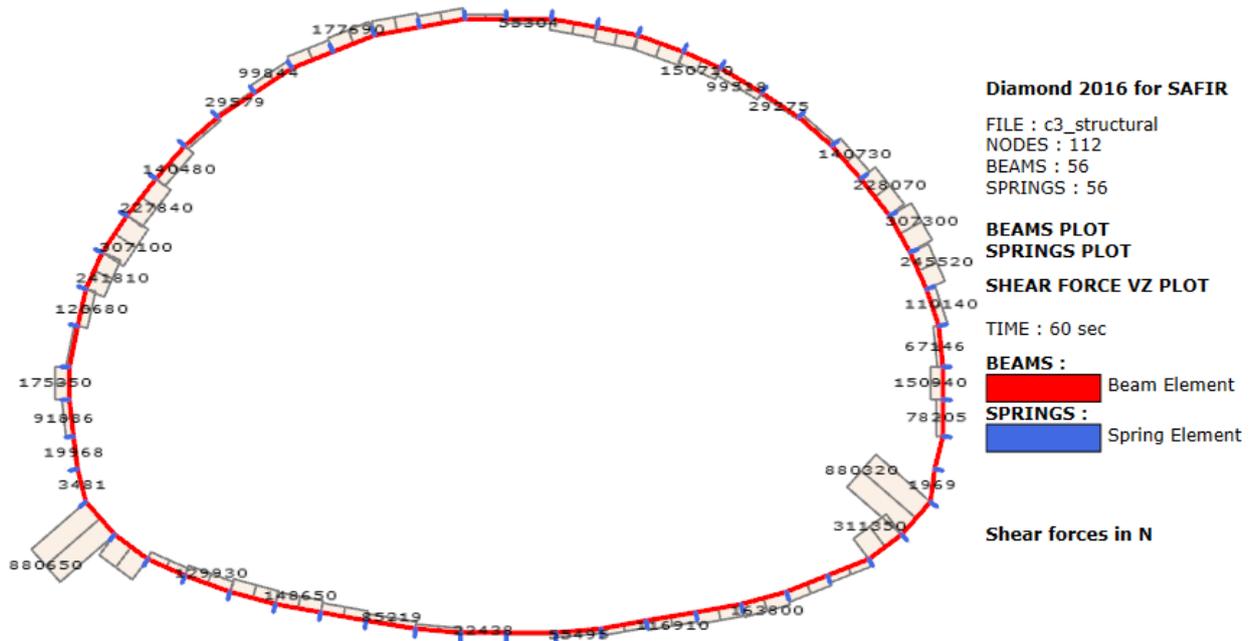


Figura 12-14 - Sforzo di taglio

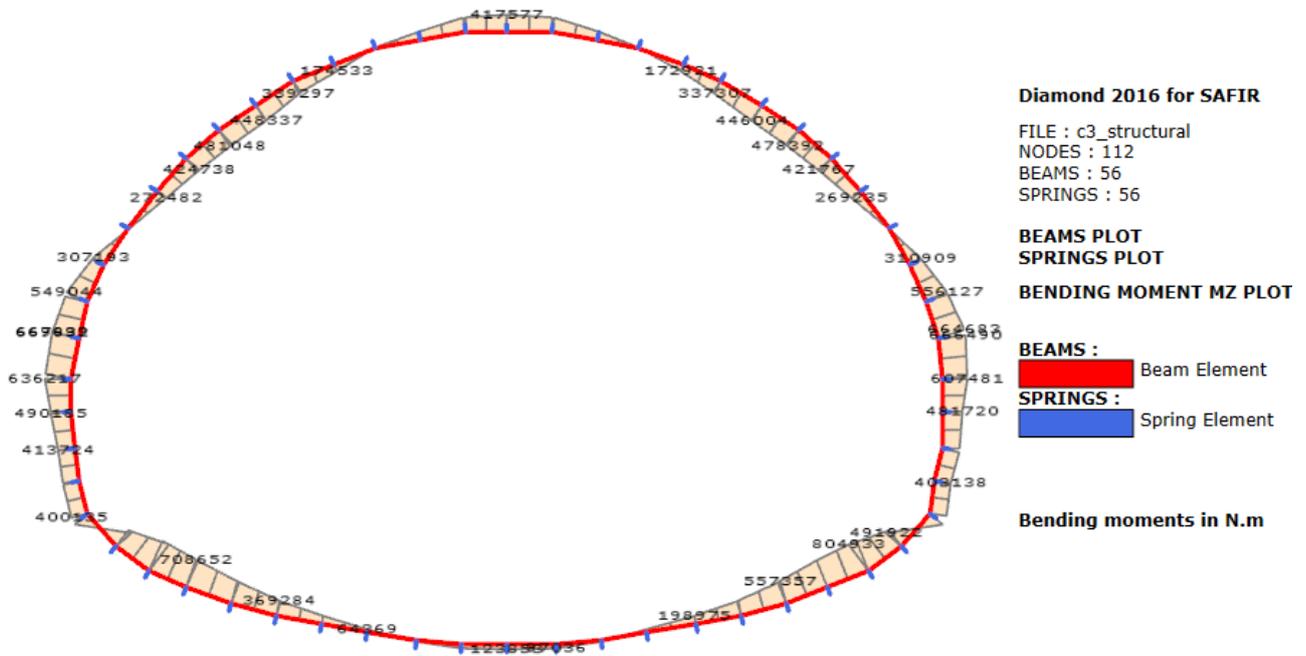


Figura 12-15 - Momento flettente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 267 di 285

**Risultati al tempo t = 30 min**

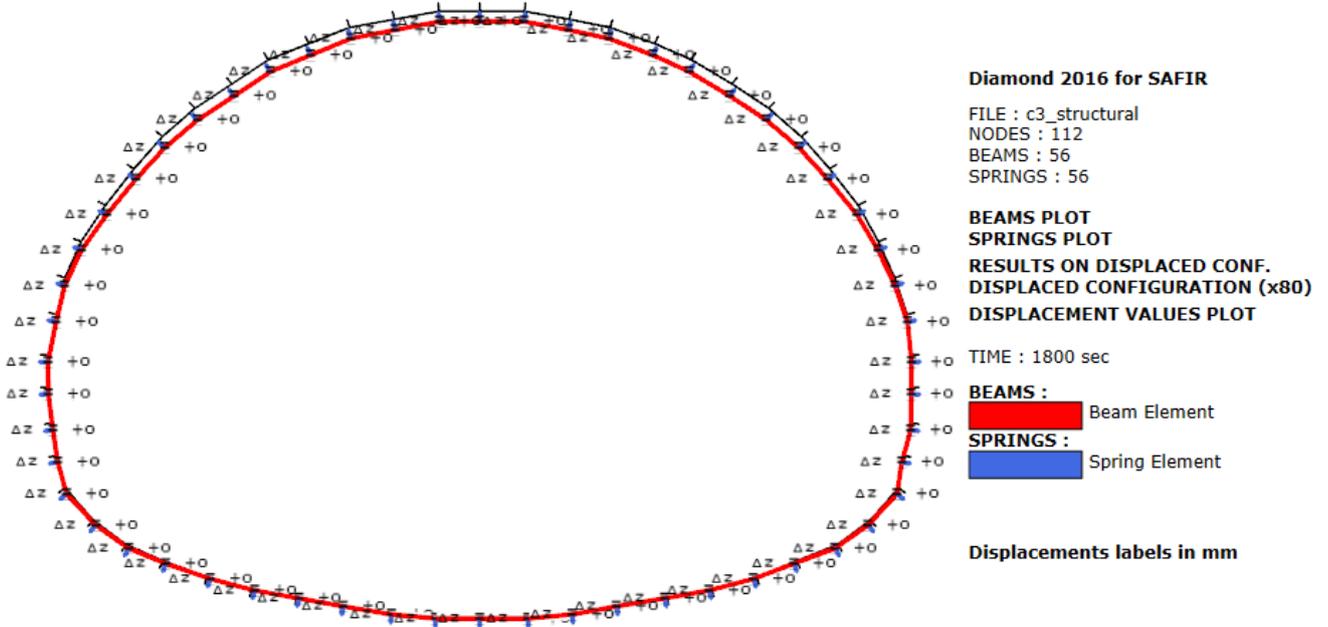


Figura 12-16 - Configurazione deformata

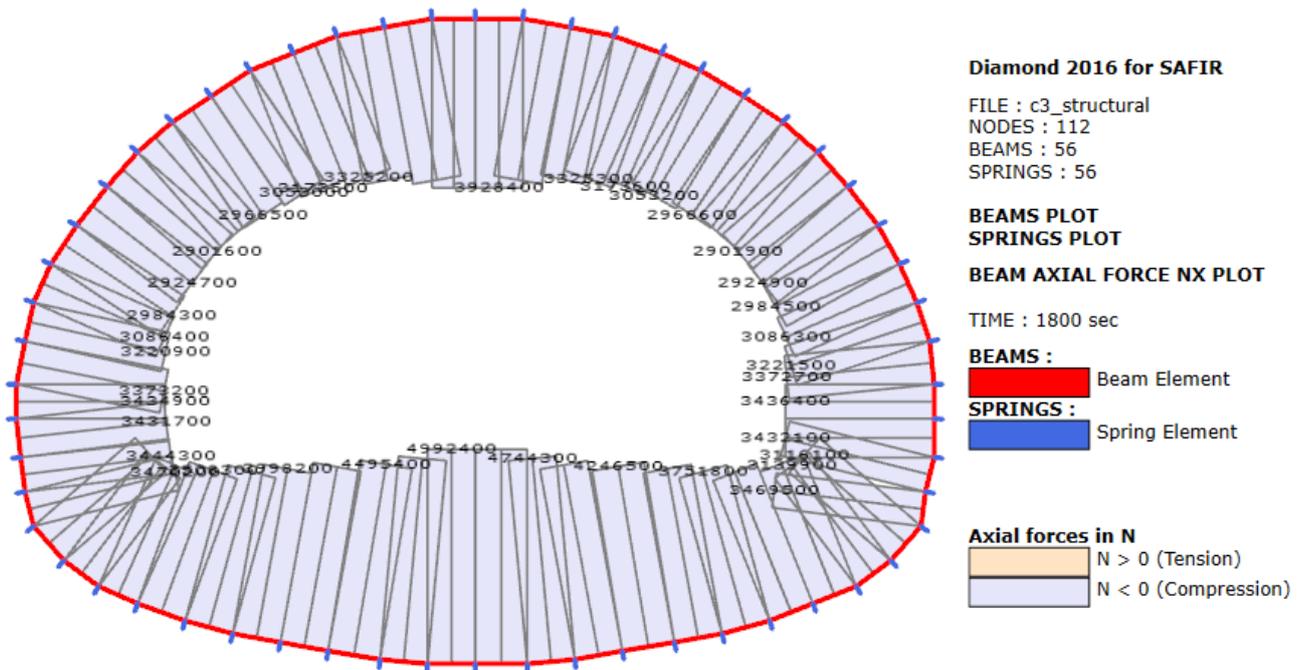


Figura 12-17 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 268 di 285

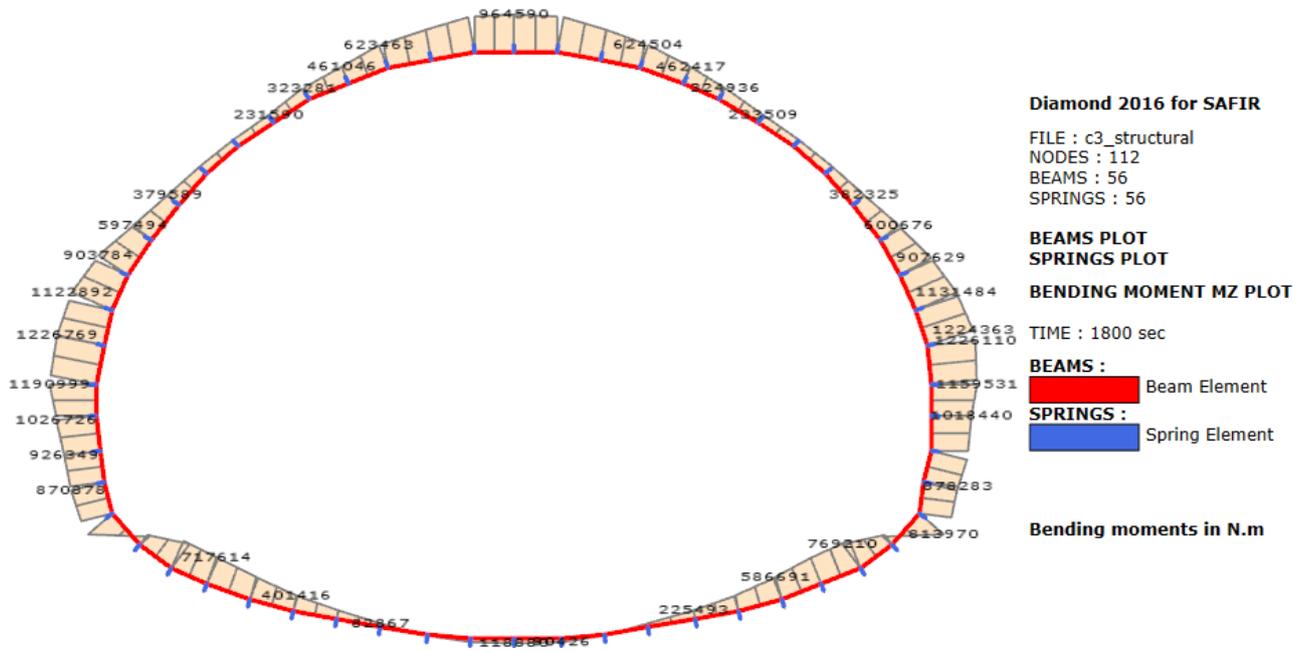


Figura 12-18 - Momento flettente

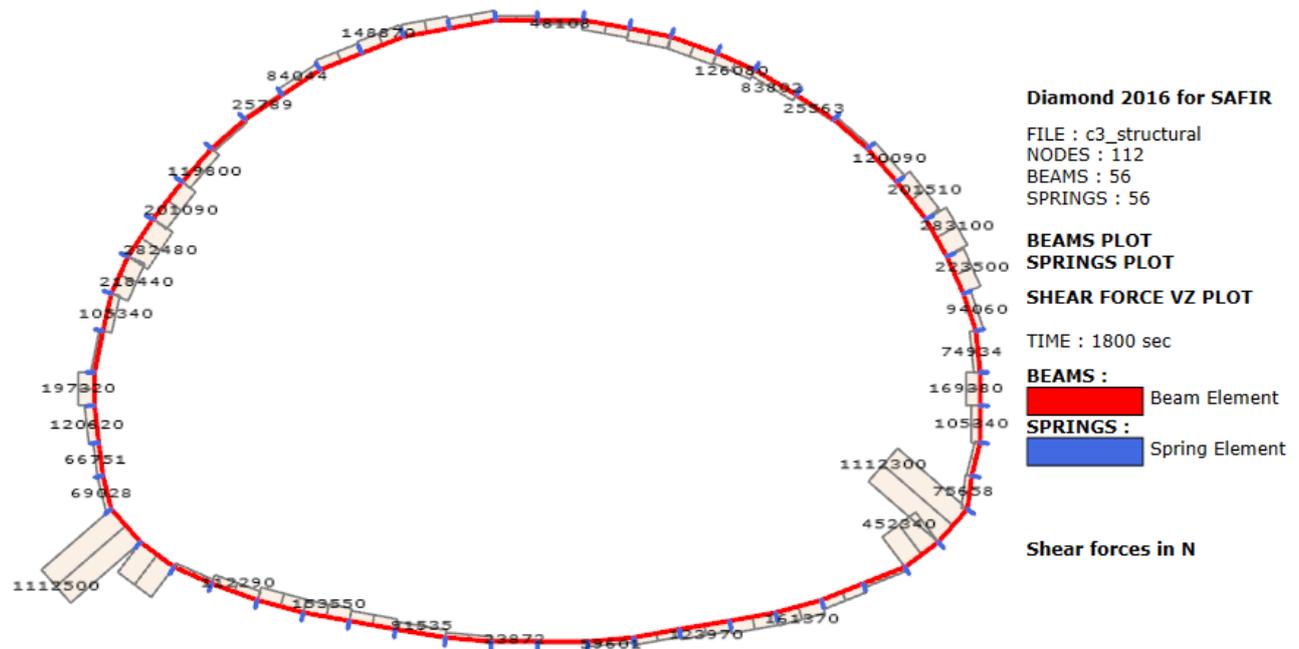


Figura 12-19 - Sforzo di taglio

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 269 di 285

**Risultati al tempo t = 60 min**

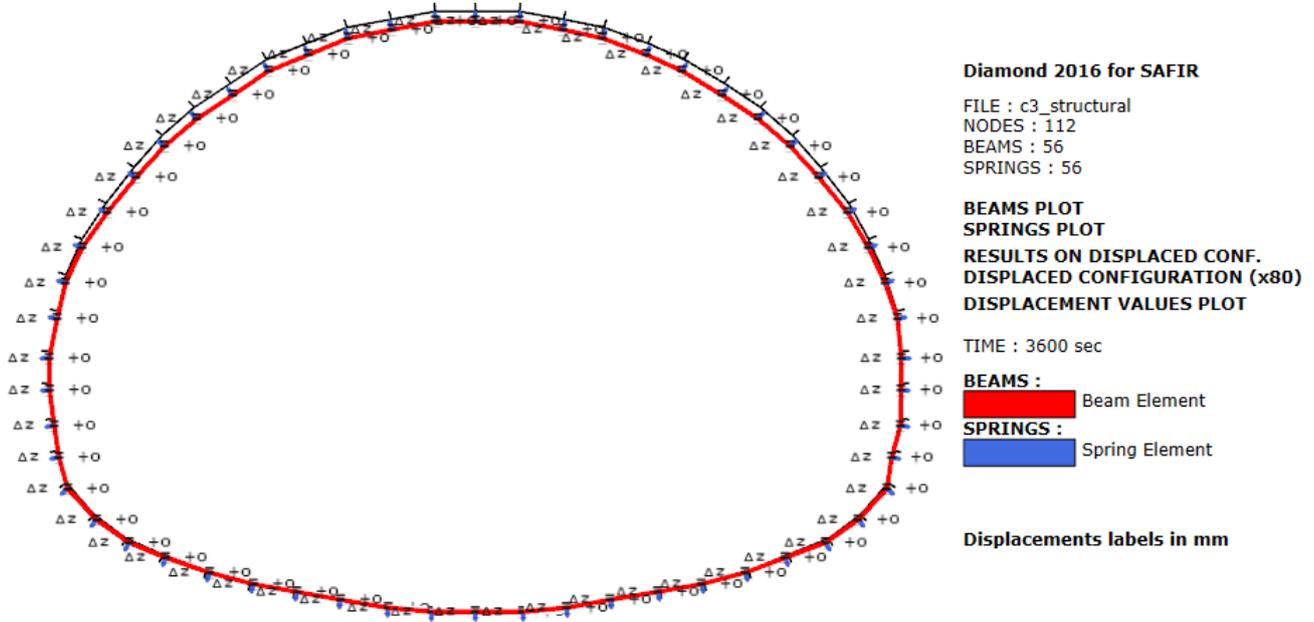


Figura 12-20 - Configurazione deformata

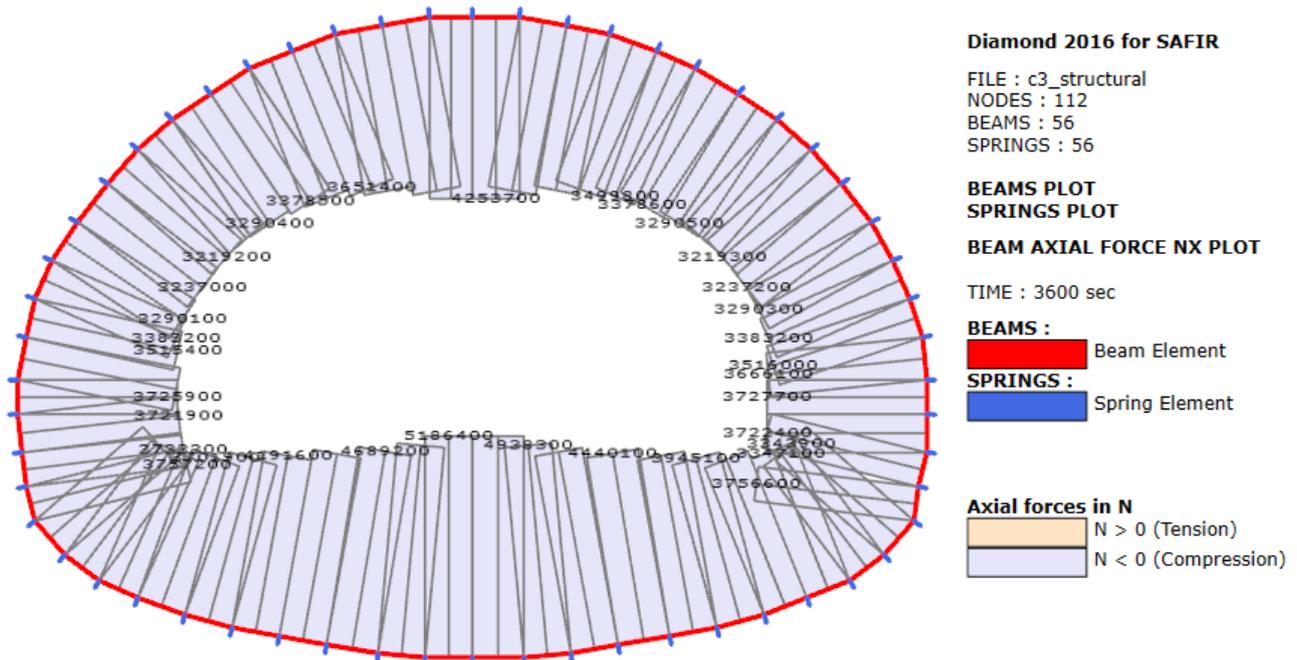


Figura 12-21 - Sforzo normale agente

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				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	270 di 285

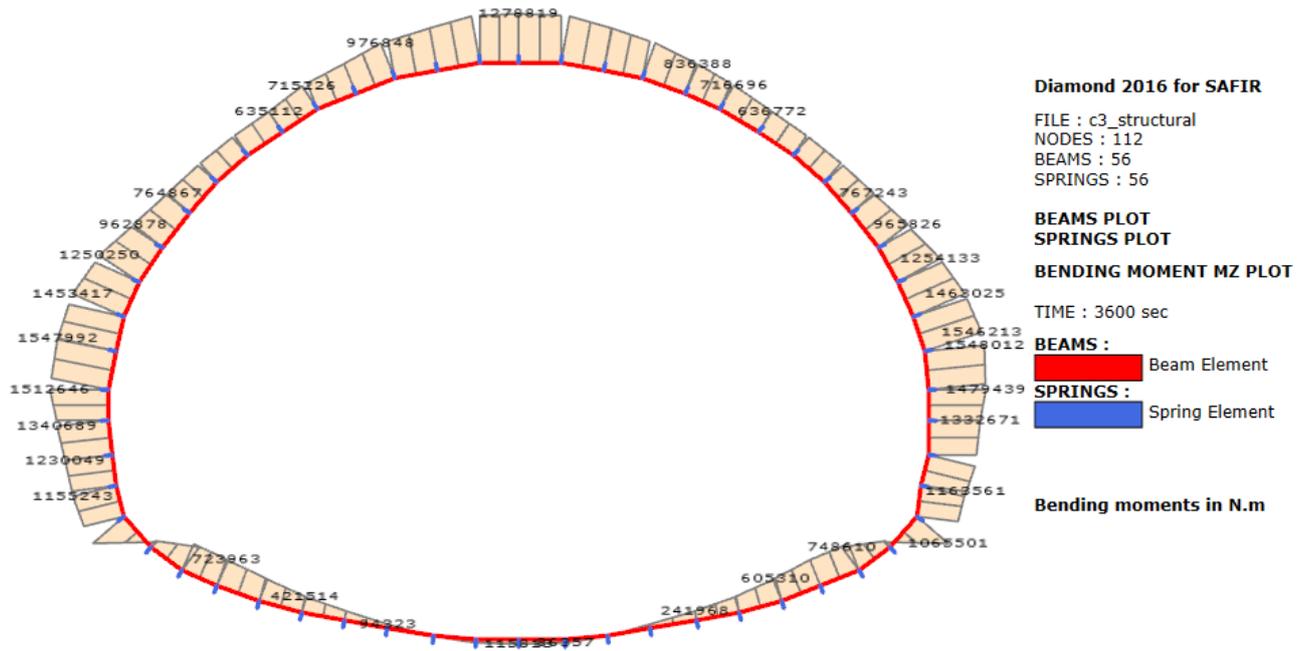


Figura 12-22 - Momento flettente

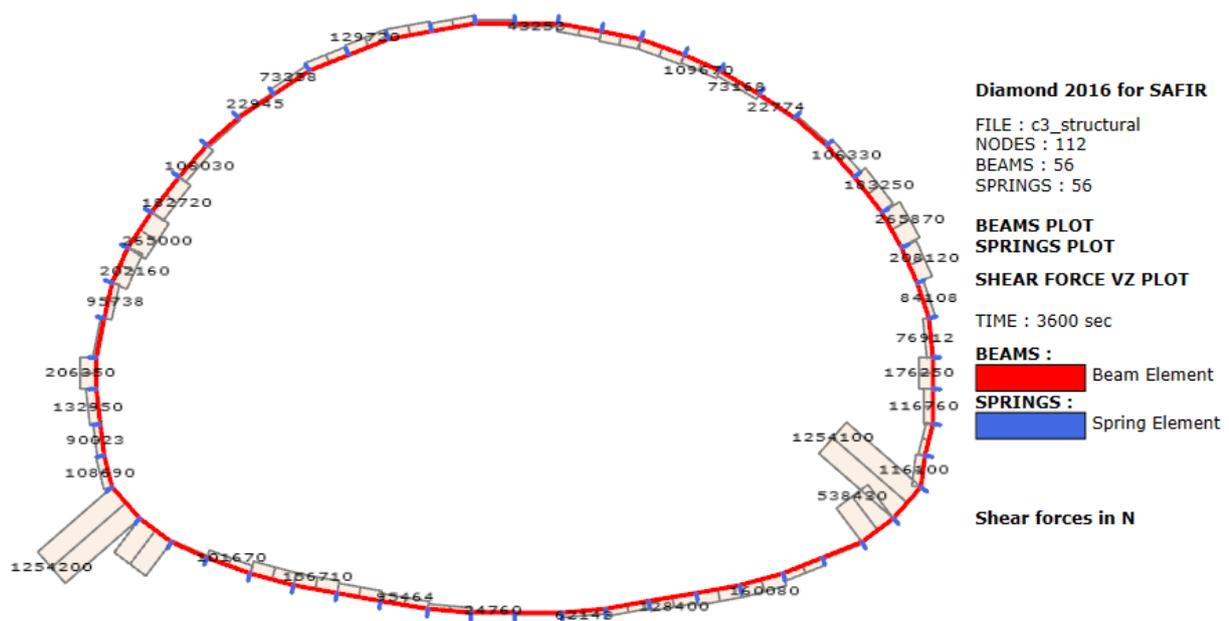


Figura 12-23 - Sforzo di taglio

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. FOGLIO. C 271 di 285

### Risultati al tempo $t = 90$ min

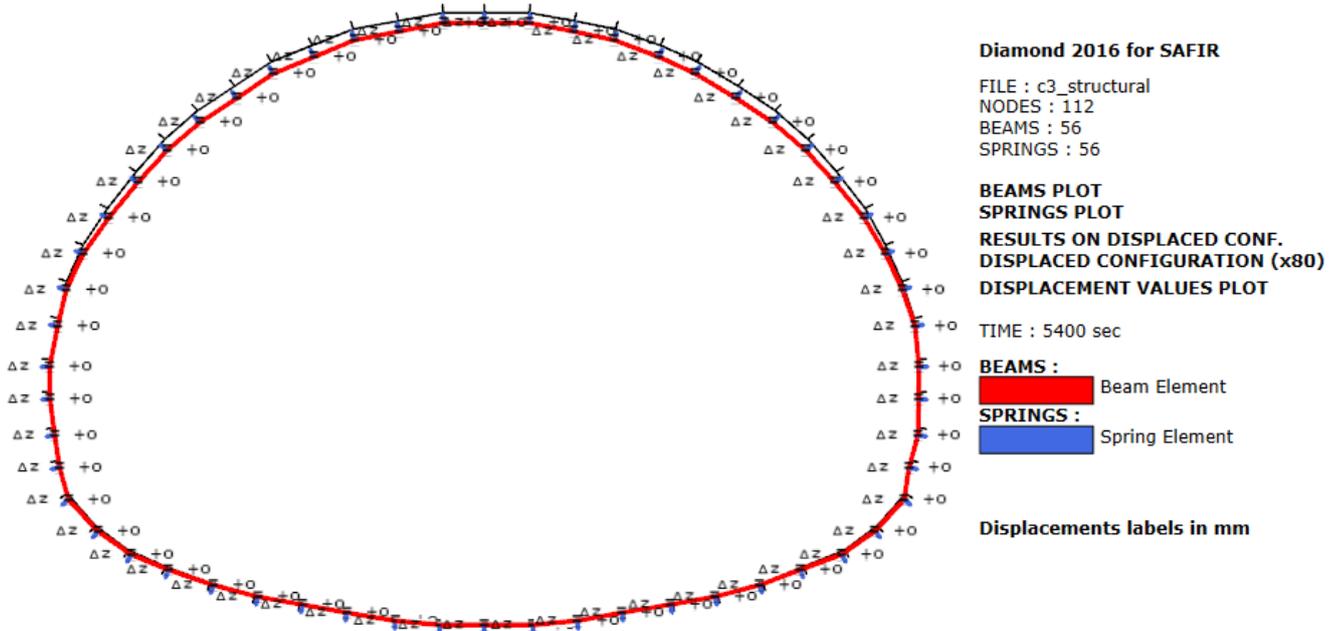


Figura 12-24 - Configurazione deformata

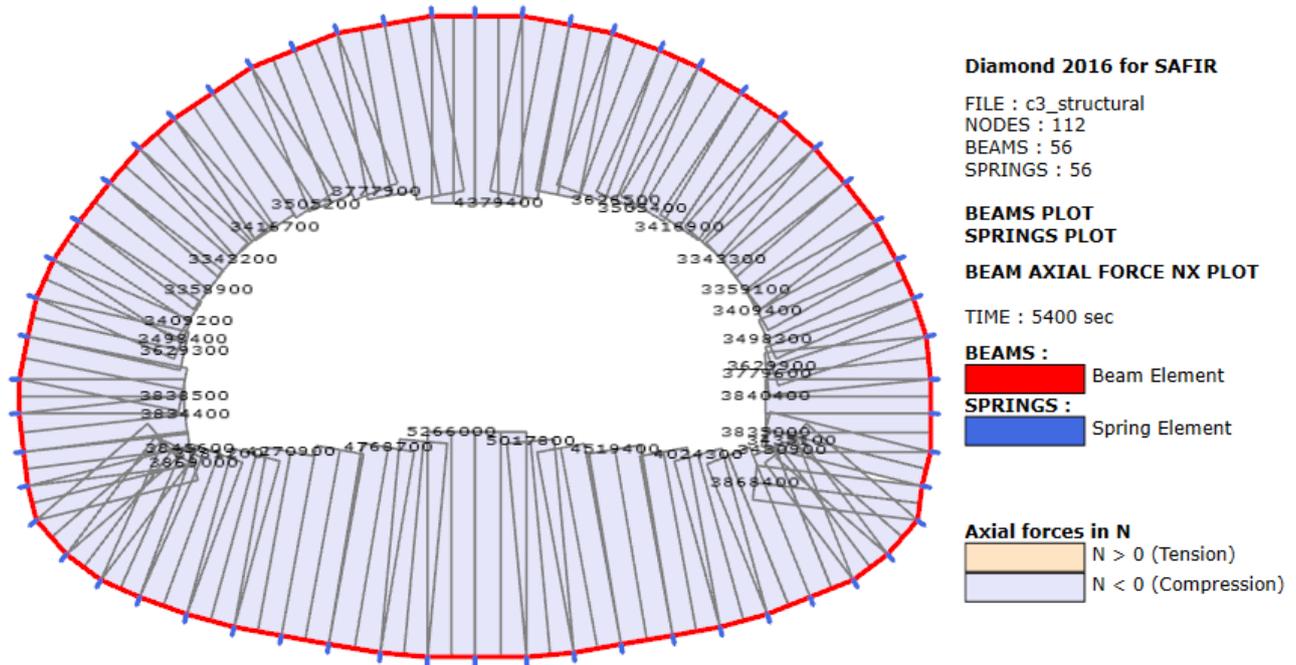


Figura 12-25 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 272 di 285

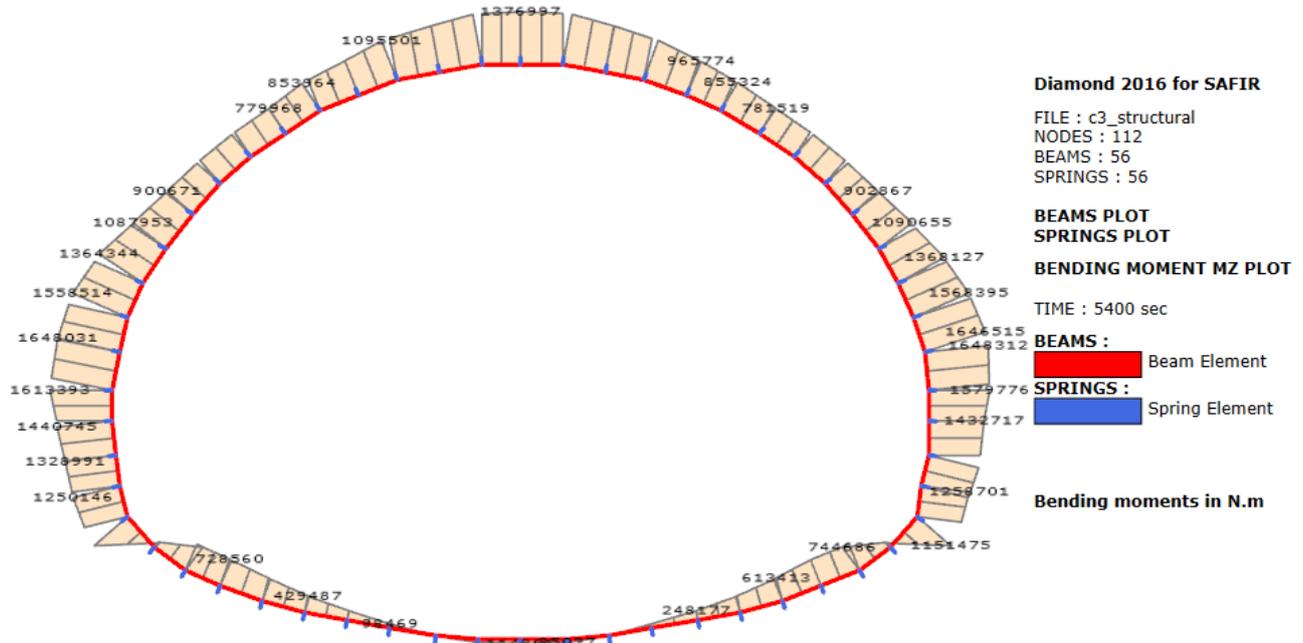


Figura 12-26 - Momento flettente

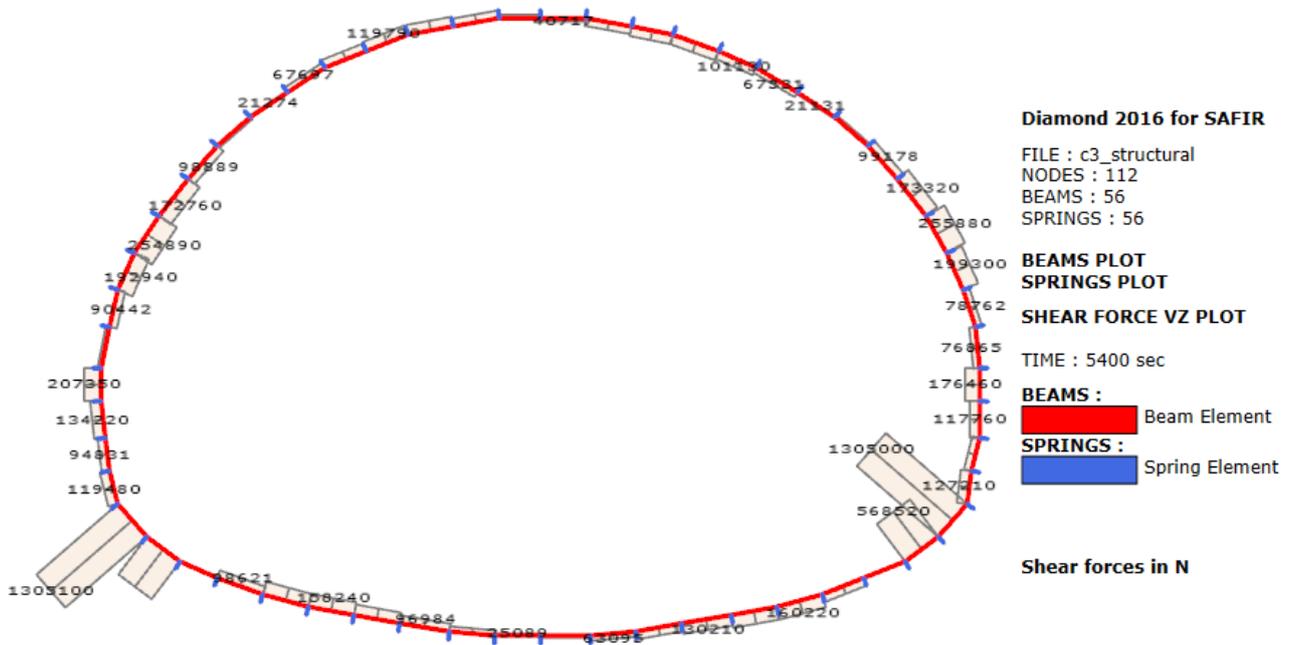


Figura 12-27 - Sforzo di taglio

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 273 di 285

### Risultati al tempo $t = 120 \text{ min}$

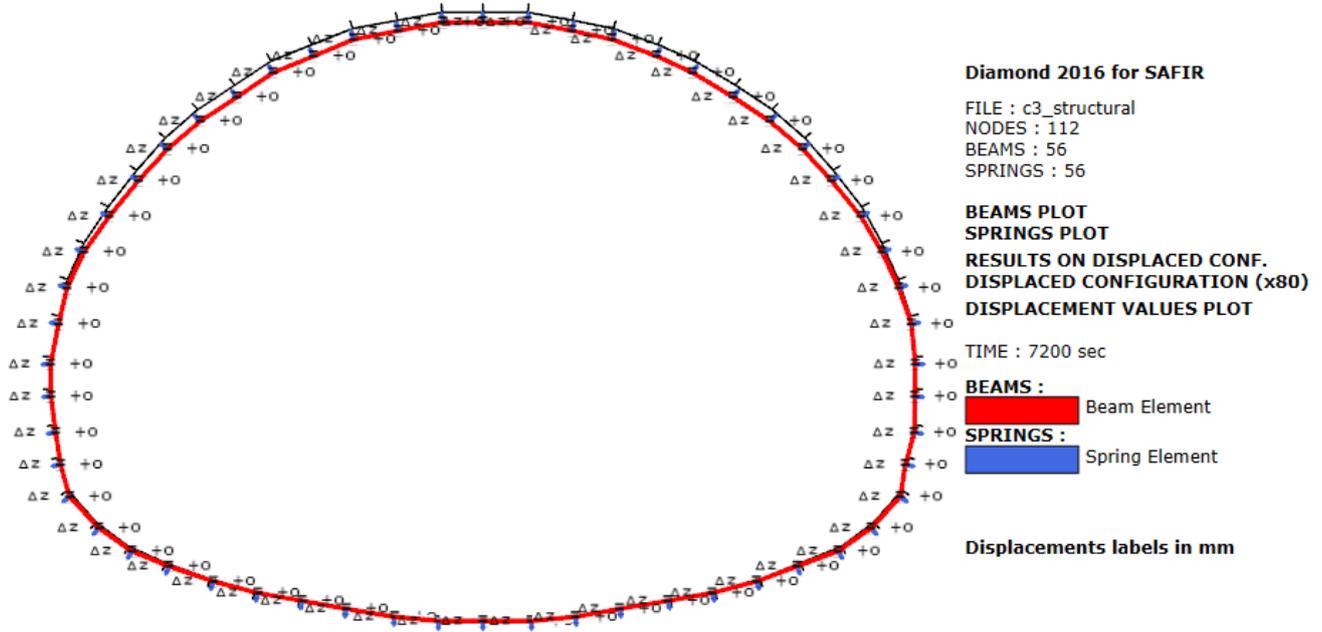


Figura 12-28 - Configurazione deformata

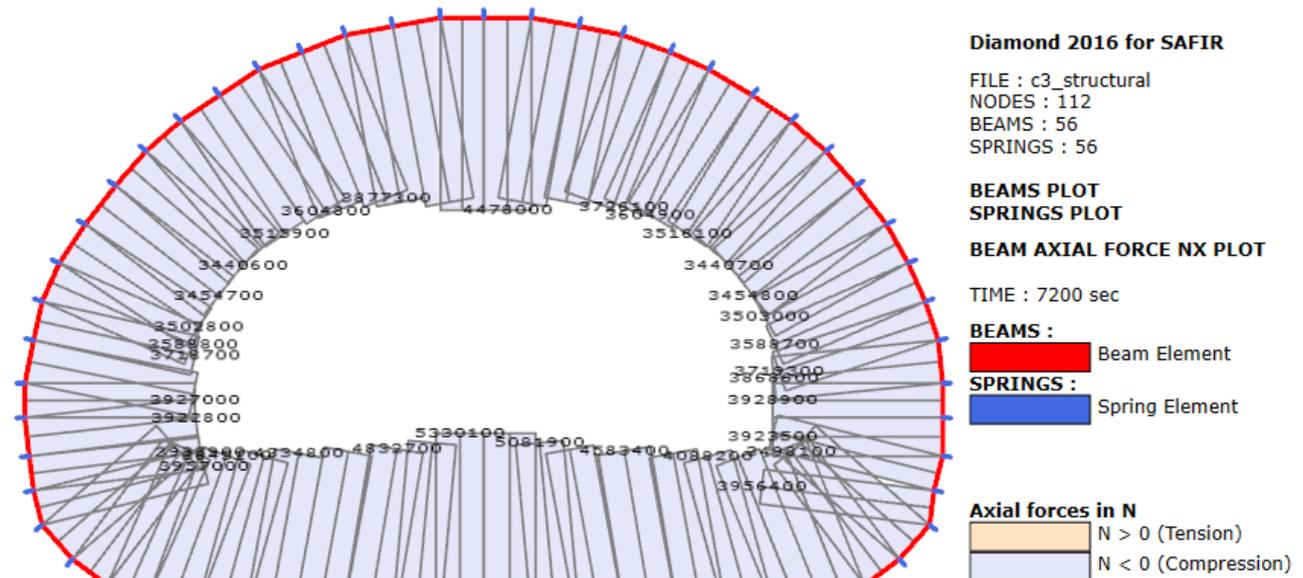


Figura 12-29 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 274 di 285

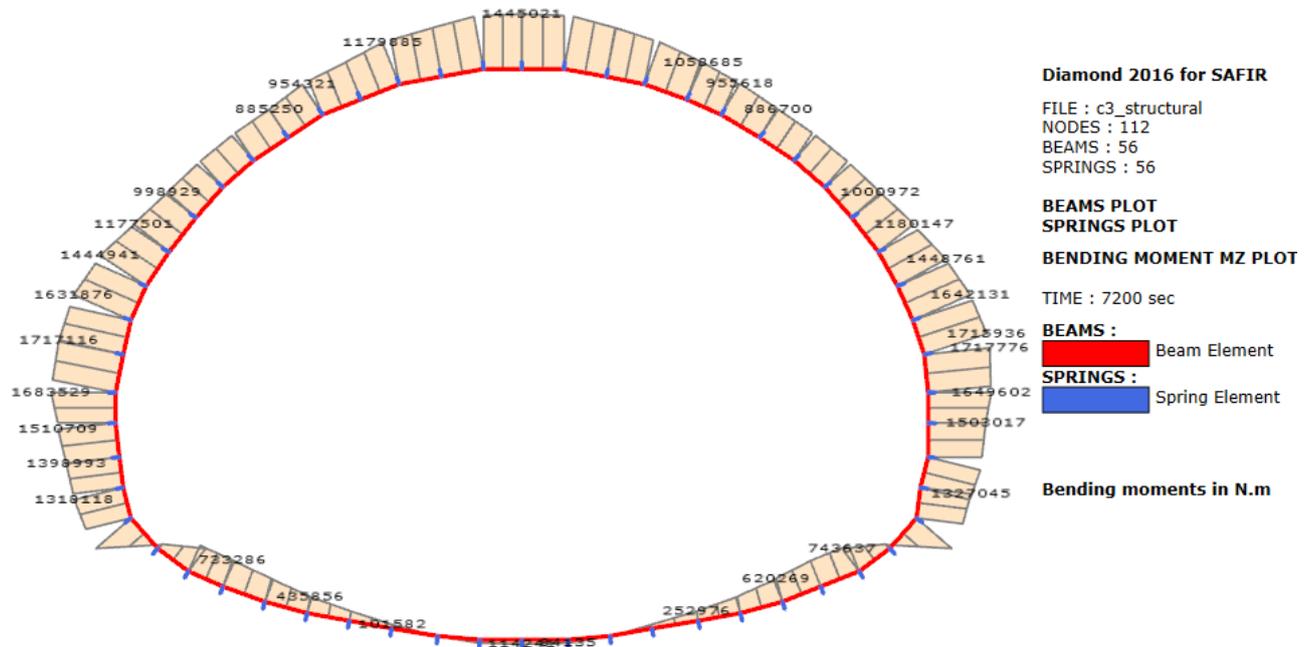


Figura 12-30 - Momento flettente

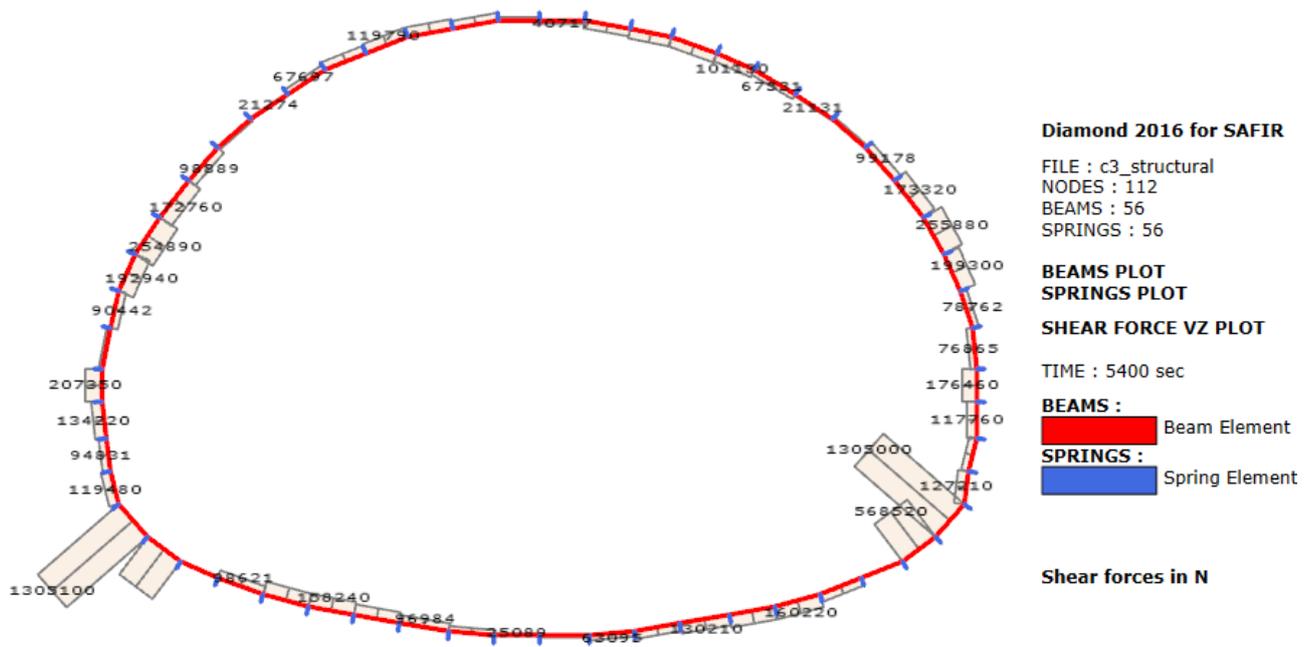


Figura 12-31 - Sforzo di taglio

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 275 di 285

## VERIFICA IN PRESENZA DI SPALLING

- Calotta

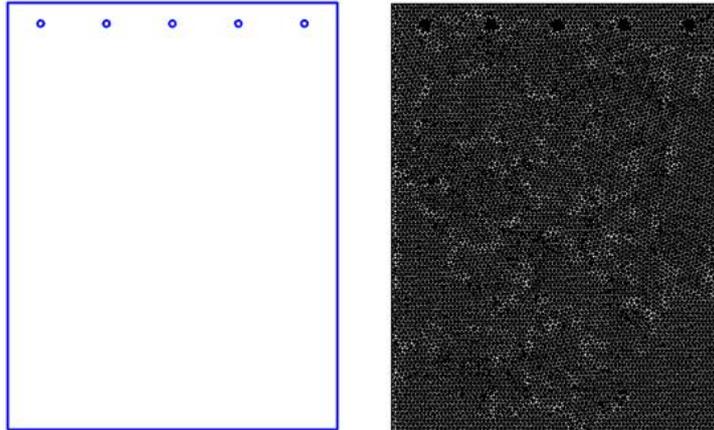


Figura 12-32 - Modello geometrico (sx) – Mesh di calcolo (dx)

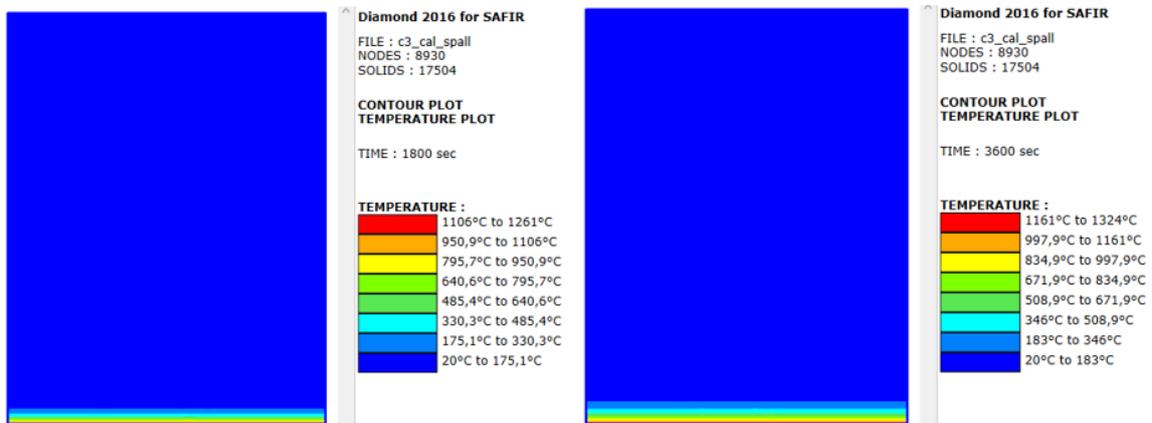


Figura 12-33 - Contour temperature 1800 s (sx) - Contour temperature 3600 s (dx)

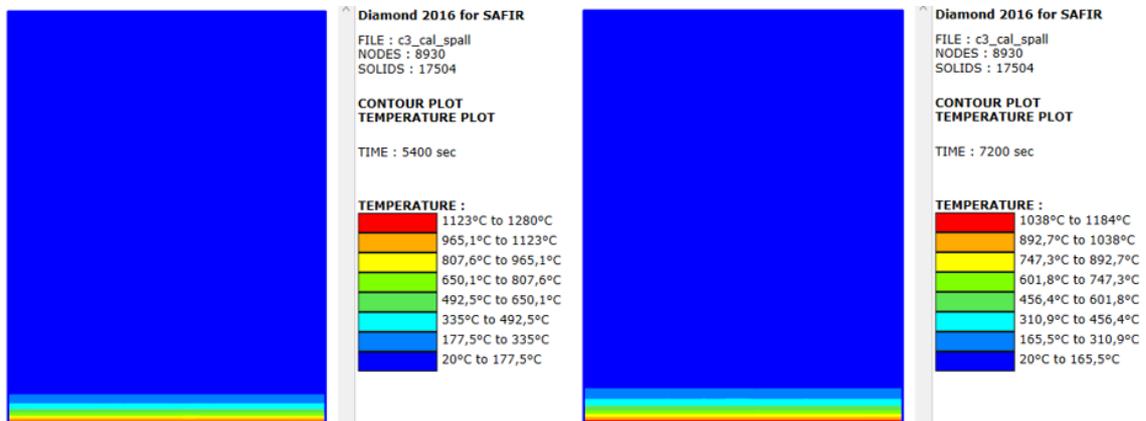


Figura 12-34 - Contour temperature 5400 s (sx) - Contour temperature 7200 s (dx)

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 276 di 285

## RISULTATI DELL'ANALISI MECCANICA CON SPALLING

### Risultati al tempo $t = 30$ min

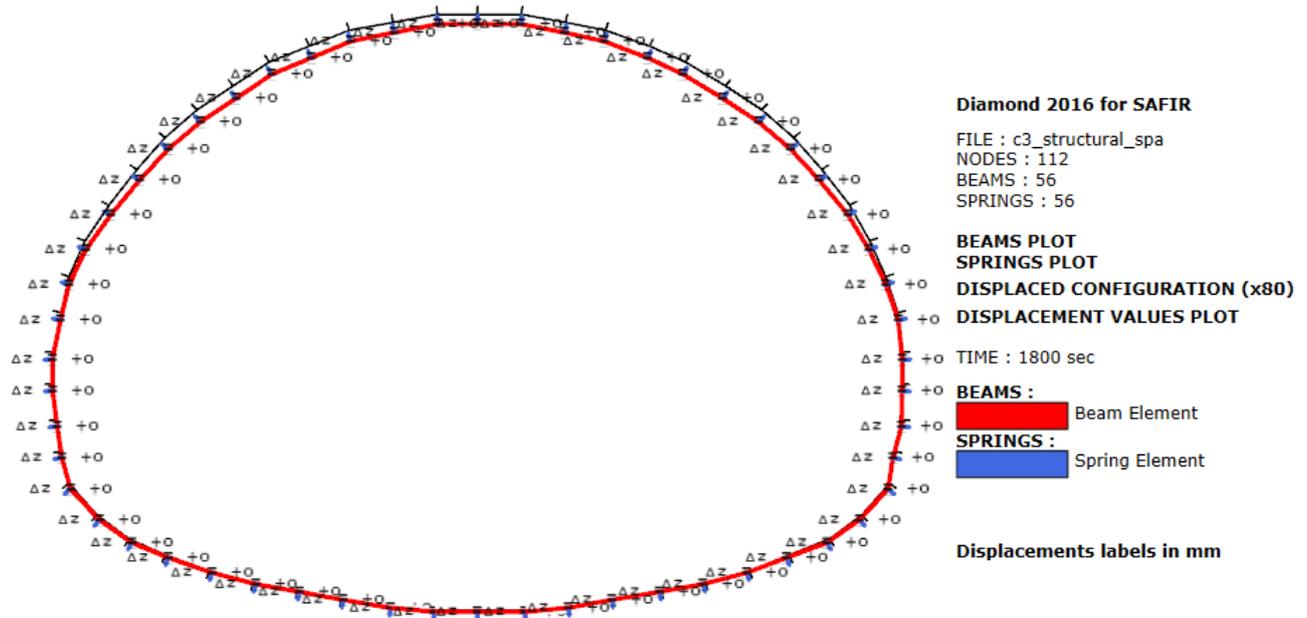


Figura 12-35 - Configurazione deformata

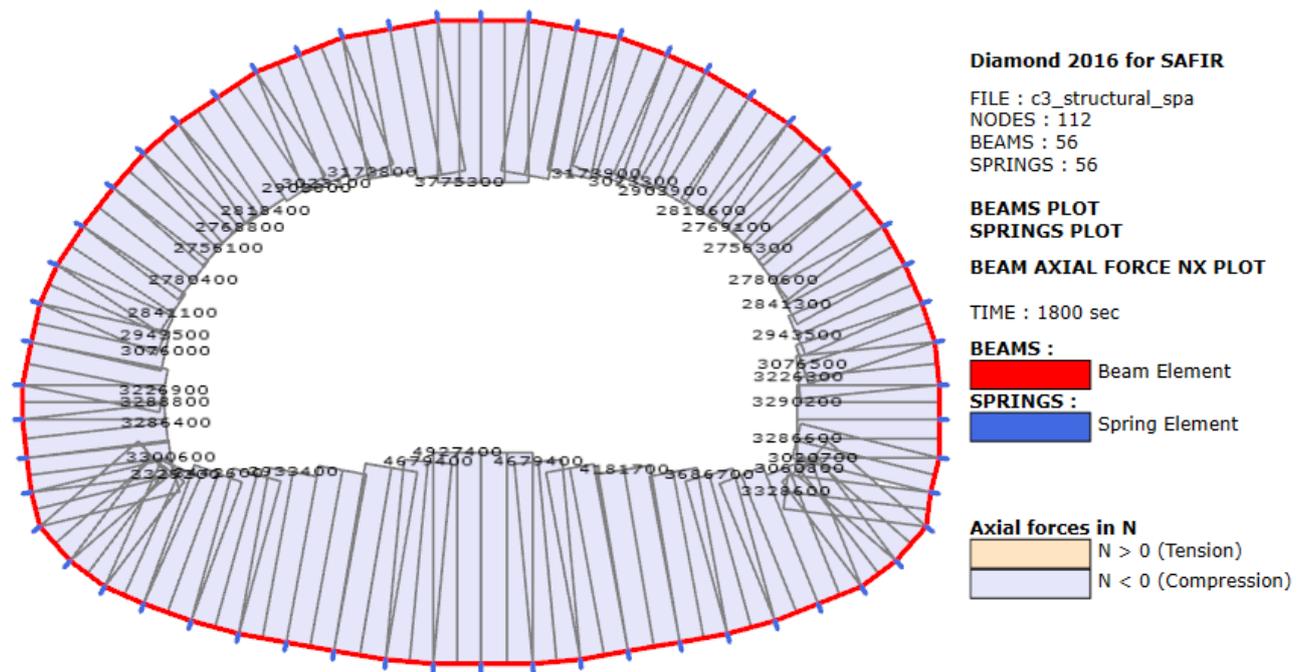


Figura 12-36 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 277 di 285

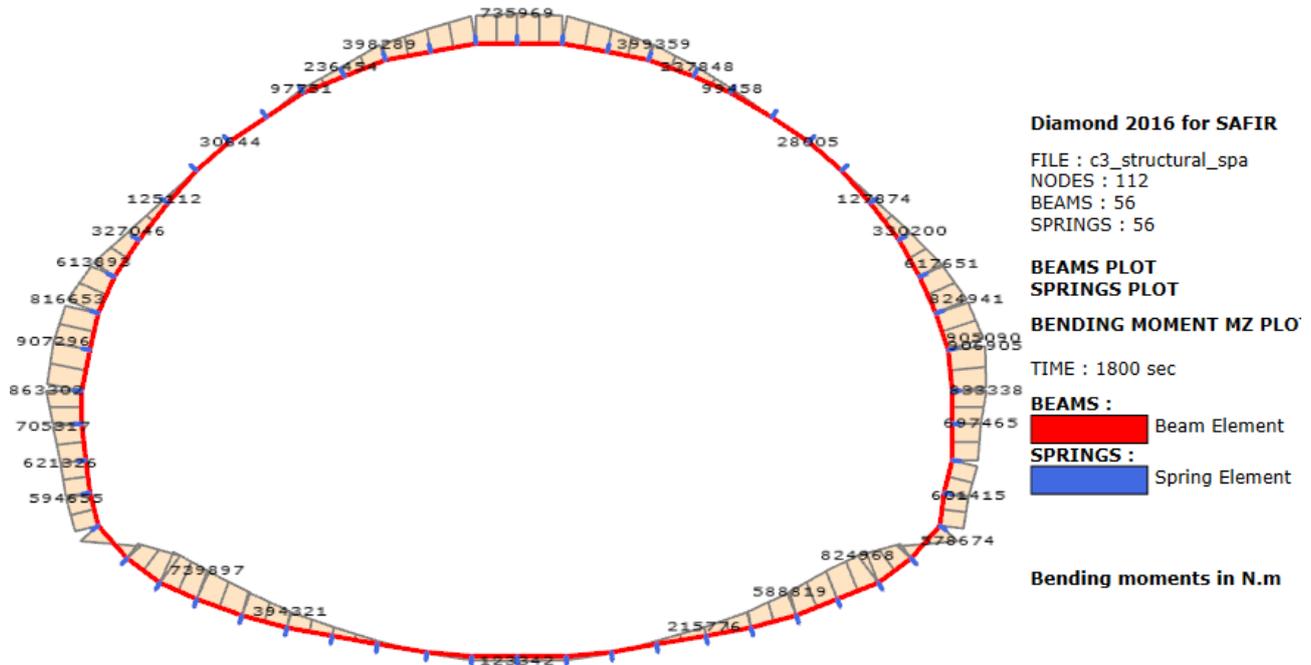


Figura 12-37 - Momento flettente

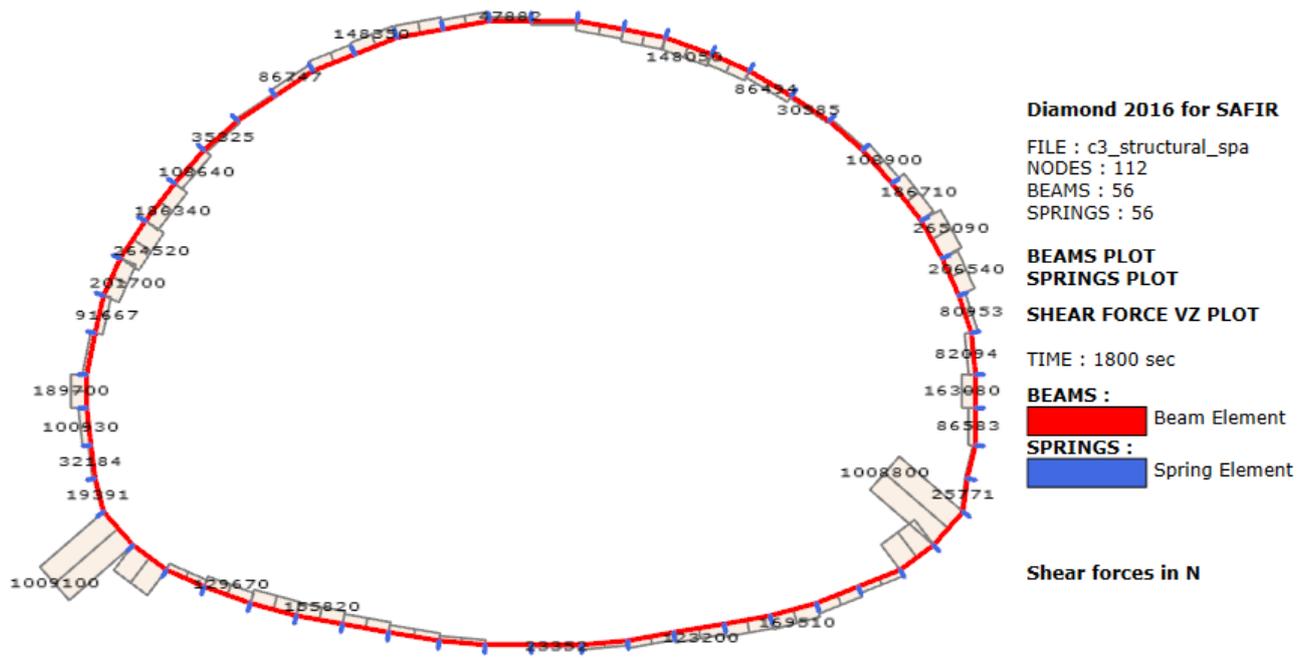


Figura 12-38 - Sforzo di taglio

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 278 di 285

**Risultati al tempo t = 60 min**

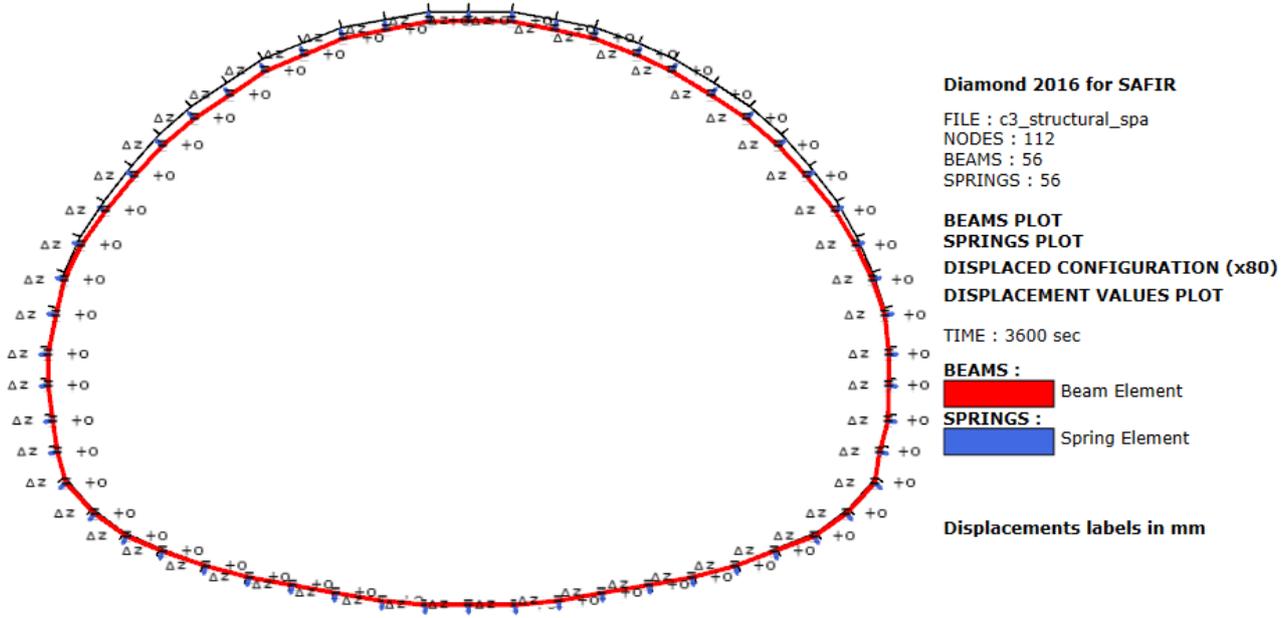


Figura 12-39 - Configurazione deformata

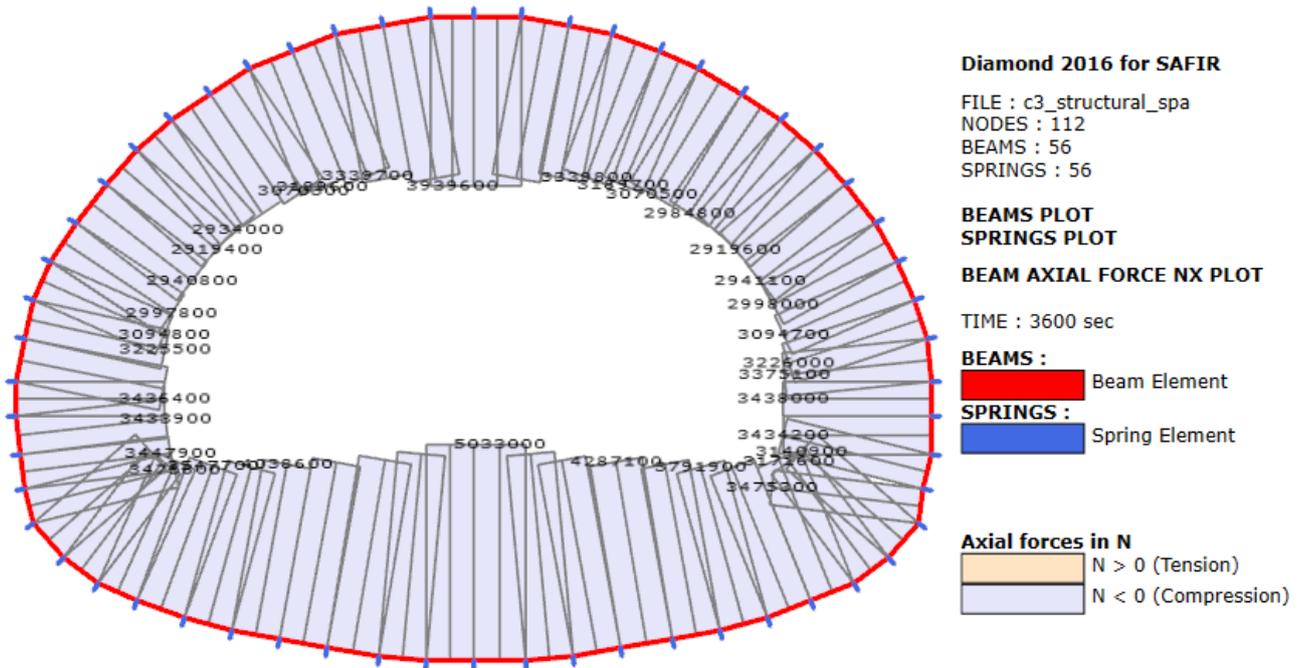
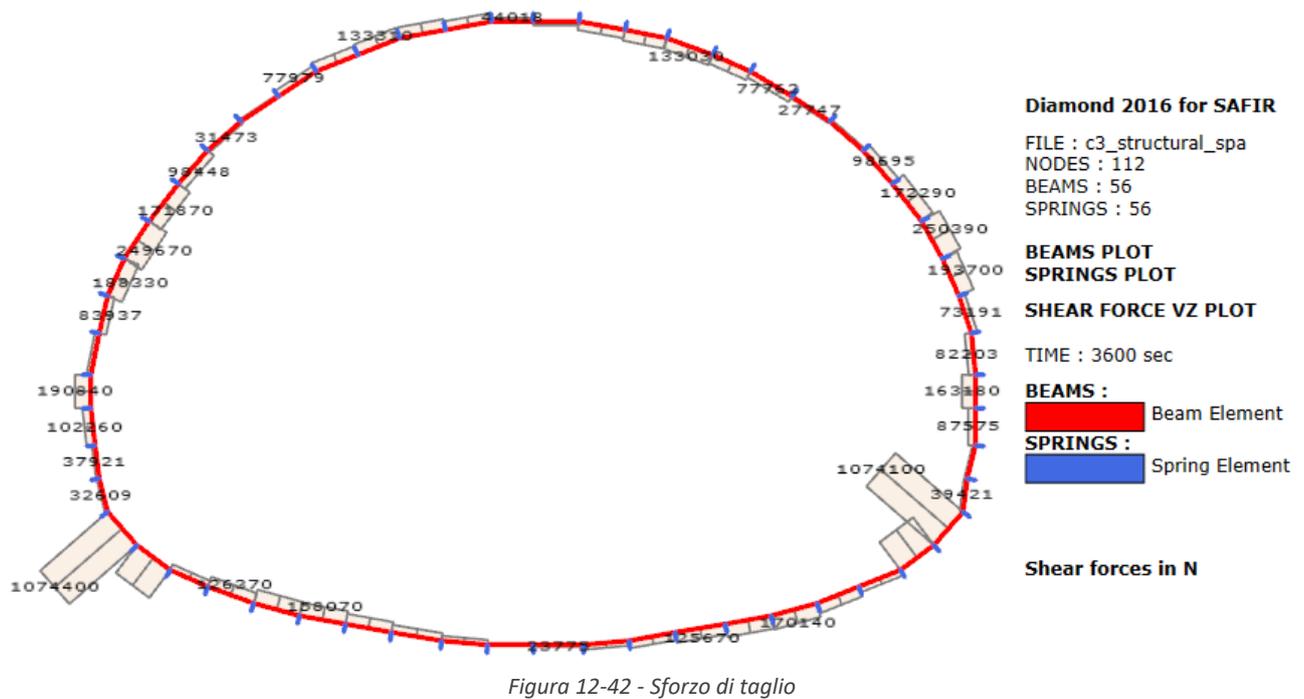
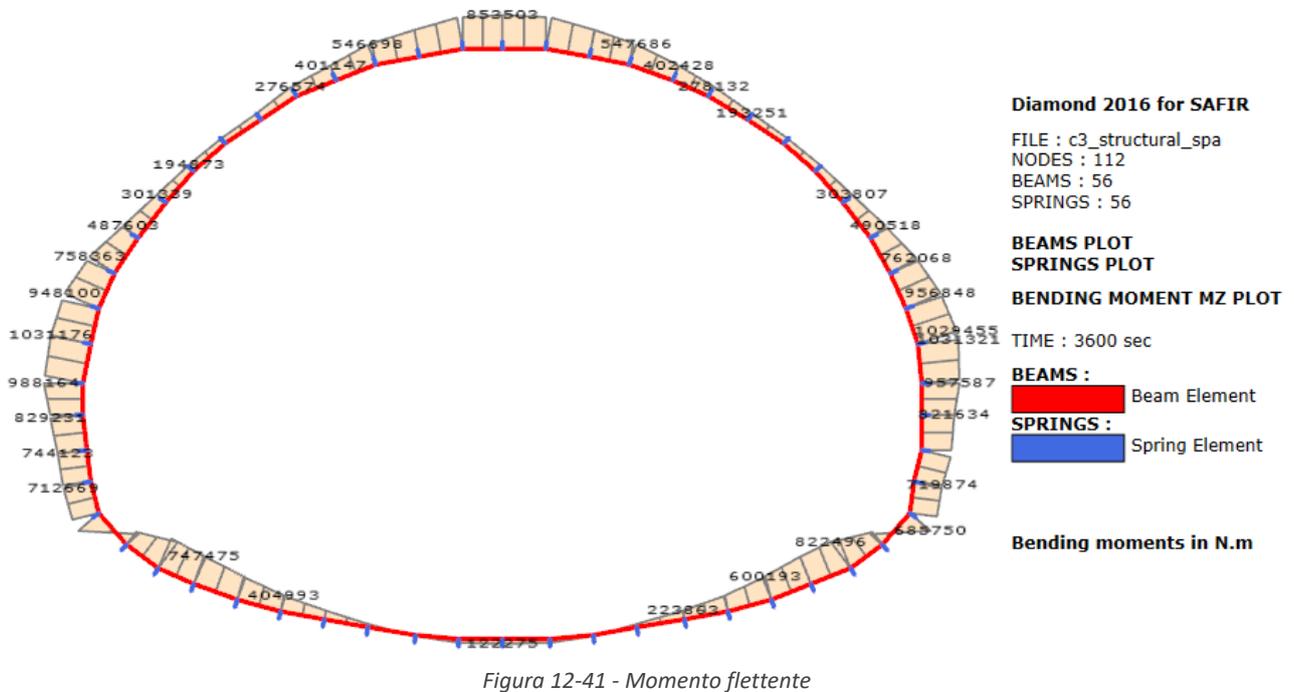


Figura 12-40 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 279 di 285



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	280 di 285

### Risultati al tempo $t = 90 \text{ min}$

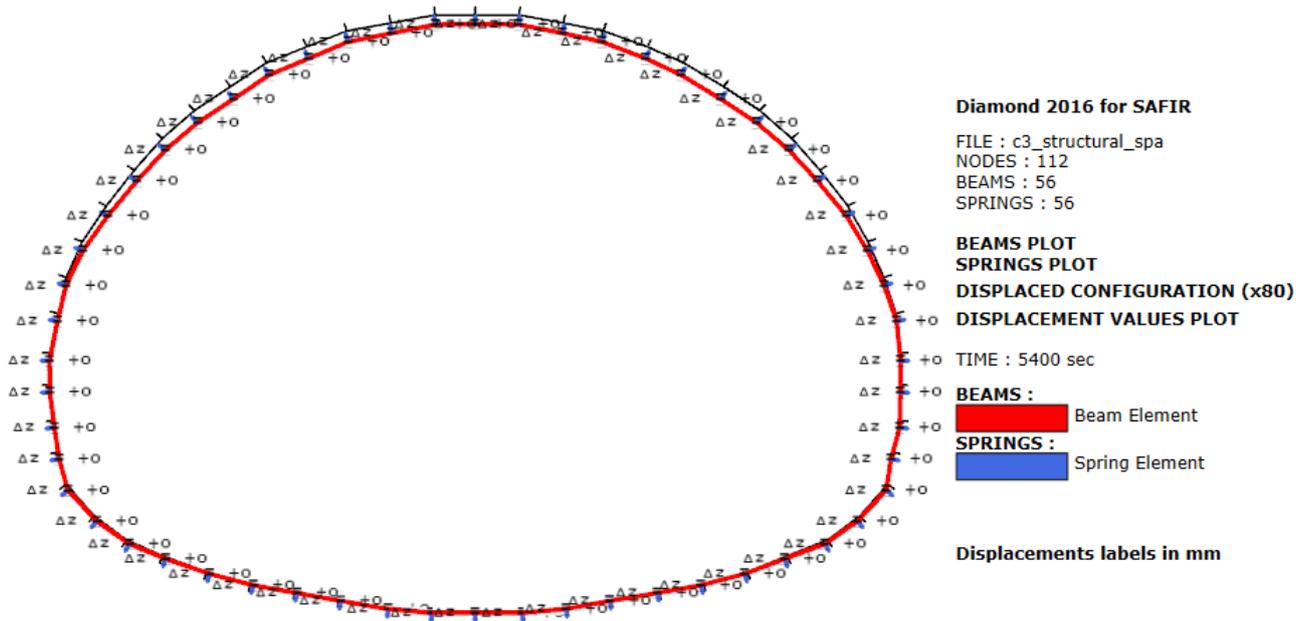


Figura 12-43 - Configurazione deformata

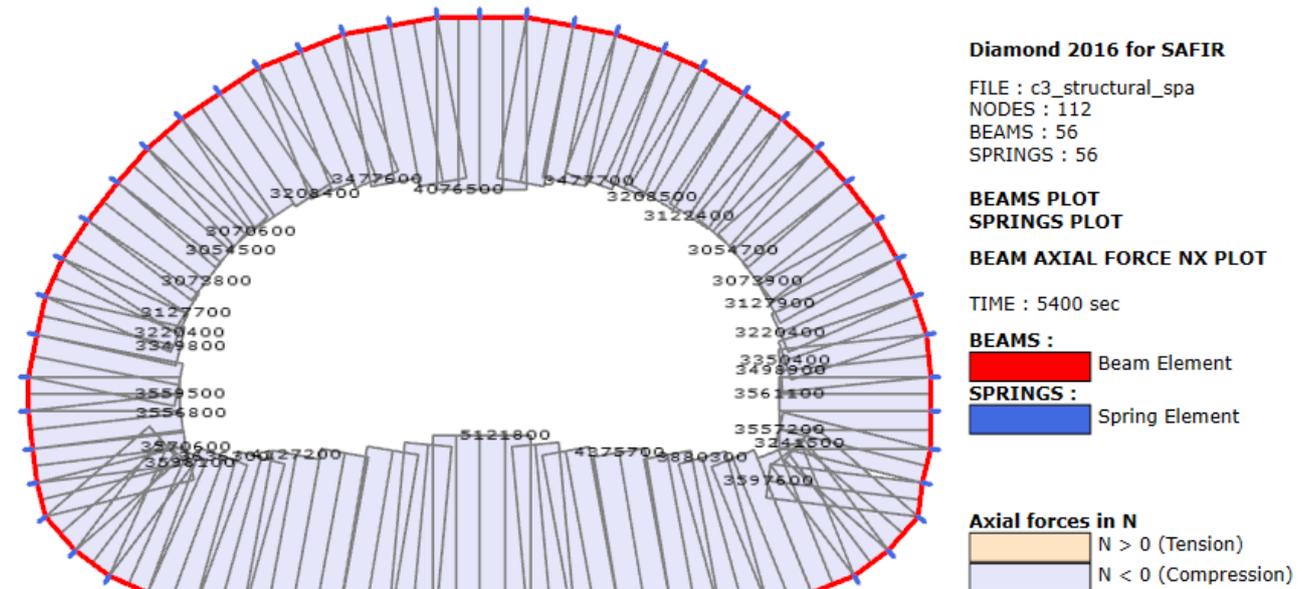


Figura 12-44 - Sforzo normale agente

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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 281 di 285

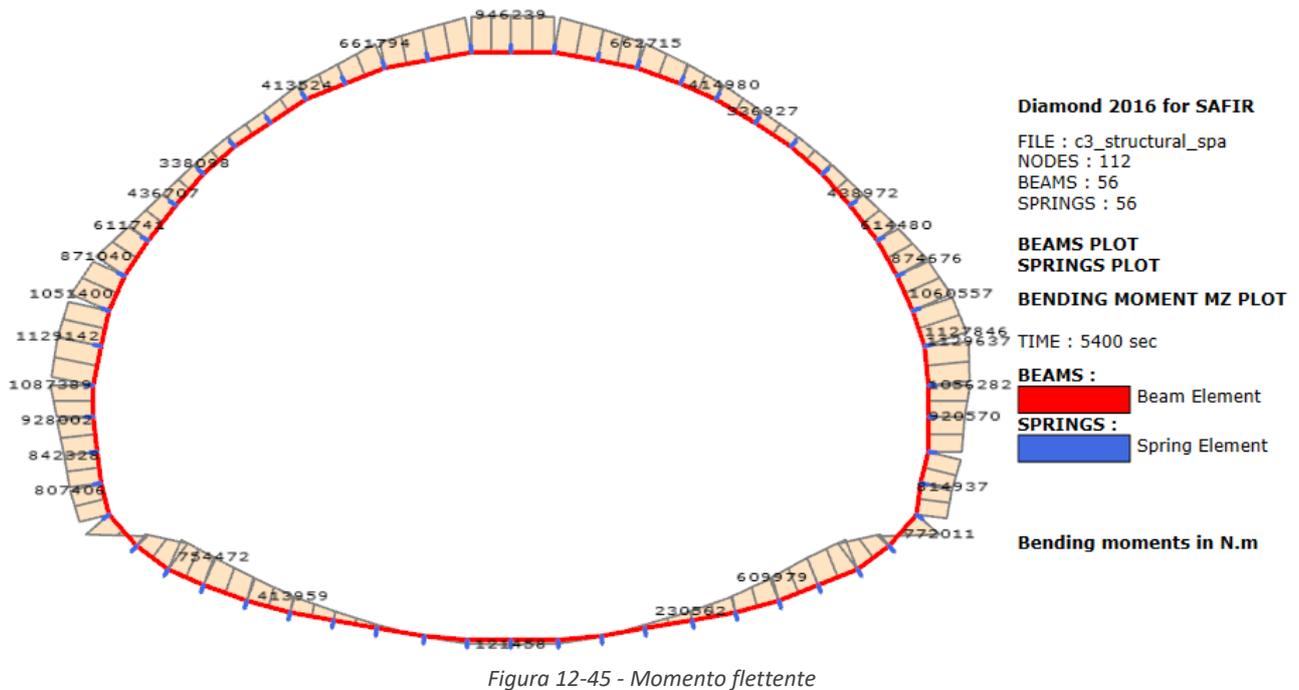


Figura 12-45 - Momento flettente

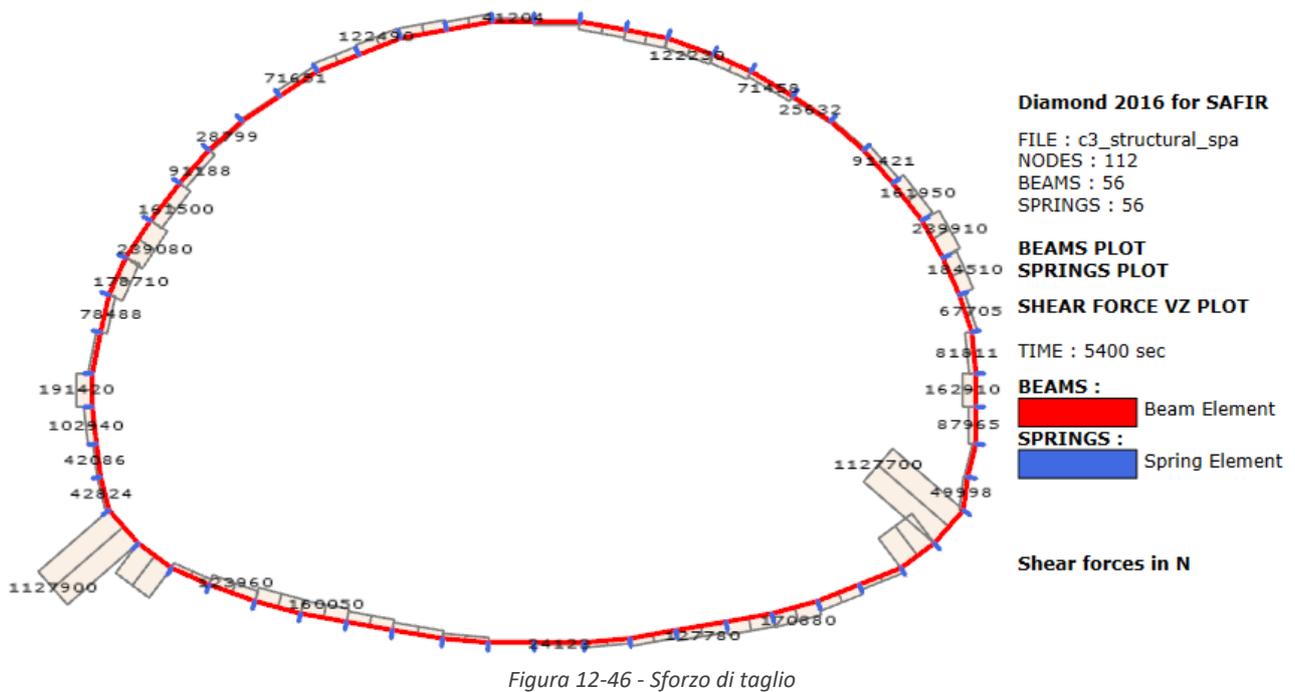


Figura 12-46 - Sforzo di taglio



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			
GALLERIE	Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C 283 di 285

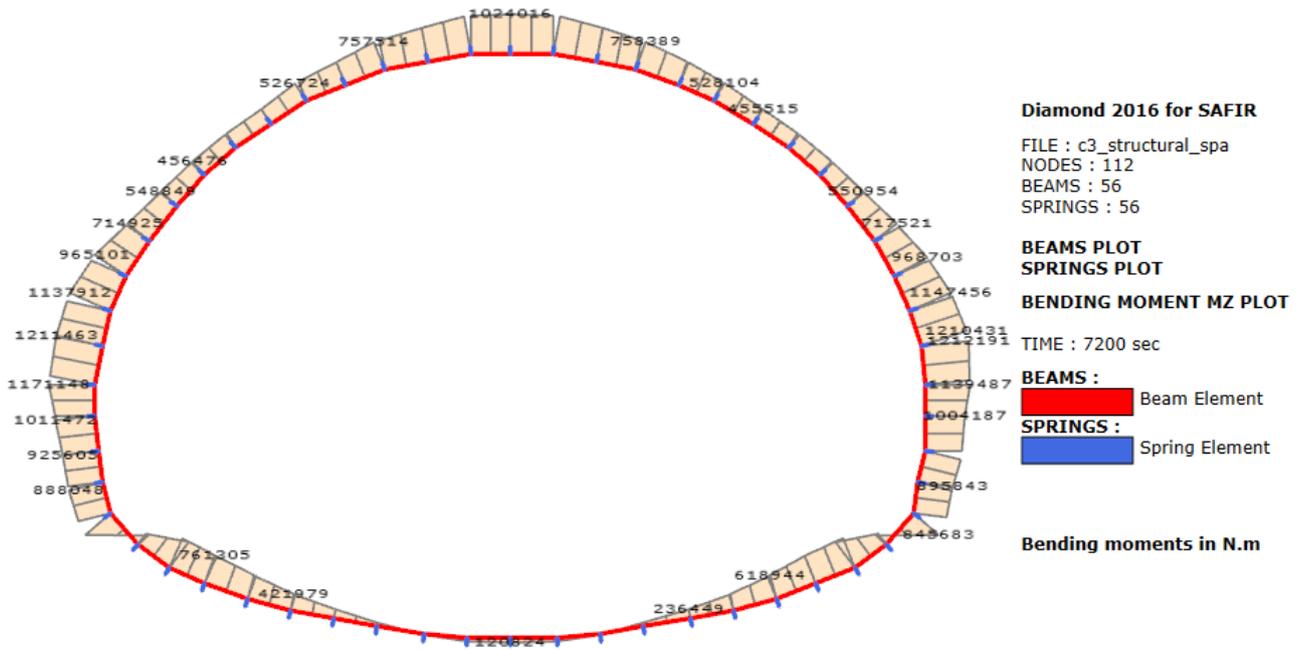


Figura 12-49 - Momento flettente

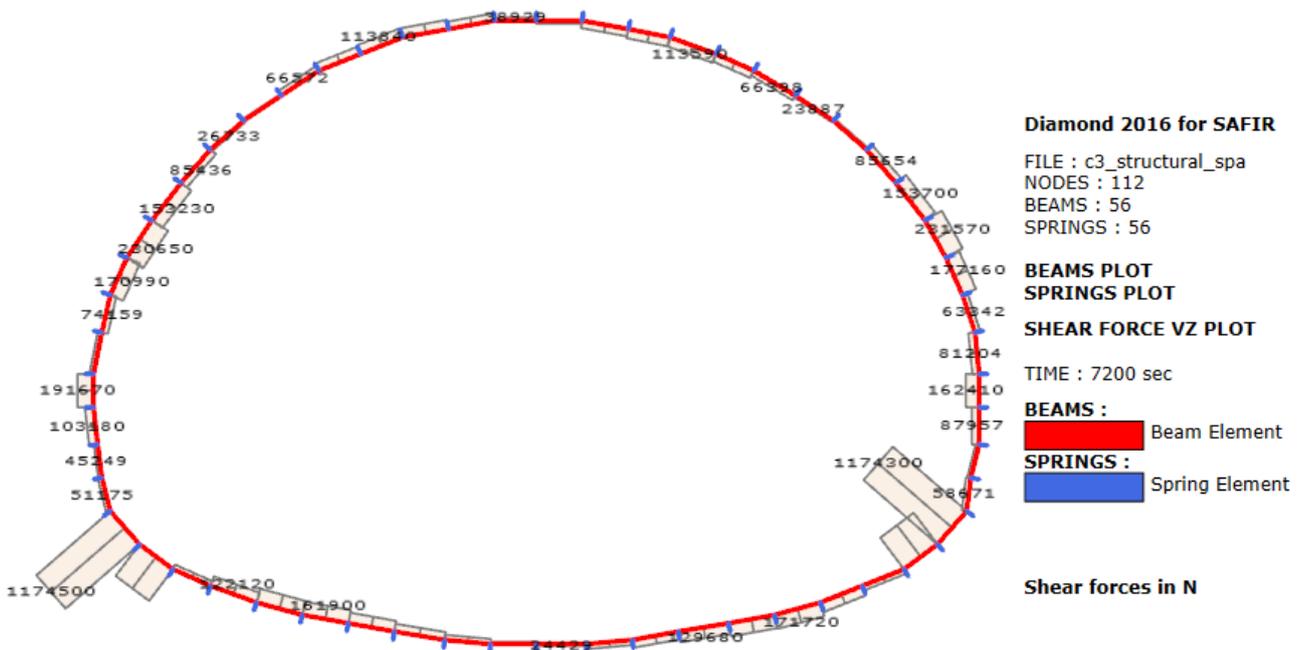


Figura 12-50 - Sforzo di taglio

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b> Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0200002	REV. C	FOGLIO. 284 di 285

## 12.2 CONCLUSIONI

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo -Scavo Tradizionale		IBOU	1BEZZ	CL	GN0200002	C	285 di 285

### 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 C0 TIPO 2

13.2 ALLEGATO 2 – ANALISI A BLOCCHI SEZIONE C1 TIPO 2

13.3 ALLEGATO 3 – ALLEGATO NUMERICO

13.4 ALLEGATO 4 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C1 TIPO1

13.5 ALLEGATO 5 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C2 SCENARIO 1

13.6 ALLEGATO 6 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C2 SCENARIO 2

13.7 ALLEGATO 7 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE C3

13.8 ALLEGATO 8 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE IO

13.9 ALLEGATO 9 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I1

13.10 ALLEGATO 10 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I2

13.11 ALLEGATO 11 – REPORT PLAXIS DELLA SEZIONE I3