

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

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

PROGETTO ESECUTIVO

TIPO DI ELABORATO:

- DI DETTAGLIO
- DI MODIFICA TECNICA

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

RELAZIONE

08 - GALLERIE

I - FINESTRA CHIUSA

-

Finestra Chiusa - Relazione di calcolo

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 0 5 0 0	0 0 1	C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Revisione generale	S.Spinello	12/01/2022	A.Valente	13/01/2022	D.Buttafoco Dolomiti	14/01/2022	IL PROGETTISTA A.Polli 30/07/2022
B	Emissione per indicazione Committenza	B. Fiorentino	18/07/2022	A.Valente	19/07/2022	D.Buttafoco Dolomiti	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	B. Fiorentino	25/02/2023	P.Fontana	26/02/2023	D.Buttafoco Dolomiti	27/02/2023	

File: IB0U1BEZZCLGN0500001C.docx

n. Elab.: 1

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 1 di 243

Sommario

1. PREMESSA	5
2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	6
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI.....	8
4.2 DOCUMENTI CORRELATI	8
4.3 DOCUMENTI SUPERATI	9
5. ALLEGATI	10
6. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	11
7. DESCRIZIONE DELL'OPERA	13
7.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	13
8. FASE CONOSCITIVA	15
8.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	15
8.2 INDAGINI GEOTECNICHE	15
8.2.1 Indagini geofisiche	17
8.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	18
8.3.1 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi	18
8.3.1.1. Caratterizzazione della matrice litoide	18
8.3.1.2. Caratteristiche meccaniche	23
8.3.2 Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità interessate dalle opere	25
8.3.3 Il regime idraulico	26
8.3.4 Lo stato tensionale in sito	28
9. FASE DI DIAGNOSI	29
9.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	29
9.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	30
9.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche	30
9.2.1.1. Metodi di analisi	30
9.2.1.2. Analisi con il metodo all'equilibrio limite di Tamez (1984)	31
9.2.1.3. Sezioni analizzate.....	32
9.2.1.4. Risultati delle analisi	36

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 2 di 243

10. FASE DI TERAPIA.....	42
10.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO.....	42
10.1.1 Sezione A0	42
10.1.2 Sezione A1	43
10.1.3 Sezione A2	44
10.1.4 Sezione B1*	45
10.1.5 Sezione C2*	46
10.1.6 Sezione C1bis*	47
10.1.7 Sezione di allargò alla camera di manovra.....	48
10.1.8 Sezione del Camerone di Manovra	49
10.1.9 Sezione della galleria tecnologica (GN05.J).....	51
10.1.10 Sezione della galleria di innesto con le Gallerie di Linea (GN05.C)	52
10.1.11 Sezione del by-pass di collegamento tra Galleria Tecnologica e Gallerie di Linea (GN05.M).....	52
10.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	53
10.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO.....	56
10.3.1 Criteri di verifica	56
10.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi.....	60
10.3.3 Ipotesi di calcolo	61
10.3.4 Sezione A0	62
10.3.4.1. Stabilità del fronte	62
10.3.4.2. Interazione opera – terreno.....	63
10.3.5 Sezione A1	69
10.3.5.1. Stabilità del fronte	69
10.3.5.2. Interazione opera – terreno.....	70
10.3.6 Sezione A2	77
10.3.6.1. Stabilità del fronte	77
10.3.6.2. Interazione opera – terreno.....	78
10.3.7 Sezione B1*	87
10.3.7.1. Stabilità del fronte	88
10.3.7.2. Interazione opera – terreno.....	89
10.3.8 Sezione C2*	104

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 3 di 243

10.3.8.1. Stabilità del fronte	104
10.3.8.2. Interazione opera – terreno.....	105
10.3.9 Sezione C1bis*	115
10.3.9.1. Stabilità del fronte	115
10.3.9.2. Interazione opera – terreno.....	118
10.3.10 Sezione della Camera di manovra	124
10.3.10.1. Stabilità del fronte	124
10.3.10.2. Interazione opera – terreno.....	125
10.3.11 Galleria tecnologica - (GN05.J).....	139
10.3.11.1. Stabilità del fronte	139
10.3.11.2. Interazione opera – terreno.....	140
10.3.12 Galleria di innesto - (GN05.C).....	149
10.3.12.1. Stabilità del fronte	149
10.3.12.2. Interazione opera – terreno.....	150
10.3.13 By-pass di collegamento - (GN05.M).....	158
10.3.13.1. Stabilità del fronte	158
10.3.13.2. Interazione opera – terreno.....	159
10.4 VERIFICHE INTERVENTI RADIALI	167
10.4.1 Sezione A0	168
10.4.2 Sezione A2	169
10.4.3 Camera di manovra.....	171
10.4.4 Sezione galleria tecnologica (GN05.J)	173
10.5 CRITERI ADOTTATI NELLE VERIFICHE STRUTTURALI	174
10.5.1 Verifiche dei rivestimenti di prima fase	174
10.5.2 Verifiche dei rivestimenti definitivi in calcestruzzo armato	177
10.5.3 Verifiche dei rivestimenti definitivi in calcestruzzo non armato	178
10.6 VERIFICA DELLE SEZIONI.....	178
10.6.1 Sezione A0	178
10.6.2 Sezione A1	181
10.6.3 Sezione A2	185
10.6.4 Sezione B1*	190

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	4 di 243

10.6.5 Sezione C2*	200
10.6.6 Sezione C1bis*	206
10.6.7 Camera di manovra.....	212
10.6.8 Camera di allargo al Camerone di Manovra.....	219
10.6.9 Galleria tecnologica (GN05.J)	221
10.6.10 Galleria di innesto (GN05.C).....	227
10.6.11 By-pass di collegamento (GN05.M)	234
11. CONCLUSIONI	241
12. ALLEGATI	242
12.1 ALLEGATI NUMERICI	242

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST							<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>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>5 di 243</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1BEZZ	CL	GN0500	C	5 di 243													

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari all'esecuzione della galleria naturale e della camera di manovra di Chiusa, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 – Finestra di Chiusa.

Le opere in oggetto ricadono entro i limiti comunali di Chiusa, in provincia di Bolzano.

La galleria e la camera di manovra saranno entrambe scavate a foro cieco mediante sezioni tipologiche definite in funzione delle coperture e delle unità geologiche riscontrate in situ.

Per una corretta stima delle sollecitazioni nei rivestimenti, della variazione dello stato tensionale nei consolidamenti e nel terreno al contorno del cavo, le analisi numeriche sono state sviluppate seguendo una procedura di scavo e costruzione graduale per fasi.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere e dei criteri di analisi, si riportano i calcoli di dimensionamento della galleria naturale a foro cieco e della camera di manovra sviluppati per l'adeguatezza delle soluzioni progettuali indicate, con particolare riferimento all'analisi dei rivestimenti provvisori e definitivi delle gallerie.

In allegato 3 si raccolgono tutte le verifiche effettuate per le diverse sezioni e fasi di calcolo contenute nel documento fornendo esplicita raccolta dei risultati in forma tabellare in tutti i punti.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. 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>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>6 di 243</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	GN0500	C	6 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1BEZZ	CL	GN0500	C	6 di 243													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo																		

2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria naturale e della camera di manovra facenti parte della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena – Lotto 1 – Finestra di Chiusa.

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 §8;
- 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 (§9).
- 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 (§10). 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.

Il piano di monitoraggio e i criteri per l'applicazione delle sezioni tipo sono oggetto della "Relazione di monitoraggio".

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>7 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	7 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	7 di 243								

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 8 di 243

4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

- [3] U.O. Gallerie, documento IBL11BD07RHGN0000001 “Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo”.
- [4] U.O. Gallerie, documento IBL11BD07F6GN0500001 “Profilo geotecnico Finestra Chiusa”.
- [5] U.O. Gallerie, documento BL11BD07SPGN0000001 “Caratteristiche dei materiali - Note generali”.
- [6] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici.

4.2 DOCUMENTI CORRELATI

- [7] Lunardi P. (2006). Progetto e costruzione di gallerie: analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- [8] Lembo-Fazio A., Ribacchi R. (1984). Progressi nella realizzazione e nell'interpretazione delle prove di carico su piastra negli ammassi rocciosi. Riv. It. Geotecnica, 18, 1-11.
- [9] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La “nouvelle méthode implicite” pour le calcul des tunnels dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Française de Géotechnique, N° 68;
- [10] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Française de Géotechnique, N° 60;
- [11] Hoek E., Brown E.T. (1988). The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, 31-38.
- [12] Hoek E., Marinos P. (2000). GSI: A geological friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, 1422-1446.
- [13] Hoek E., Diederichs M. S. (2006). Empirical Estimation of rock mass modulus. Int. J. Rock Mech. & Mining Sciences, 43, 203-215
- [14] Hoek E., Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186.
- [15] Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K., Yasuda S. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan. Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation, San Francisco, 885-896.
- [16] Wang J. N. (1993). Seismic design of tunnels. Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas. Inc., NY, Monograph, 7.
- [17] St John, C. M., and T. F. Zahrah. (1987). Aseismic design of underground structures. Tunnelling and underground space technology 2.2: 165-197.
- [18] Clough, R. W., & Penzien, J. (1993). Dynamics of Structures McGraw-Hill. Inc Editor.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>9 di 243</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	9 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	9 di 243													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo																		

4.3 DOCUMENTI SUPERATI

Non sono presenti documenti superati.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>10 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	10 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	10 di 243								

5. ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- All. [1] [Analisi con il metodo delle curve caratteristiche]
- All. [2] [Analisi numeriche – Fasi di calcolo e Risultati].

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 11 di 243

6. DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

- [19] IBOU1BEZZPZGN0500001 "Planimetria, profilo, pianta e sezione"
- [20] IBOU1BEZZBBGN0500001 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A0. Scavo e consolidamenti"
- [21] IBOU1BEZZBBGN0500002 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A0. Carpenteria e particolari"
- [22] IBOU1BEZZBBGN0500004 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A1. Scavo e consolidamenti"
- [23] IBOU1BEZZBBGN0500005 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A1. Carpenteria e particolari"
- [24] IBOU1BEZZBBGN0500006 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A1. Carpenteria centina."
- [25] IBOU1BEZZBBGN0500008 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A2. Scavo e consolidamenti"
- [26] IBOU1BEZZBBGN0500009 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A2. Carpenteria e particolari"
- [27] IBOU1BEZZBBGN0500010 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo A2. Carpenteria centina."
- [28] IBOU1BEZZBBGN0500012 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo B1*. Scavo e consolidamenti"
- [29] IBOU1BEZZBBGN0500013 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo B1*. Carpenteria e particolari"
- [30] IBOU1BEZZBBGN0500014 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo B1*. Carpenteria centina."
- [31] IBOU1BEZZBBGN0500015 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo B1*. Tipologico armatura."
- [32] IBOU1BEZZBBGN0500016 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C2*. Scavo e consolidamenti"
- [33] IBOU1BEZZBBGN0500017 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C2*. Carpenteria e particolari"
- [34] IBOU1BEZZBBGN0500019 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C2*. Carpenteria centina."
- [35] IBOU1BEZZBBGN0500020 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C2*. Tipologico armatura."
- [36] IBOU1BEZZBBGN0500071 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C1bis*. Scavo e consolidamenti"
- [37] IBOU1BEZZBBGN0500072 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C1bis*. Carpenteria e particolari"
- [38] IBOU1BEZZBBGN0500073 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C1bis*. Carpenteria centina"
- [39] IBOU1BEZZBBGN0500074 "Sezione di intradosso F2. Sezione tipo C1bis*. Tipologico armatura"
- [40] IBOU1BEZZBBGN0500021 "Camera di manovra – Scavo e consolidamenti"
- [41] IBOU1BEZZBBGN0500022 "Camera di manovra – Carpenteria e particolari."
- [42] IBOU1BEZZBBGN0500023 "Camera di manovra – Carpenteria centina."
- [43] IBOU1BEZZBBGN0500024 "Camera di manovra – Tipologico armatura."
- [44] IBOU1BEZZBBGN0500025 "Allargo a Camera di Manovra – Scavo e consolidamenti".
- [45] IBOU1BEZZBBGN0500026 "Allargo a Camera di Manovra – Carpenteria e particolari".
- [46] IBOU1BEZZBBGN0500027 "Allargo a Camera di Manovra – Carpenteria centina".
- [47] IBOU1BEZZBBGN0500028 "Allargo a Camera di Manovra – Tipologico armatura".
- [48] IBOU1BEZZBBGN0500037B "Galleria di Collegamento - Scavo e consolidamenti"
- [49] IBOU1BEZZBBGN0500038B "Galleria di Collegamento - Carpenteria e particolari"

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>12 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	12 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	12 di 243								

- [50] IBOV1BCZZBBGN0500040A "Galleria di Collegamento - Tipologico armatura"
- [51] IBOU1BEZZBBGN0500049B "Sezione Locali Tecnici - Scavo e consolidamenti"
- [52] IBOU1BEZZBBGN0500050B "Sezione Locali Tecnici - Carpenteria e particolari 1/2"
- [53] IBOU1BEZZBBGN0500076B "Sezione Locali Tecnici - Carpenteria e particolari 2/2"
- [54] IBOU1BEZZBBGN0500051B "Sezione Locali Tecnici - Carpenteria centina"
- [55] IBOV1BCZZBBGN0500052A "Sezione Locali Tecnici - Tipologico armatura"
- [56] IBOU1BEZZBBGN0500053B "Sezione di collegamento - Scavo e consolidamenti"
- [57] IBOU1BEZZBBGN0500054B "Sezione di collegamento - Carpenteria e particolari 1/2"
- [58] IBOU1BEZZBBGN0500075B "Sezione di collegamento - Carpenteria e particolari 2/2"
- [59] IBOU1BEZZBBGN0500055B "Sezione di collegamento - Carpenteria centina"
- [60] IBOV1BCZZBBGN0500056A "Sezione di collegamento - Tipologico armatura"

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 13 di 243

7. DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Finestra di Chiusa, da realizzarsi con metodo di scavo tradizionale, è funzionale alla realizzazione di una porzione della galleria Gardena. Tale finestra costruttiva si innesta nelle gallerie di linea ai km 20+958,05 B.P./21+012,96 B.D. Nella zona di innesto la sezione trasversale è ampliata per ragioni logistiche di cantiere. La funzione di questa finestra, in fase costruttiva, è quella di realizzare il tratto di gallerie di linea compresa tra il posto di comunicazione a Nord della zona d'innesto e i due cameroni di interconnessione a sud. La finestra ha uno sviluppo complessivo di 1.876 m circa ripartiti in 21,14 m di galleria artificiale e 1.763 m di galleria naturale (con pendenza massima del 6% circa) oltre il tratto di innesto.

Di seguito sono elencate le progressive di riferimento dell'opera:

- Da pk 0+000.00 a pk 0+021.14 (L=21.14 m) galleria artificiale;
- Da pk 0+021.14 a pk 1+784.12 (L=1762.9 m) galleria naturale – scavo tradizionale;
- Da pk 1+784.12 a pk 1+875.91 (L=91.79 m) innesto.

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

<i>Galleria di linea Gardena</i>	Galleria con configurazione a doppia canna/singolo binario lunghezza di 6,2 km circa per il B.P. e di 5,8 km circa per il B.D
<i>Finestra di Funes</i>	Galleria costruttiva del binario pari della Galleria Gardena, di lunghezza di 0,5 km circa. In esercizio, la finestra verrà utilizzata come uscita di emergenza
<i>Finestra di Chiusa</i>	Galleria costruttiva per l'attacco intermedio dello scavo della galleria Gardena della lunghezza di 1,8 km circa.
<i>Posto di Comunicazione doppia</i>	Doppio sistema di comunicazione, ciascuno composto da una galleria a singolo binario e da due cameroni di connessione. I cameroni del PC Sud presentano dimensioni geometriche adeguate a consentire il montaggio e la traslazione della TBM scudata per lo scavo delle gallerie di interconnessione
<i>Gallerie di Interconnessione</i>	Due gallerie a singolo binario della lunghezza 2,6 km circa per il ramo pari e 3,2 km circa per il ramo dispari, che sovrappassa la linea. Le interconnessioni si innestano nelle canne di linea tramite la realizzazione di due cameroni di diramazione.
<i>Cunicoli trasversali di collegamento</i>	Queste opere sono previste sia per le gallerie di linea che per le gallerie di interconnessione e collocate ad intervalli di 500 m al massimo.
<i>Altre opere funzionali al sistema</i>	Cameroni trasversali alle finestre per locali tecnici, cameroni di manovra al termine delle finestre, by-pass tecnici, nicchioni tecnici.
<i>Altre opere funzionali alla galleria</i>	Camere di sfiocco, per il montaggio della struttura di spinta e di partenza della TBM.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>14 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	14 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	14 di 243								

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato e delle opere si rimanda alla "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo".

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 15 di 243

8. 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 della modellazione geotecnica eseguita. Nel corso del PE non sono state eseguite indagini integrative lungo lo sviluppo della galleria naturale; pertanto le considerazioni seguenti riprendono quanto già evidenziato nella fase progettuale precedente.

8.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Finestra Funes. Per un quadro esauriente e dettagliato si rimanda agli elaborati specialistici di U.O. Geologia del presente progetto (Rif. [6]).

In prossimità dell'imbocco della Finestra Chiusa sono presenti i **Depositi fluvio glaciali (df)**, costituiti da ghiaie sabbiose con blocchi di dimensioni pluridecimetriche. Tali depositi interessano lo scavo della galleria naturale nella zona di imbocco e del concio d'attacco.

Dall'imbocco della galleria naturale e per circa 90m la Finestra Chiusa attraversa le **Filladi (BSSb)**, caratterizzate da percentuali variabili di quarzo.

Il passaggio alle **Filladi ricche in quarzo (BSSa)**, dove la galleria permane fino all'innesto con la galleria di linea, avviene per contatto tettonico attorno alla pk 0+112 circa. La formazione delle Filladi ricche in quarzo 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 (p)** di limitato spessore, costituiti 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.

Le Filladi BSSa sono attraversate da una faglia intercettata a pk 1+330 circa.

Per ulteriori dettagli sul modello geologico si rimanda agli elaborati di progetto specialistici (Rif. [6]).

8.2 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere all'aperto e in sotterraneo, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagini geognostiche, sia pregresse (Pd CdS 2013) che riferite all'attuale fase progettuale (2017). Sono stati inoltre considerati i quattro sondaggi eseguiti durante la campagna RFI del 2006.

Campagna 2006, RFI

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 16 di 243

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche del 2006 sono stati eseguiti n° 1 sondaggio profondo (spinto a profondità superiore a 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 state eseguite:

- prelievo di n° 27 campioni;
- n° 26 prove S.P.T.;
- 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 state eseguite:

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

Per i sondaggi ordianri sono state eseguite:

- prelievo di 297 campioni;
- n° 197 prove S.P.T.;
- n° 85 prove pressiometriche;
- n° 67 prove dilatometriche;
- n° 73 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 76 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2017, Italferr S.p.A.

Nell'ambito della campgna di indagini geognostiche del 2017 sono stati eseguiti n° 52 rilievi geostrutturali di superficie, n° 9 sondaggi profondi (ossia spinti 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 state eseguite:

- prelievo di n° 90 campioni rimaneggiati;
- n° 74 prove di permeabilità tipo Lugeon;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 17 di 243

- n° 3 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- n° 59 prove dilatometriche;
- n° 52 prove di fratturazione idraulica.

Per i sondaggi ordinari sono stati eseguite:

- prelievo di n° 176 campioni;
- n° 158 prove S.P.T.;
- 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.[6]) e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sul profilo geotecnico di progetto (Rif. [4])

8.2.1 Indagini geofisiche

Durante la campagna 2012-2103 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 del 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;
- n° 59 rilievi HVSr;
- n° 21 stazioni magnetotellurgiche.

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici di U.O. Geologia (Rif. [6]).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 18 di 243

8.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GOTECNICA

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 Finestra Chiusa si riportano le unità geotecniche interessate dallo scavo:

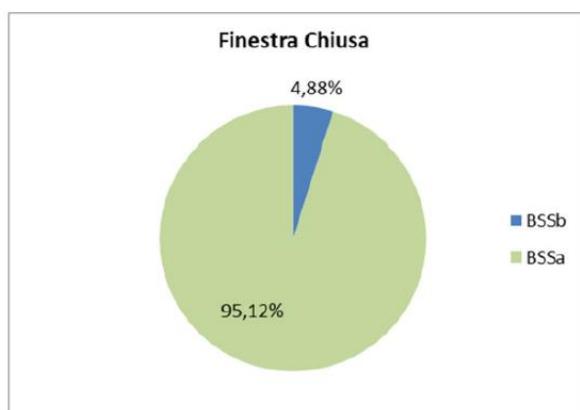


Fig. 1 - Unità geotecniche – Finestra Chiusa

Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione, è illustrato nella tavola del Profilo Geotecnico (Rif.[4]).

8.3.1 Caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi

Le Finestra Chiusa, come già rappresentato nella Fig. 1 attraversa le formazioni appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico: BSSa e BSSb.

Per queste unità geotecniche sono stati analizzati e interpretati tutti i dati provenienti dalle indagini in sito e in laboratorio, permettendo la caratterizzazione della matrice litoide e l'individuazione di range di variabilità dell'indice GSI in funzione della profondità e dello stato di fratturazione nella tratta di interesse.

8.3.1.1. 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 σ_{ci} e il modulo elastico E_i .

Per la definizione del modulo elastico della matrice litoide, oltre ai dati provenienti dalle prove di laboratorio, è stata utilizzata la correlazione di Lembo Fazio e Ribacchi (1984) (Rif.[8]) che lega il modulo elastico E_i alla velocità delle onde P (v_p) secondo quanto rappresentato nella Fig. 2.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 19 di 243

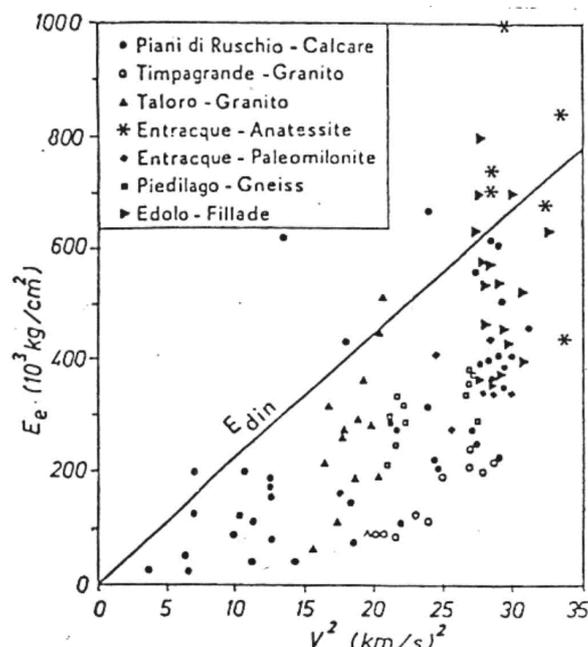


Fig. 2 - Correlazione tra E_i e v_p proposta da Lembo Fazio e Ribacchi (1984).

8.3.1.1.1 Basamento Metamorfico Ercinico

Filladi a granato (BSS), Filladi ricche in quarzo (BSSa), Filladi a granato (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 – BSSb;
- d. Filladi carboniose – BSSc;

per cui sono state considerate anche le *Filladi BSSb, BSSc e BSS* non attraversate dalla Finestra Chiusa.

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 carboniose BSSc*, attraversate dalla galleria Gardena, sono costituite da filladi quarzifere alternate a lenti più o meno potenti contenenti grafite e sono caratterizzate da scistosità più marcata. Le *Filladi a granato BSS*, attraversate dalla galleria Scaleres e dalla Finestra Forch, sono rocce filladiche di caratterizzate da porzioni più ricche in quarzo e da porzioni con prevalenza di fillosilicati.

Nelle Fig. 3 e nella Fig. 4 sono stati diagrammati i valori della resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} e del modulo elastico E_i distinti per le formazioni *BSSa, BSS/BSSb e BSSc*. Come si può notare i valori di σ_{ci} relativi alla formazione *BSSc* occupano la porzione inferiore del grafico rispetto al totale del campione a disposizione. Il risultato ottenuto conferma le caratteristiche 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 di dati.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 20 di 243

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

Il range di variabilità dei parametri geotecnici scelti per le formazioni *BSS** (*BSSa*, *BSS* e *BSSb*), rappresentato nella Fig. 5 e nella Fig. 6, è di seguito riportato:

$$\begin{array}{ll} \text{BSS*} & 37 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 82 \text{ MPa} \\ (\text{BSSa, BSS e BSSb}) & 17 \text{ GPa} \leq E_i \leq 35 \text{ GPa} \end{array}$$

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:

$$\begin{array}{ll} \text{BSSa} & \sigma_{ci} = 55 \text{ MPa} \\ & E_i = 27 \text{ GPa} \\ \text{BSSb} & \sigma_{ci} = 40 \text{ MPa} \\ & E_i = 22 \text{ GPa} \end{array}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 21 di 243

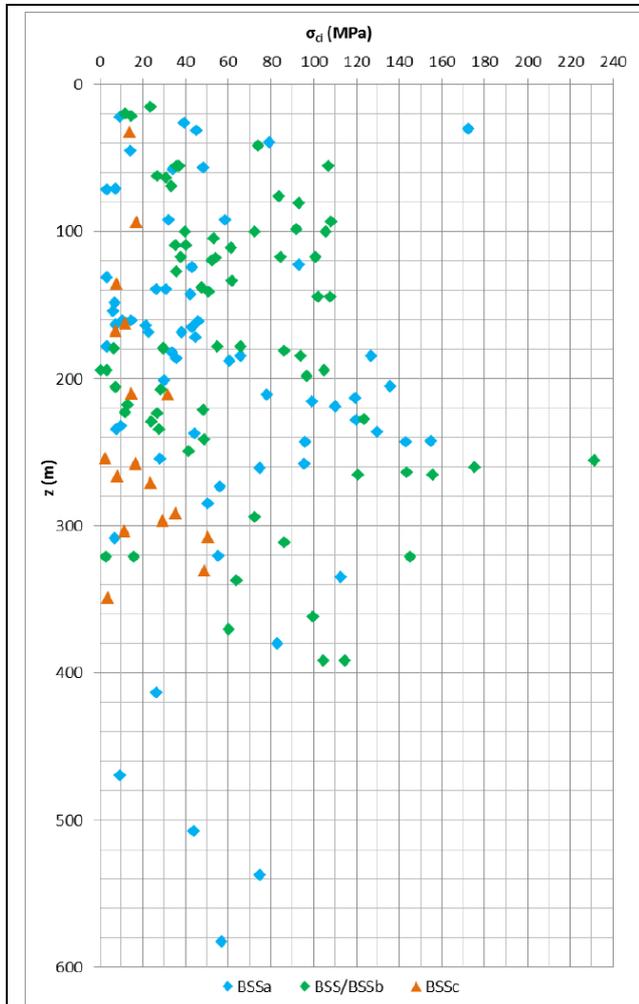


Fig. 3 - Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide

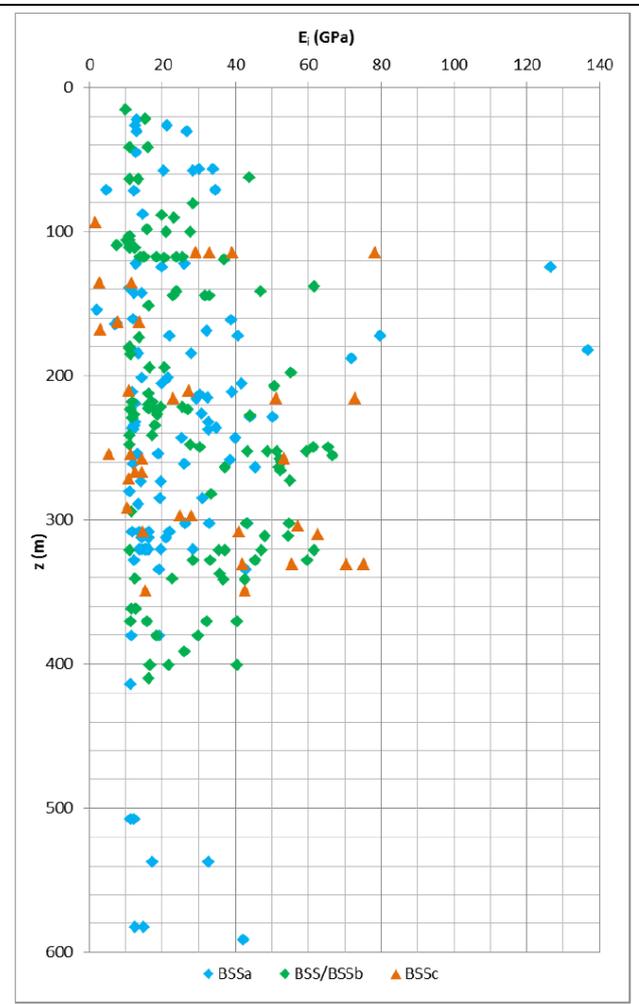


Fig. 4 - Modulo elastico della matrice litoide

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 22 di 243

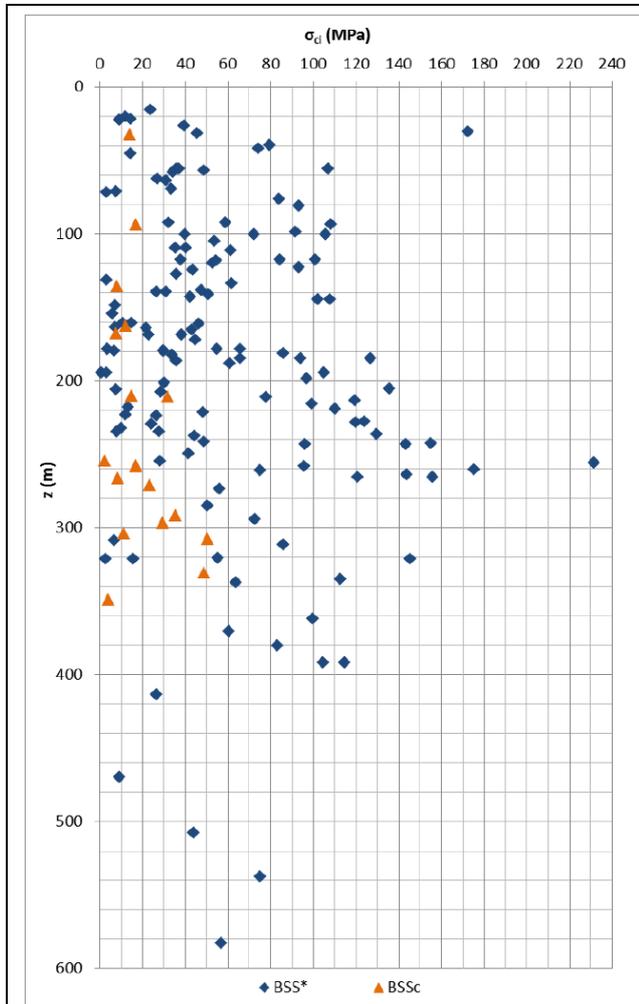


Fig. 5 - BSS* e BSSc - Resistenza a compressione monoassiale della matrice litoide

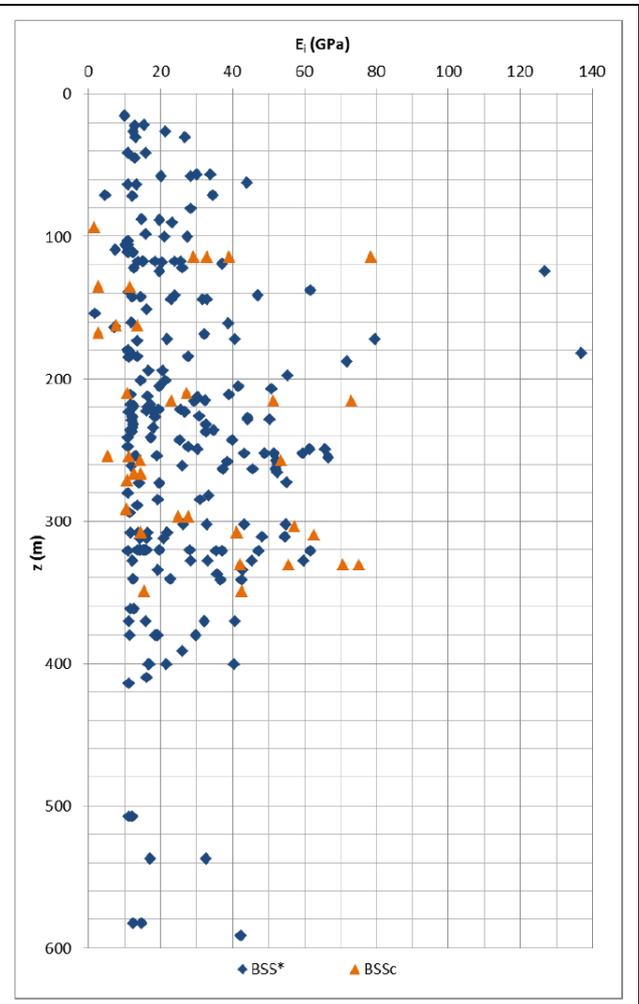


Fig. 6 - BSS* e BSSc - Modulo elastico della matrice litoide

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 23 di 243

8.3.1.2. 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 (1988) (Rif.[11]) e alla definizione dell'indice GSI (Rif.[12]) (Geological Strength Index method, Fig. 7).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		Very rough, fresh unweathered surfaces	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
<p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>		90	80	N/A	N/A	N/A
<p>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>		80	70	60	N/A	N/A
<p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>		70	60	50	N/A	N/A
<p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>		60	50	40	30	N/A
<p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>		50	40	30	20	N/A
<p>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>		N/A	N/A	N/A	10	N/A

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

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

$$GSI = RMR - 5$$

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

- resistenza a compressione monoassiale della roccia R1;
- indice RQD (Rock Quality Designation) R2;
- spaziatura delle discontinuità R3;
- condizioni delle discontinuità R4;

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 24 di 243

- condizioni idrauliche R5.

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

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

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988) (Rif. [11]), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

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

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

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

dove:

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

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

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

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

A partire dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown così definito, è possibile calcolare i parametri equivalenti c' e φ' , secondo il criterio di resistenza lineare di Mohr-Coulomb. A tale scopo è necessario stabilire una profondità (dunque una tensione) di riferimento, nell'intorno della quale linearizzare il criterio di resistenza di Hoek e Brown. Anche il modulo elastico dell'ammasso roccioso E_{rm} può essere determinato a partire da quello relativo alla roccia intatta E_i , in funzione dell'indice GSI e del fattore di disturbo D, secondo quanto proposto da Hoek e Diedericks (2006) (Rif.[13]).

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 (Rif. [6]). Considerando che il GSI, determinato attraverso i rilievi su carote, è affetto da incertezze e da indeterminazioni e quindi può risultare non rappresentativo e non affidabile per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è dato maggior peso al GSI determinato da rilievi di superficie.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse e di definire un range di variazioni del Geological Strength Index (GSI) in funzione della profondità e dello stato di fratturazione come riportato in Tab. 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]).

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 25 di 243

Classi di copertura	GSI
(m)	BSS* (BSSa, BSS, BSSb)
< 30	30 ÷ 40
30 ÷ 50	35 ÷ 45
50 ÷ 100	40 ÷ 50
100 ÷ 150	40 ÷ 50
150 ÷ 300	45 ÷ 55
300 ÷ 450	50 ÷ 60
450 ÷ 600	60 ÷ 70

Tab. 1 - Range di variabilità dell'indice GSI.

8.3.2 Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità interessate dalle opere

Di seguito si riportano gli intervalli dei principali parametri fisico-meccanici delle unità interessate dalle opere afferenti alla Finestra Chiusa.

Unità	γ	c'	φ'	E
	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(GPa)
BSS* (BSSa, BSS, BSSb)	27	0	35 ÷ 80	17 ÷ 35

Tab. 2 – Riepilogo parametri geotecnici.

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, sono stati individuati in Tab. 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 (§9.2.1.3).

Unità	γ	σ_{ci}	E	m_i
	(kN/m ³)	(MPa)	(GPa)	(-)
BSSa	27	55	27	7
BSSb	22	40	22	7

Tab. 3 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi per la matrice litoide.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 26 di 243

8.3.3 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 Tab. 4 sono riportate le cinque classi di permeabilità definite per il presente progetto e i rispettivi range di variabilità della permeabilità (Rif.[6]), mentre nella Tab. 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	$K \leq 10^{-8}$	

Tab. 4 – Classi di permeabilità.

CLASSI DI PERMEABILITA'		RANGE DI PERMEABILITA' (m/s)	
Molto Bassa	K1	Dioriti quarzifere di Chiusa	δ
		Granito di Bressanone	γ_{bi}
		Granodioriti di tiles	GDT
		Brecce di intrusione	BDI
Bassa	K2	Filladi a granato	BSS
		Filladi ricche in quarzo	BSSa
		Filladi	BSSb

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 27 di 243

		Filladi carboniose	BSSc
		Aureola metamorfica	MPC
		Porfiroidi	p
		Paragneiss di Laion	PRL
		andesiti	α
Medio - Alta	K4	Depositi alluvionali - deltizi	Dlt, at, ar
		Depositi colluviali	c
		Conoidi di detrito	Cd
		Conoide fluviale	Cf
		Detrito di versante	D
		Deposito fluvioglaciali	Df
Alta	K5	Accumulo di frana	f
		Depositi antropici	h

Tab. 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 Tab. 5.

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

La stima delle possibili interferenze dell'opera in progetto sulle risorse idriche è stata effettuata utilizzando l'indice DHI Drawdon Hazard Index (Rif.[6]). 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 Tab. 6.

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

Tab. 6 – Classi di rischio DHI.

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 28 di 243

I risultati della valutazione dell'impatto sulle sorgenti/pozzi dimostra che il 90% dei punti ricade entro le classi di rischio basso e nullo, mentre il 105 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. [6]).

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. [6]).

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.[6]). 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

8.3.4 Lo stato tensionale in sito

Lo stato tensionale in sito è stato stimato sulla base dei risultati delle prove di fratturazione idraulica eseguite all'interno dei fori di sondaggio realizzati nelle campagne di indagine del 2008 e del 2013. Le prove eseguite per la Galleria Gardena mostrano che il coefficiente K_0 assume valori generalmente compresi tra 0.6 e 1.5.

Nelle analisi riportate nei successivi paragrafi, il coefficiente di spinta K_0 è stato posto pari a 0.7 per le sezioni poste all'interno dell'unità BSSa e pari a 0.52 per le sezioni di analisi nelle zone di faglia caratterizzate da condizioni di nucleo e fronte instabile (sezioni tipo C).

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 29 di 243

9. 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.

9.1 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

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 30 di 243

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

Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

9.2 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.

9.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

9.2.1.1. Metodi di analisi

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

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

Le ipotesi alla base del metodo sono le seguenti:

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

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 31 di 243

- stato tensionale iniziale isotropo.

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

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte col codice di calcolo GV4 (ver S.5.1 gen.2021).

Per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Ove necessario, per la definizione del comportamento deformativo della galleria in funzione della distanza dal fronte, si utilizza il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif.[9], Rif.[10]), che consente di ottenere risultati affidabili sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni.

Per il calcolo della convergenza al fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche.

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

9.2.1.2. *Analisi con il metodo all'equilibrio limite di Tamez (1984)*

Nelle analisi di stabilità del nucleo-fronte condotte secondo il metodo proposto da Tamez (1984), sono stati adottati i parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci, considerando una risposta del fronte di scavo in condizioni drenate, in ipotesi di scenario gravoso di dissipazione delle pressioni interstiziali per permeabilità elevata o fronti di scavo aperti per lungo periodo.

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

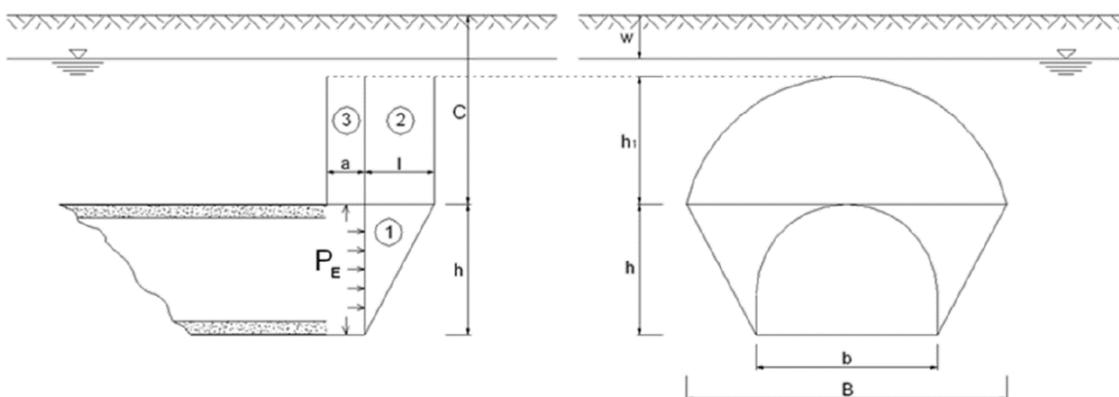


Fig. 8 – Stabilità del fronte secondo il metodo di Tamez (1984).

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 32 di 243

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

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

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

$$C = \frac{3.4 \cdot C_1}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2 \cdot \sqrt{K_A}}$$

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

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

Il fronte di scavo viene considerato stabile per valori di FSF > 1.5. Per valori di FSF superiori a 2, il sostegno del fronte può considerarsi non necessario.

9.2.1.3. Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state definite delle tratte omogenee, come sintetizzato nel Profilo Geotecnico (Rif. [4]).

I parametri geotecnici sono stati valutati considerando la variazione di GSI nell'intervallo di riferimento indicato sul Profilo Geotecnico e la massima copertura per ogni tratta omogenea. Le sezioni tipo prese in esame sono quelle previste in PD: A0, A1, A2, B1 e C2v, cui sono stati attribuiti valori di GSI progressivamente decrescenti con intervalli di variazione di 5. La scelta di esaminare le sezioni tipo del PD è mirata da un lato ad ottimizzare le lunghezze di applicazione delle sezioni tipo nel passaggio dal progetto definitivo al progetto

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 33 di 243

esecutivo e dall'altro a definire le sezioni di calcolo che saranno rappresentative delle condizioni più critiche lungo tutto lo sviluppo della galleria. In aggiunta si riporta la sezione del Camerone di Manovra ricadente nell'ultima tratta omogenea.

La presente relazione illustra anche la verifica della sezione C1bis* posta successivamente al concio d'attacco. Data la peculiarità di questa tratta, anche in termini di caratteristiche meccaniche del terreno attraversato, l'approccio di analisi è descritto separatamente rispetto alle altre sezioni di studio.

Sono state prese in esame, infine, le sezioni in corrispondenza dell'intersezione con la finestra di Chiusa (una sezione in corrispondenza della galleria tecnologica GN05J, una sezione della galleria di innesto GN05C ed una sezione del by-pass di collegamento tra la galleria tecnologica e le gallerie di linea GN05M).

I dati di input per la determinazione dei parametri sono sintetizzati in Tab. 7, mentre i parametri ottenuti sono riassunti in Tab. 8.

Tratta (coperture)	Sezione	Unità	H [m]	γ [kN/m ³]	σ_c [MPa]	GSI [-]	E_i [MPa]	ν [-]	m_i [-]	D [-]
450÷570 m	A0	BSSa	570	27	55	70	27000	0.3	7	0
	A1	BSSa	570	27	55	65	27000	0.3	7	0
	A2	BSSa	570	27	55	65	27000	0.3	7	0
	B1*	BSSa	570	27	55	60	27000	0.3	7	0
420÷450 m	A1	BSSa	450	27	55	60	27000	0.3	7	0
	A2	BSSa	450	27	55	60	27000	0.3	7	0
	B1*	BSSa	450	27	55	55	27000	0.3	7	0
413÷420 m (faglia)	B1*	BSSa	420	27	55	40	27000	0.3	7	0
	C2*	BSSa	420	27	55	40	27000	0.3	7	0
300÷413 m	A0	BSSa	413	27	55	60	27000	0.3	7	0
	A1	BSSa	413	27	55	60	27000	0.3	7	0
	A2	BSSa	413	27	55	55	27000	0.3	7	0
	B1*	BSSa	413	27	55	50	27000	0.3	7	0
150-300 m	A0	BSSa	300	27	55	55	27000	0.3	7	0
	A1	BSSa	300	27	55	50	27000	0.3	7	0
	A2	BSSa	300	27	55	45	27000	0.3	7	0
100-150 m	A0	BSSa	150	27	55	50	27000	0.3	7	0
	A1	BSSa	150	27	55	45	27000	0.3	7	0

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	34 di 243

	B1*	BSSa	150	27	55	40	27000	0.3	7	0
50-100 m	A0	BSSa	100	27	55	45	27000	0.3	7	0
	A1	BSSa	100	27	55	40	27000	0.3	7	0
	B1	BSSa	100	27	55	35	27000	0.3	7	0
40-50 m (danneggiamento)	B1	BSSb	50	22	40	10	22000	0.3	7	0
	C2*	BSSb	50	22	40	10	22000	0.3	7	0
< 40 m	A1	BSSb	40	22	40	40	22000	0.3	7	0
	B1	BSSb	40	22	40	30	22000	0.3	7	0
570 m	Camerone	BSSa	570	27	55	65	27000	0.3	7	0
575 m	Galleria di innesto (GN05C)	BSSa	575	27	55	65	27000	0.3	7	0
585 m	By-pass di collegamento (GN05M)	BSSa	585	27	55	65	27000	0.3	7	0
585 m	Galleria tecnologica (GN05J)	BSSa	585	27	55	65	27000	0.3	7	0

H: profondità dell'asse della galleria
 γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso
 σ_c : resistenza a compressione uniassiale delle roccia intatta
GSI: geological strength index
 E_i : modulo elastico della roccia intatta
n: coefficiente di Poisson
 m_i : coefficiente di Hoek-Brown
D: fattore di disturbo

Tab. 7 – Dati di input per la determinazione dei parametri geotecnici delle tratte omogenee

Tratta (coperture m)	Sezione	pk [km]	H [m]	A_{scavo} [m ²]	R_{eq} [m]	S_m [MPa]	c'_k [MPa]	φ'_k [°]	E_k [MPa]
450÷570 m	A0	1+784.11	570	62.55	4.46	15.39	2.734	38.24	19786
	A1	1+784.11	570	65.25	4.56	15.39	2.340	37.04	17056
	A2	1+784.11	570	66.60	4.60	15.39	2.340	37.04	17056
	B1*	1+784.11	570	72.33	4.80	15.39	2.044	35.76	14040
420÷450 m	A1	1+417.13	450	65.25	4.56	12.15	1.826	37.54	14040

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. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 35 di 243		

	A2	1+417.13	450	66.60	4.60	12.15	1.826	37.54	14040
	B1*	1+417.13	450	72.33	4.80	12.15	1.605	36.21	11024
413÷420 m (faglia)	B1	1+330.16	420	72.33	4.80	11.34	1.112	32.38	4310
	C2*	1+330.16	420	76.73	4.94	11.34	1.112	32.38	4310
300÷413 m	A0	1+310.20	413	62.55	4.46	11.15	1.311	33.32	6326
	A1	1+310.20	413	65.25	4.56	11.15	1.311	33.32	6326
	A2	1+310.20	413	66.60	4.60	11.15	1.132	31.32	4675
	B1*	1+310.20	413	72.33	4.80	11.15	0.989	29.29	3393
150÷300	A0	0+748.34	300	62.55	4.46	8.10	0.955	33.76	4675
	A1	0+748.34	300	65.25	4.56	8.10	0.827	31.70	3393
	A2	0+748.34	300	72.33	4.80	8.10	0.722	29.60	2456
100÷150	A0	0+395.30	150	62.55	4.46	4.05	0.572	37.00	3393
	A1	0+395.30	150	65.25	4.56	4.05	0.489	34.87	2456
	B1*	0+395.30	150	72.33	4.80	4.05	0.422	32.64	1803
50÷100	A0	0+288.02	100	62.55	4.46	2.70	0.593	44.70	6039
	A1	0+288.02	100	65.25	4.56	2.70	0.570	43.28	4311
	B1*	0+288.02	100	72.33	4.80	2.70	0.438	41.69	3062
40-50 m (danneggiamento)	B1*	0+111.92	50	72.33	4.80	1.10	0.088	33.3	671
	C2*	0+111.92	50	76.73	4.94	1.10	0.088	33.3	671
< 40 m	A1	0+064.12	40	65.25	4.56	1.08	0.282	47.51	3512
	B1*	0+064.12	40	72.33	4.80	1.08	0.200	44.31	1790
570 m	Camerone	1+417.13	570	210.53	8.19	15.39	2.340	37.04	17056
575 m	Galleria di innesto (GN05C)	-	575	130.8	6.45	15.52	2349	36.98	17056
585 m	By-pass di collegamento (GN05M)	-	585	27.96	2.98	15.79	2367	36.85	17056
585 m	Galleria tecnologica (GN05J)	-	585	67.84	4.65	15.79	2367	36.85	17056

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 36 di 243

H: profondità dell'asse della galleria

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

A_{scavo} : area di scavo

R_{eq} : raggio di scavo equivalente

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

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

E_k : valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tab. 8 – Parametri geotecnici delle tratte omogenee.

Formazione Sezione Tipo	Z	b	h	W	h_1	γ_1	γ_2	c'_1	c'_2	ϕ'_m
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]
d – C1bis*	14	9.20	8.80	30	14	20	20	0	0	35

Z: copertura rispetto alla calotta della galleria

b: larghezza dello scavo

h: altezza dello scavo

h_1 : altezza sopra la calotta della galleria del meccanismo di collasso (se $Z/h < 3$, $h_1 = Z$)

W: profondità superficie piezometrica da piano campagna

γ_1 : peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h_1)

γ_2 : peso medio dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)

c'_1 : valore caratteristico medio della coesione al fronte (su h)

c'_2 : valore caratteristico medio della coesione dalla calotta fino a h_1

ϕ'_m : valore caratteristico medio dell'angolo di attrito dei materiali presenti dall'arco rovescio fino a h_1

L'analisi è stata svolta considerando:

K_0 : coefficiente di spinta a riposo pari a 0.5

K_A : coefficiente di spinta attiva pari a 0.5

a: lunghezza non sostenuta pari a 1 m

Tab. 9 – Dati di input per l'analisi di stabilità del fronte di scavo con il metodo di Tamez.

9.2.1.4. Risultati delle analisi

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

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso $\sigma_c = (2c' \cos\phi') / (1 - \sin\phi')$ 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;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 37 di 243

- sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento i seguenti due criteri:

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

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

Tab. 10 – Criterio 1

u_F / R_{eq}	R_{pF} / R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0.2 \%$	≤ 1.1	A
$> 0.2 \%$ e $\leq 0.5 \%$	> 1.1 e ≤ 1.5	B
$> 0.5 \%$	> 1.5	C

u_F : convergenza radiale al fronte
 R_{pF} : raggio plastico al fronte
 R_{eq} : raggio di scavo equivalente della galleria

Tab. 11 – 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 riassunti nella tabella seguente (Tab. 12). I tabulati di calcolo con la rappresentazione delle curve caratteristiche sono invece riportati integralmente in Allegato 1.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 38 di 243

Tratta (coperture m)	Sezione	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c/p_c [-]	u_F [mm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{pF} [m]	R_{pF}/R_{eq} [-]	Criterio		
									1	2.1	2.2
450÷570 m	A0	11.27	3.675	3.07	2.53	0.06	4.85	1.09	A	A	A
	A1	9.39	4.059	2.31	3.22	0.07	5.10	1.12	A	A	B
	A2	9.39	4.059	2.31	3.25	0.07	5.15	1.12	A	A	B
	B1*	7.98	4.428	1.80	4.45	0.09	5.54	1.15	A	A	B
420÷450 m	A1	7.41	3.143	2.36	3.07	0.07	5.09	1.12	A	A	B
	A2	7.41	3.143	2.36	3.10	0.07	5.13	1.12	A	A	B
	B1*	6.33	3.433	1.84	4.44	0.09	5.52	1.15	A	A	B
413÷420 m (faglia)	B1*	4.04	3.407	1.19	13.68	0.29	6.07	1.26	A/B	B	B
	C2*	4.04	3.407	1.19	14.08	0.29	6.24	1.26	A/B	B	B
300÷413 m	A0	4.86	3.631	1.34	7.47	0.17	5.39	1.21	A	A	B
	A1	4.86	3.631	1.34	7.64	0.17	5.51	1.21	A	A	B
	A2	4.03	4.014	1.00	12.07	0.26	5.86	1.27	A/B	B	B
	B1*	3.38	4.403	0.77	20.54	0.43	6.51	1.36	B/C	B	B
150÷300	A0	3.57	2.590	1.38	7.25	0.16	5.36	1.20	A	A	B
	A1	2.97	2.872	1.03	11.77	0.26	5.77	1.27	A/B	B	B
	A2	2.48	3.160	0.79	20.27	0.42	6.47	1.35	B/C	B	B
100÷150	A0	2.29	1.090	2.11	4.28	0.10	5.04	1.13	A	A	B
	A1	1.87	1.232	1.52	6.77	0.15	5.39	1.18	A	A	B
	B1*	1.54	1.380	1.12	11.17	0.23	5.98	1.25	A/B	B	B
50÷100	A0	2.84	0.421	6.75	1.33	0.03	4.59	1.03	A	A	A
	A1	2.64	0.466	5.67	6.77	0.15	5.39	1.18	A	A	B
	B1*	1.95	0.562	3.48	3.05	0.06	5.16	1.08	A	A	A
40-50 m (danneggiamento)	B1*	0.33	0.336	0.97	9.16	0.19	6.19	1.29	A/B	B	A
	C2*	0.33	0.336	0.97	9.43	0.19	6.37	1.29	A/B	B	A
< 40 m	A1	1.45	0.126	11.54	0.91	0.02	4.60	1.01	A	A	A
	B1*	0.95	0.187	5.09	1.98	0.04	5.03	1.05	A	A	A

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 39 di 243

570 m	Camerone	9.39	4.059	2.31	5.80	0.07	9.18	1.12	A	A	B
575 m	Galleria di innesto (GN05C)	9.41	3.06	3,07	5.3	0.08	7.23	1.12	A	A	B
585 m	By-pass di collegamento (GN05M)	9.46	3.16	2,99	2.4	0.08	3.35	1.12	A	A	B
585 m	Galleria tecnologica (GN05J)	9.46	3.16	2,99	3.9	0.08	5.22	1.12	A	A	B

σ_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)

R_{eq} : raggio di scavo equivalente della galleria

Tab. 12 - Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi

L'osservazione dei risultati permette di trarre le seguenti conclusioni:

- per tutte le tratte esaminate si osserva un comportamento prevalente delle condizioni del fronte e del cavo di tipo stabile, ad eccezione delle zone di attraversamento di faglia; pertanto, l'applicazione delle sezioni di scavo tipo A è quella maggiormente frequente lungo lo sviluppo della Finestra di Chiusa;
- per la tratta omogenea alle massime coperture (H=450÷570m), le condizioni del fronte e del cavo sono prevalentemente stabili in base ad entrambi i criteri; pertanto, si prevede l'applicazione prevalente delle sezioni tipo A, limitando al minimo la lunghezza di applicazione della sezione tipo B1* prevista in PD.
- per la tratta omogenea alle coperture H=420÷450m, le condizioni del fronte e del cavo sono stabili in base ad entrambi i criteri; pertanto, si prevede l'applicazione prevalente delle sezioni tipo A, limitando al minimo la lunghezza di applicazione della sezione tipo B1* prevista in PD.
- per la tratta omogenea alle coperture H=413÷420m (PE H=400) m in faglia, le condizioni del fronte e del cavo sono prevalentemente instabili in base ad entrambi i criteri; pertanto, si conferma la scelta di PD.
- per la tratta omogenea alle coperture H=300÷413m (PE H=300÷450m), le condizioni del fronte e del cavo sono stabili in base ad entrambi i criteri per le sezioni A0 e A1, mentre il comportamento del fronte è stabile a breve termine per le sezioni A2 e B1*; pertanto, si conferma la scelta di PD.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 41 di 243

<30	35.5	0%	0.0	40%	14.2	0%	0.0	60%	21.3	0%	0.0
30÷50	47.9	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	40%	19.2	60%	28.8
50÷100	116.1	35%	40.6	40%	46.4	0%	0.0	25%	29.0	0%	0.0
100÷150	167.3	40%	66.9	45%	75.3	0%	0.0	15%	25.1	0%	0.0
150÷300	353.0	30%	105.9	40%	141.2	30%	105.9	0%	0.0	0%	0.0
300÷413	561.9	20%	112.4	20%	112.4	40%	224.7	20%	112.4	0%	0.0
413÷420f	20.0	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	40%	8.0	60%	12.0
420÷450	87.0	0%	0.0	35%	30.4	40%	34.8	25%	21.7	0%	0.0
450÷570	367.0	25%	91.7	20%	73.4	35%	128.4	20%	73.4	0%	0.0
Tot [m]	1755.6		417.6		493.3		493.9		310.1		40.7
Tot [%]			23.8%		28.1%		28.1%		17.7%		2.3%

Tab. 13 – Lunghezze di applicazione delle sezioni tipo di PD

Copertura per tratta	L	A0		A1		A2		B1*		C2*	
	[m]	[%]	L [m]	[%]	L [m]	[%]	L [m]	[%]	L [m]	[%]	L [m]
<30	55.28	0%	0.0	60%	33.2	0%	0.0	40%	22.1	0%	0
30÷50	35.0	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	60%	21.0	40%	14.0
50÷100	106.6	50%	53.3	40%	46.4	0%	0.0	10%	10.7	0%	0
100÷150	167.3	40%	66.9	45%	75.3	0%	0.0	15%	25.1	0%	0
150÷300	353.0	30%	105.9	40%	141.2	30%	105.9	0%	0.0	0%	0
300÷450	560.6	20%	112.4	20%	112.4	40%	224.2	20%	112.4	0%	0
413÷420f	20.0	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	40%	8.0	60%	12.0
420÷450	88.2	0%	0.0	40%	34.8	45%	39.7	15%	13.0	0%	0
450÷570	367.0	30%	110.1	20%	73.4	35%	128.4	15%	55.0	0%	0
Tot [m]	1752.9		448.3		513.1		498.2		267.0		26.0
Tot [%]			25.58%		29.27%		28.42%		15.25%		1.48%

Tab. 14 – Lunghezze di applicazione delle sezioni tipo di PE

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 42 di 243

10. FASE DI TERAPIA

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

10.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO

10.1.1 Sezione A0

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif.[4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 m di spritz-beton fibrorinforzato e 9+8 bulloni radiali ad ancoraggio continuo, costituiti da Swellex Mn16, di lunghezza pari a 4.5m, passo longitudinale di 2.0 m e trasversale di 1.5m. È prevista una variabilità di $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento in caso di presenza d'acqua. L=30m, sovrapposizione minima = 10 m, diametro esterno $\Phi > 60\text{mm}$, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo non armato, con spessore di 50 cm;
- Calotta in calcestruzzo non armato, con spessore di 50 cm.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 3 m, a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato e messa in opera dei bulloni radiali secondo le geometrie di progetto;
- Fase 4: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo alle murette) ad una distanza variabile, funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione con posizionamento dei tubi microfessurati $\Phi 160$ mm in PVC e dei cordolini idroespansivi secondo le indicazioni di progetto;
- Fase 6: getto del rivestimento di calotta entro una distanza variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 43 di 243

10.1.2 Sezione A1

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 160 con passo 1.4 m: è prevista una variabilità di $\pm 20\%$ del passo centine;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento in caso di presenza d'acqua. L=30m, sovrapposizione minima = 10 m, diametro esterno $\Phi > 60\text{mm}$, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo non armato, con spessore di 60 cm;
- Calotta in calcestruzzo non armato, con spessore di 60 cm.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 1.90 m, a piena sezione, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: posa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato e messa in opera dei bulloni radiali secondo le geometrie di progetto;
- Fase 4: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo alle murette) ad una distanza massima dal fronte di scavo di 5D (tale distanza potrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo);
- Fase 5: posa in opera dell'impermeabilizzazione con posizionamento dei tubi microfessurati $\Phi 160$ mm in PVC e dei cordolini idroespansivi secondo le indicazioni di progetto;
- Fase 6: getto del rivestimento di calotta entro una distanza variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 44 di 243

10.1.3 Sezione A2

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Precontenimento al contorno mediante n°. 13+12 bulloni radiali ad ancoraggio continuo costituiti da Swellex Mn16, di lunghezza pari a 6.0m, passo longitudinale di 1.2 m e trasversale di 1.0 m. È prevista una variabilità del ± 20 % riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni e al passo delle centine
- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 180 con passo 1.2 m; è prevista una variabilità di $\pm 20\%$ del passo centine;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 10 m, diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette con spessore di 70 cm gettate alla distanza massima di 3D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo di calotta dello spessore di 60 cm ad una distanza variabile dal fronte di scavo in funzione del comportamento deformativo del cavo.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 1.70 m, a piena sezione, mediante sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: messa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato al fine di ottenere gli spessori di progetto e delle centine metalliche secondo le geometrie di progetto;
- Fase 4: messa in opera dei bulloni radiali tipo Swellex secondo le geometrie di progetto;
- Fase 5: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo alle murette) ad una distanza massima dal fronte di scavo di 3D;
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione con posizionamento dei tubi microfessurati $\varnothing 160$ mm in PVC e dei cordolini idroespansivi secondo le indicazioni di progetto;
- Fase 7: getto del rivestimento definitivo di calotta e piedritti entro una distanza variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 45 di 243

10.1.4 Sezione B1*

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi in avanzamento e rivestimento di prima fase

- Il campo di avanzamento massimo e pari a 9.0 m.
- Precontenimento al fronte realizzato mediante n.°20 barre autoperforanti in acciaio tipo DYWI R51N di lunghezza pari a 14.0 m, cementate in foro con miscele cementizie, con lunghezza di sovrapposizione pari a 5.0 m; è prevista una variabilità del $\pm 20\%$ riferita all'incidenza del consolidamento (numero e lunghezza);
- Presostegno al contorno realizzato mediante 18 barre autoperforanti in acciaio di tipo DYWI R51N di lunghezza pari a 10.0 m, cementate in foro con miscele cementizie, con passo di installazione pari a 4.50 m e inclinazione di 10° ; è prevista una variabilità del $\pm 20\%$ riferita all'incidenza del consolidamento (numero e lunghezza);
- E' prevista, ai fini della sicurezza, l'applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 0.10 m su ogni singolo sfondo e con spessore pari a 0.15 m per ogni fine campo;
- Rivestimento di prima fase composto da uno strato con spessore pari a 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 180 con interasse di 1 m, al quale è associata una variabilità del $\pm 20\%$;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 13 m, diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo armato, con spessore pari a 80 cm;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore pari a 80 cm.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: sagomatura del fronte a forma concava, esecuzione, ai fini della sicurezza, dello strato di spritz-beton fibrorinforzato ed esecuzione del preconsolidamento del fronte secondo la geometria di progetto;
- Fase 2: Esecuzione del presostegno al contorno secondo la geometria di progetto;
- Fase 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 4: esecuzione dello scavo a piena sezione per una lunghezza massima del campo di scavo pari a 9.0 m e per singoli sfondi di lunghezza pari a 1.5 m, sagomando il fronte a forma concava;
- Fase 5: posa in opera del rivestimento di prima fase, contestualmente allo scavo, costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato. Le centine andranno collegate fra loro attraverso le apposite catene. La massima distanza del prerinvestimento dal fronte di scavo sarà pari a 1.5m.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 46 di 243

- Fase 6: scavo dell'arco rovescio, armatura e getto di arco rovescio e murette; la massima distanza del getto dell'arco rovescio dal fronte di scavo è pari a 3D (tale distanza potrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo);
- Fase 7: posa in opera dell'impermeabilizzazione, con posizionamento dei tubi microfessurati in PVC e i cordolini idroespansivi conformemente alle indicazioni di progetto;
- Fase 8: getto del rivestimento di calotta, eseguito ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 5D (tale distanza potrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo).

10.1.5 Sezione C2*

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Il campo di avanzamento massimo e pari a 9.0 m;
- Precontenimento al fronte realizzato mediante 40 barre autoperforanti in acciaio di tipo DYWI R51 di lunghezza pari 17.5 m, sovrapposizione minima pari a 8.5 m, cementate in foro con miscele cementizie: è prevista una variabilità del $\pm 20\%$ riferita all'incidenza del consolidamento (numero e lunghezza);
- Presostegno al contorno mediante 57 barre autoperforanti in acciaio di tipo DYWI R51 di lunghezza pari a 10.0 m, cementati in foro con miscele cementizie, con passo di installazione pari a 3 m e inclinazione di 10° : è prevista una variabilità del $\pm 20\%$ riferita all'incidenza del consolidamento (numero e lunghezza);
- applicazione di uno strato di spritz beton fibro-rinforzato al fronte di spessore 10 cm su ogni sfondo e di spessore 15 cm a fine campo;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 13 m, diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT;
- Prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e centine HEB 220 con passo 1 m, al quale è associata una variabilità del $\pm 20\%$;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette di spessore 90 cm in calcestruzzo armato gettate alla distanza massima di 1D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo in calotta in calcestruzzo armato dello spessore di 90 cm gettato ad una distanza massima dal fronte di scavo di 3D.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 47 di 243

Macrofasi costruttive

- Fase 1: sagomatura del fronte a forma concava. E' prevista, ai fini della sicurezza, esecuzione sul fronte di avanzamento di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato ed esecuzione del precontenimento al fronte secondo la geometria di progetto;
- Fase 2: esecuzione del presostegno del contorno secondo la geometria di progetto;
- Fase 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 4: esecuzione dello scavo a piena sezione per una lunghezza massima del campo di scavo pari a 9.0 m e per singoli sfondi di lunghezza pari a 1.5 m, sagomando il fronte a forma concava;
- Fase 5: posa in opera del rivestimento di prima fase, contestualmente allo scavo, costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato. Le centine dovranno essere collegate tra loro attraverso apposite catene. La massima distanza del prerinvestimento dal fronte è pari a 1.5 m;
- Fase 6: scavo dell'arco rovescio e posa in opera dell'impermeabilizzazione composta da due strati protettivi di tessuto non tessuto e da un telo di impermeabilizzazione in PVC; armatura e getto dell'arco rovescio e delle murette ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 1D (tale distanza dovrà comunque essere ridefinita in funzione del comportamento deformativo del cavo);
- Fase 7: posa in opera dell'impermeabilizzazione composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo di impermeabilizzazione in PVC;
- Fase 8: getto del rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 3D (tale distanza potrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo).

10.1.6 Sezione C1bis*

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Precontenimento al fronte realizzato mediante 23 colonne di jet grouting ϕ 1000 mm, L=11.50 m, di cui 0.50 m a vuoto, ogni 6.50 m di avanzamento;
- Preconsolidamento al contorno mediante 30 colonne di jet grouting ϕ 1000 mm, L = 11.50 m con perforazione a vuoto di 0.5 m, ogni 6.5 m di avanzamento;
- Presostegno al contorno mediante 19 tubi metallici ϕ 114.7 mm, sp = 10 mm, L = 11 m, cementati in foro ϕ 160 mm;
- Applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte con spessore pari a 15 cm per ogni fine campo;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 23 m, ogni 13 m di avanzamento, diametro esterno ϕ > 60 mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 48 di 243

- Rivestimento di prima fase composto da: 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 200 con interasse di 1 m, al quale è associata una variabilità del $\pm 20\%$;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio in calcestruzzo armato con spessore pari a 90 cm;
- Murette in calcestruzzo armato con spessore pari a 120 cm;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore variabile pari a 60-135 cm.

Microfasi costruttive

- Fase 1: sagomatura del fronte a forma concava, esecuzione, ai fini della sicurezza, sul fronte di avanzamento di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato ed esecuzione del preconsolidamento al fronte secondo la geometria di progetto;
- Fase 2: esecuzione del consolidamento e del presostegno del contorno secondo la geometria di progetto;
- Fase 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 4: esecuzione dello scavo a piena sezione per una lunghezza massima del campo di scavo pari a 6.5 m e per singoli sfondi di lunghezza pari a 1 m, sagomando il fronte a forma concava;
- Fase 5: posa in opera del rivestimento di prima fase, costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato;
- Fase 6: scavo dell'arco rovescio, armatura e getto dell'arco rovescio e delle murette ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 3D. Tale distanza potrà essere ridefinita in funzione del comportamento deformativo del cavo;
- Fase 7: posa in opera dell'impermeabilizzazione, con posizionamento dei tubi microfessurati in PVC e dei cordolini idroespansivi conformemente alle indicazioni di progetto;
- Fase 8: getto del rivestimento di calotta ad una distanza massima dal fronte di scavo pari a 3D. Tale distanza potrà essere ridefinita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo.

10.1.7 Sezione di allargio alla camera di manovra

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Precontenimento al contorno mediante n°. 12+13 14+17 bulloni radiali ad ancoraggio continuo costituiti da barre $\Phi 24$ mm, di lunghezza pari a 6,0 m, passo longitudinale di 1,00 m e trasversale di 2,00 m. È prevista una variabilità del $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni e al passo delle centine;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 49 di 243

- Prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e centine HEB 180 con passo 1.4 m; è prevista una variabilità di $\pm 20\%$ del passo centine;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 10 m, diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo armato con spessore variabile 70÷120 cm gettate alla distanza massima di 3D dal fronte di scavo;
- Rivestimento definitivo di calotta in calcestruzzo armato con spessore variabile 60÷110 cm gettato ad una distanza variabile dal fronte di scavo in funzione del comportamento deformativo del cavo.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi aventi lunghezza massima di 1.40 m, a piena sezione, mediante sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: messa in opera dello spritz-beton fibrorinforzato al fine di ottenere gli spessori di progetto e delle centine metalliche secondo le geometrie di progetto;
- Fase 4: messa in opera dei bulloni radiali secondo le geometrie di progetto;
- Fase 5: scavo dell'arco rovescio e successivo getto (contemporaneo alle murette) ad una distanza massima dal fronte di scavo di 3D;
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione con posizionamento dei tubi microfessurati $\varnothing 160$ mm in PVC e dei cordolini idroespansivi secondo le indicazioni di progetto;
- Fase 7: getto del rivestimento definitivo di calotta e piedritti entro una distanza variabile in funzione del comportamento deformativo del cavo.

10.1.8 Sezione del Camerone di Manovra

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase

- Esecuzione dello scavo di avanzamento a sezione parzializzata per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m e sagomatura del fronte a forma concava. E' prevista, ai fini della sicurezza, l'applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di spessore 10 cm;
- Esecuzione di uno strato di pre-spritz con spessore 5cm e installazione dei chiodi radiali ad aderenza continua;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 50 di 243

- Eventuali 3+3 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, L = 30 m, sovrapposizione minima di 10 m, diametro esterno $\phi > 60$ mm, spessore 5 mm, rivestiti con calza in TNT.
- Prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN 200 con passo di 1 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC.

Rivestimento definitivo

- Arco rovescio in calcestruzzo armato di spessore 120 cm;
- Calotta e murette in calcestruzzo armato di spessore 110 cm.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo di calotta a sezione parzializzata per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0m, compreso il disaggio, e mediante sagomatura del fronte a forma cava. Successiva esecuzione, ai fini della sicurezza, sul fronte di avanzamento di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 10cm;
- Fase 3: esecuzione, ai fini della sicurezza, di uno strato di pre-spritz con spessore 5cm e installazione dei chiodi radiali ad aderenza continua sulla sezione di calotta calotta;
- Fase 4: posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 30 cm. Le centine saranno collegate tra loro mediante le apposite catene. La massima distanza del prerivestimento dal fronte sarà pari a 1.5 m;
- Fase 5: esecuzione dello scavo di ribasso a sezione parzializzata per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m e sagomatura del fronte a forma concava. Applicazione di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al fronte di spessore 10 cm;
- Fase 6: esecuzione di uno strato di pre-spritz con spessore 5cm e installazione dei chiodi radiali ad aderenza continua sulla sezione ribassata;
- Fase 7: posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di spessore 30 cm. Le centine saranno collegate tra loro mediante le apposite catene. La massima distanza del prerivestimento dal fronte sarà pari a 1.5 m;
- Fase 8: esecuzione dello scavo dell'arco rovescio, con successiva posa in opera dell'armatura e del getto di arco rovescio e murette con la formazione della tasca per l'alloggiamento della tubazione di drenaggio;
- Fase 9: posa in opera dell'impermeabilizzazione e posizionamento dei tubi microfessurati in PVC e dei cordolini idroespansivi secondo le indicazioni di progetto;
- Fase 10: armatura e getto del rivestimento di calotta e piedritti;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 51 di 243

10.1.9 Sezione della galleria tecnologica (GN05.J)

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase:

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 m di spritz – beton fibrorinforzato, centine n.2 IPN 180 passo longitudinale pari a 1.20 m e n.6+5 bulloni radiali Swellex Pm16 di lunghezza pari a 6.0 m, passo longitudinale pari a 2.0 m e trasversale di 2.0 m. È prevista una variabilità di $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 10.00m.

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo armato con spessore di 0.70 m;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore 0.70 m.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: esecuzione dello scavo di calotta a piena sezione per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 2.4 m, compreso il disaggio;
- Fase 2: realizzazione, ai fini della sicurezza, del primo strato di spritz di regolarizzazione di spessore pari a 5 cm sullo sfondo appena scavato e disgiunto;
- Fase 3: perforazione dei bulloni radiali in modo tale che la distanza massima tra l'ultima raggiera di bulloni e il fronte di scavo non risulti superiore a 3 m. Messa in opera dei bulloni radiali. Posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato dello spessore totale di progetto pari a 25 cm. Le centine saranno collegate tra loro mediante le apposite catene.
- Fase 4: esecuzione drenaggi in avanzamento. Perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm. Inserimento del tubo di drenaggio con calza di TNT cieco per i primi 10 m e microfessurato per la restante tratta.
- Fase 5: esecuzione dello scavo dell'arco rovescio, con successiva posa in opera dell'armatura e del getto di arco rovescio e murette con la formazione della tasca per l'alloggiamento della tubazione di drenaggio; il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 3D dal fronte di scavo. Tale distanza potrà comunque essere ridefinita in funzione del comportamento deformativo del cavo.
- Fase 6: posa in opera dell'impermeabilizzazione, composta da uno strato protettivo di tessuto non tessuto e da un telo impermeabilizzante di PVC;
- Fase 10: armatura e getto del rivestimento di calotta e piedritti, eseguito in funzione del comportamento deformativo del cavo.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 52 di 243

10.1.10 Sezione della galleria di innesto con le Gallerie di Linea (GN05.C)

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase:

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.30 m di spritz – beton fibrorinforzato, centine n.1 HEB 180 passo longitudinale pari a 1.00 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio in calcestruzzo armato con spessore di 1,00 m;
- Murette in calcestruzzo armato con spessore di 1,40 m;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore 0.90 m.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: scavo dei due innesti della galleria di linea binario pari e binario dispari come da elaborati di progetto;
- Fase 2: scavo a piena sezione della galleria di collegamento per sfondi massimi di 1.0 m;
- Fase 3: esecuzione, ai fini della sicurezza, del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp. 5 cm;
- Fase 4: consolidamento radiale (tratto di innesto) al contorno con raggiere alternate di bulloni tipo swellex Pm24, L=6 m, passo longitudinale 1.0 m, passo trasversale 1.20 m (con variabilità $\pm 20\%$);
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con centine metalliche 1HEB 180 passo 1 m e spritz-beton 25 cm (spessore totale 30 cm);
- Fase 6: armatura e getto del rivestimento di calotta e piedritti, eseguito in funzione del comportamento deformativo del cavo.

10.1.11 Sezione del by-pass di collegamento tra Galleria Tecnologica e Gallerie di Linea (GN05.M)

Per le tratte di applicazione si rimanda al Profilo Geotecnico (Rif. [4]). La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

Interventi di prima fase:

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 m di spritz – beton fibrorinforzato, e centine n.2 IPN 180 passo longitudinale pari a 1.00 m;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 53 di 243

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio in calcestruzzo armato con spessore di 0.5 m;
- Murette in calcestruzzo armato con spessore di 0.65 m;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore 0.50 m.

Macrofasi costruttive

- Fase 1: installazione ancoraggi di cucitura e travi di fissaggio nelle due gallerie di linea in corrispondenza dell'innesto;
- Fase2: demolizione del priverestimento della galleria (binario pari) e dei conci (binario dispari) in corrispondenza dei portali del cunicolo;
- Fase 3: scavo a piena sezione mediante mezzi meccanici e/o esplosivi con sfondi di profondità massima 1.0 m ed esecuzione, ai fini della sicurezza, di spritz-beton fibrorinforzato sul contorno (5 cm);
- Fase 4: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con centine metalliche 2IPN 180 passo 1 m e spritz-beton 20 cm (spessore totale 25 cm);
- Fase 6: armatura e getto del rivestimento di calotta e piedritti.

10.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

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

Rivestimento provvisorio

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 54 di 243

Classe di assorbimento energetica minima	E700
--	------

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

Bulloni Swellex Mn16	
Tipo	Mn16
Carico a rottura	150 kN
Carico di snervamento	100 kN
Diametro	36 mm
Spessore	2 mm
Diametro di perforazione	43-52 mm
Allungamento massimo	20%

Bulloni Swellex Pm16	
Tipo	Pm16
Carico a rottura	160 kN
Carico di snervamento	140 kN
Diametro	36 mm
Spessore	2 mm
Diametro di perforazione	43-52 mm

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	55 di 243

Bulloni aderenza continua	
Acciaio	B 450 C
Diametro	28 mm
Diametro di perforazione	>51 mm

Bulloni autopercoranti in acciaio R51N	
Tipo	R51N
Carico a rottura	630 kN
Carico a snervamento	800 kN
Diametro esterno	51 mm
Diametro interno	33 mm
Diametro di perforazione	>100 mm

Rivestimento definitivo

Calcestruzzo non armato	
Classe di resistenza	C25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_c = 6.225 \text{ Mpa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{0.85f_{ck}}{1.5} = 14.11 \text{ Mpa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4
Classe di contenuto in cloruri	CL 0.2
Diametro massimo aggregato	32 mm

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 56 di 243

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

10.3 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 (§8) e nel rispetto della normativa vigente (Rif. [1] e [2]).

10.3.1 Criteri di verifica

Al fine di dimensionare i rivestimenti di prima fase e i rivestimenti definitivi delle sezioni tipologiche di scavo della Finestra di Chiusa, sono state condotte 6 analisi numeriche bidimensionali una per ogni sezione tipo prevista. Le sezioni di analisi sono state scelte nella condizione geotecnica più critica interessata dall'opera, secondo i calcoli effettuati mediante le curve caratteristiche del fronte e della galleria, in modo da ottenere le massime sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali come illustrato nel §9.2.1. Pertanto, si ritiene che le condizioni di calcolo analizzate siano rappresentative e valide per ogni condizione di applicazione delle sezioni A0, A1, A2, B1* e C2* e quella della galleria tecnologica (GN05J). La sezione C1bis*, quella di innesto con le gallerie di linea (GN05C), quella del bypass di collegamento (GN05M), il camerone di manovra e la relativa sezione di allargo, essendo opere puntuali, sono stati verificati nella loro condizione geotecnica di applicazione.

La seguente tabella (Tab. 15) riassume le principali informazioni delle sezioni tipologiche della galleria naturale e della camera di manovra considerate nelle analisi numeriche.

Sezione di calcolo	Sezione tipo adottata	Unità	Pk sez. analisi [km]	H [m]
1	A0	BSSa	1+784.11	570.0
2	A1	BSSa	1+784.11	570.0

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 57 di 243

3	A2	BSSa	1+784.11	570.0
4	B1*	BSSb	0+111.92	50.0
5	B1*	BSSa	1+330.16	420.0
6	C2*	BSSa	1+330.16	420.0
6	C1bis*	BSSa	0+037	14
7	Camerone	BSSa	1+784.11	570.0
8	GN05.C –GN05.M (Innesto) – (By-Pass)	BSSa	-	585
9	GN05.J – (Galleria tecnologica)	BSSa	-	575

Tab. 15 - Principali caratteristiche delle sezioni di calcolo analizzate

I tassi di rilascio da utilizzare nelle analisi numeriche per ciascuna fase di calcolo sono stati ottenuti dalle curve caratteristiche in presenza di sostegni riportate brevemente nel seguito. Per gli output completi si rimanda agli allegati numerici.

Stabilità del fronte e del cavo

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

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

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

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

con:

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

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

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 58 di 243

dove:

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

In particolare, si assume $\tau_{bk} = 250$ kPa, $A_t = 0.00107$ m² e $f_{tk} = 590$ MPa.

Gli interventi di preconsolidamento al fronte e al contorno con jet-grouting sono tenuti in conto attraverso la stima di un incremento di coesione e modulo elastico del terreno al quale vengono applicati. Si attribuisce all'angolo di attrito del mezzo migliorato il valore del terreno naturale, e, definito il valore di resistenza a compressione della miscela di jet-grouting, è possibile ricavare la coesione equivalente determinando l'intercetta della retta tangente al circolo di Mohr corrispondente allo stato tensionale a rottura del provino.

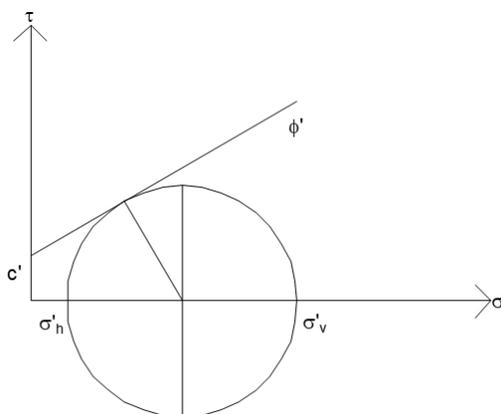


Fig. 9 – Determinazione della coesione equivalente attraverso il criterio di rottura di Mohr-Coulomb

Il modulo elastico della miscela è assunto cautelativamente pari a 2 GPa.

L'attribuzione dei parametri migliorati avviene a mezzo di un'omogeneizzazione dei parametri di coesione e modulo elastico del terreno in situ con quelli della miscela di jet-grouting così determinati.

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.

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 59 di 243

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

Interazione opera – terreno

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche alle differenze finite (FDM: *finite difference method*) e agli elementi finiti (FEM: *finite element method*), rispettivamente utilizzando i codici di calcolo Flac2D (Versione 8.0) sviluppato da Itasca e Plaxis2D (Versione 22) sviluppato da Bentley.

Tale codice permette di analizzare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi, in campo bidimensionale o assialsimmetrico, in equilibrio con le azioni esterne e gravitative applicate e compatibilmente con le leggi costitutive adottate per i materiali, sia in campo statico che dinamico.

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 e per gli ammassi rocciosi.

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

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno;
- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio per il rivestimento definitivo.

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

- Verifiche SLU interventi di stabilizzazione: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni (N, M, T);
- Verifiche SLU rivestimento di prima fase: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni (N, M, T);
- Verifiche SLU rivestimento di definitivo: $\gamma_E = 1.3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni (N, M, T);

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 60 di 243

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

Nelle analisi di interazione con modelli numerici bidimensionali l'effetto dei consolidamenti del fronte di scavo viene tenuto in conto in modo indiretto, nella definizione della percentuale di rilascio delle forze di scavo in corrispondenza del fronte.

Per gli interventi di precontenimento al contorno l'effetto dei consolidamenti viene tenuto in conto direttamente nei modelli numerici e simulato come un arco di materiale al contorno dello scavo avente proprietà meccaniche migliori rispetto a quelle iniziali del terreno. In particolare, nella regione consolidata è incrementato il valore della coesione e del modulo elastico, mantenendo immutato l'angolo di attrito del materiale naturale.

Gli interventi di contenimento radiale con bulloni ad aderenza continua (Swellex e barre cementate) sono implementati direttamente nei modelli numerici attraverso elementi *cable* in Flac, ed elementi *embedded beam row* in Plaxis, le cui geometrie (diametro e spessore del bullone cavo, lunghezza, interasse longitudinale e trasversale) è congruente con quanto previsto in progetto. Con riferimento alla configurazione di equilibrio ottenuta dall'analisi di interazione, sono state effettuate le verifiche strutturali di resistenza di questi elementi, da inquadrare come verifiche SLU di tipo STR per elementi strutturali soggetti a trazione (equazione 4.2.62 NTC08 Rif. [1]). L'azione (N) ottenuta dal calcolo, amplificata di 1.3, è confrontata con la resistenza a trazione e a sfilamento, valutate con i parametri caratteristici.

10.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

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

La seguente tabella (Tab. 16) riassume i parametri geotecnici adottati per i calcoli di dimensionamento, in funzione della sezione tipologica di scavo adottata.

Sezione di calcolo	Unità	Pk sez. analisi [km]	H [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	φ'_k [°]	E_k [MPa]
A0	BSS α	1+784.11	570.0	27	2734	38.24	19786
A1	BSS α	1+784.11	570.0	27	2340	37.04	17056
A2	BSS α	1+784.11	570.0	27	2340	37.04	17056
B1*	BSS β	0+111.92	50.0	22	88	33.30	671
B1*	BSS α	1+330.16	420.0	27	892	29.16	2197

APPALTATORE: webuild  	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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 61 di 243

C2*	BSSa	1+330.16	420.0	27	892	29.16	2197
C1bis*	d	0+037	14	20	0	35	50
Camerone	BSSa	1+784.11	570.0	27	2340	37.04	17056
Galleria di innesto (GN05C)	BSSa	-	575	27	2.349	36.98	17056
By-pass di collegamento (GN05M)	BSSa	-	585	27	2.367	36.85	17056
Galleria tecnologica (GN05J)	BSSa	-	585	27	2.367	36.85	17056

Tab. 16 – Parametri geotecnici di calcolo

10.3.3 Ipotesi di calcolo

Per ogni sezione tipo analizzata sono state eseguite in sequenza la determinazione della curva caratteristica secondo quanto descritto al §9.2.1 e l'analisi numerica relativa ad una sezione trasversale in condizioni di deformazione piana, adottando la reale geometria dello scavo e dello stato di sforzo. Il tasso di rilascio corrispondente alla convergenza valutata tramite la detta curva caratteristica della galleria permette di tenere conto in maniera semplificata, in un'analisi piana, del comportamento tridimensionale dello scavo dovuto al progressivo avanzamento del fronte di scavo.

La profondità della galleria imposta nel modello numerico, così come la geometria della mesh di calcolo sono stati definiti maggiori a 5 volte il diametro dello scavo, D, in modo da minimizzare gli effetti di bordo dovuti alla presenza delle condizioni di vincolo al contorno.

Nel caso di copertura rispetto all'asse dei centri, H, maggiore di 5 volte il diametro equivalente dello scavo, la profondità della galleria è posta pari a $H_{\text{numerico}} \geq 5 D$ al fine di limitare le dimensioni del modello numerico. Il peso dell'ammasso non considerato nel modello ($H - H_{\text{numerico}}$) è riprodotto nel modello di calcolo applicando un sovraccarico al bordo superiore del modello e assegnando lo stato tensionale della galleria corrispondente alla sua reale profondità.

Le caratteristiche degli elementi *liner* atti a simulare il rivestimento di prima fase sono state valutate attraverso le seguenti equazioni:

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

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 62 di 243

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni riportate in Allegato 1 è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16.

10.3.4 Sezione A0

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.1.

10.3.4.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A0 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A0	4.46	570.0	15.39	27	2187.2	32.2	19786

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

Tab. 17 – Sezione A0, Parametri per la verifica di stabilità del 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.

Sezione di analisi	u_F [mm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	Criterio 2.1	Criterio 2.2
A0	3.07	0.07	5.28	1.18	A	A

Tab. 18 – Sezione A0, Verifica di stabilità del fronte

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: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 63 di 243

10.3.4.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. In Fig. 10 sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del prerivestimento e del rivestimento definitivo.

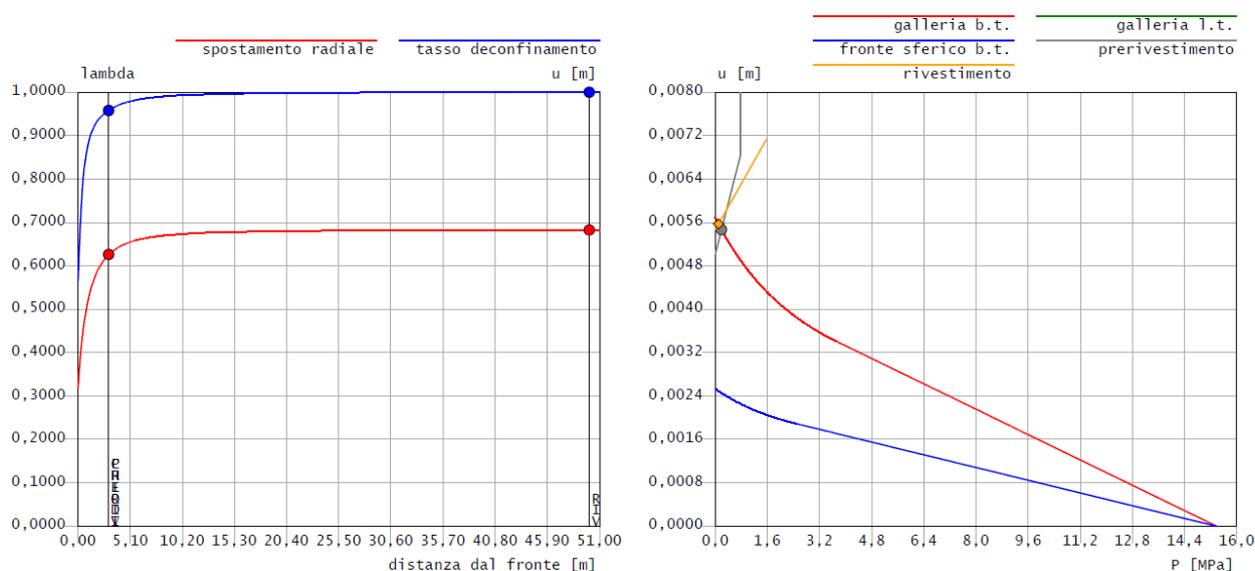


Fig. 10 – Curve caratteristiche della sezione tipo A0

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

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.565
Simulazione dello sfondo	1.4	0.958
Installazione del rivestimento di prima fase	3.0	1.000
Installazione del rivestimento definitivo	> 50	1.000

Tab. 19 – Sezione A0, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 20 e in Tab. 21.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 64 di 243

SEZIONE A0 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.25 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa

Tab. 20 – Sezione A0, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE A0 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.5 m
Spessore di arco rovescio	0.5 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 0.50m e 0.86m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 21 – Sezione A0, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 11 e Fig. 12).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria, in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 65 di 243

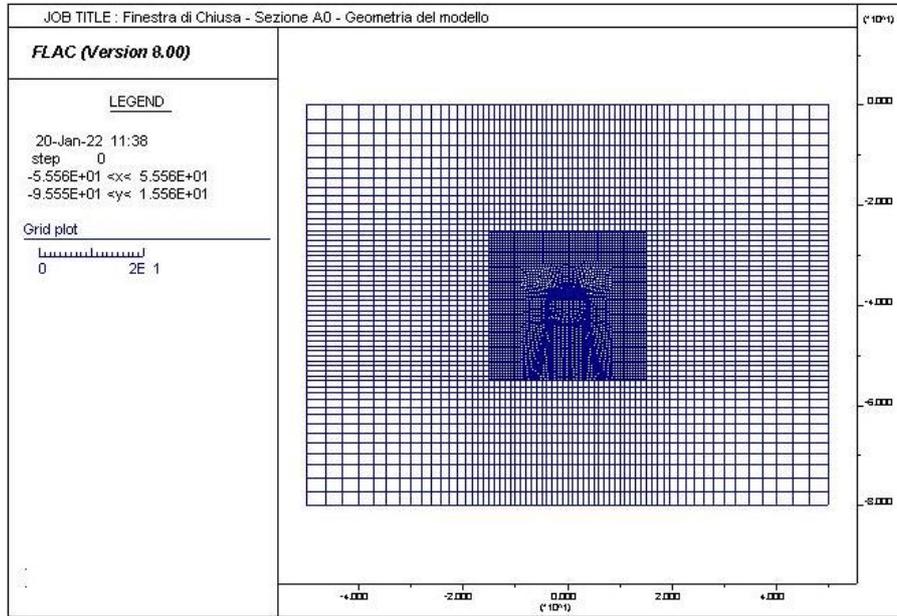


Fig. 11 – Sezione A0, Geometria del modello

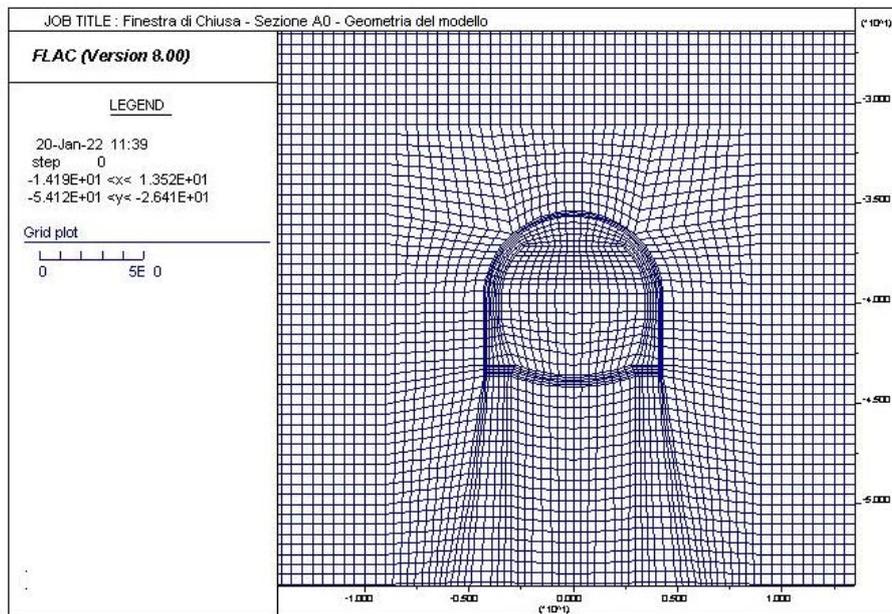


Fig. 12 – Sezione A0, Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 22.

APPALTATORE: webuild   Implenia	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. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 66 di 243

SEZIONE A0 - FASI DI CALCOLO	
Fase 1	Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 56.5% ($\lambda=0.565$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.4 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 95.8% ($\lambda=0.958$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e della bullonatura radiale e rilascio totale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)
Fase 6	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio e calotta) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)

Tab. 22 – Sezione A0, Fasi di calcolo

Le fasi di calcolo 5 e 6 descritte nella precedente tabella sono indipendenti tra loro ed entrambe partono dalla fase 4 allo scopo di massimizzare le sollecitazioni agenti sia sui rivestimenti di prima fase (fase 5) sia su quelli definitivi (fase 6). Per le sezioni tipo A in cui la distanza arco rovescio – fronte non è vincolata si è ritenuto opportuno applicare un rilascio totale delle forze al contorno di scavo sul rivestimento di prima fase. Gli output di calcolo dell'analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase (in Fig. 13, Fig. 14 e Fig. 15) e definitivi (Fig. 16, Fig. 17 e Fig. 18).

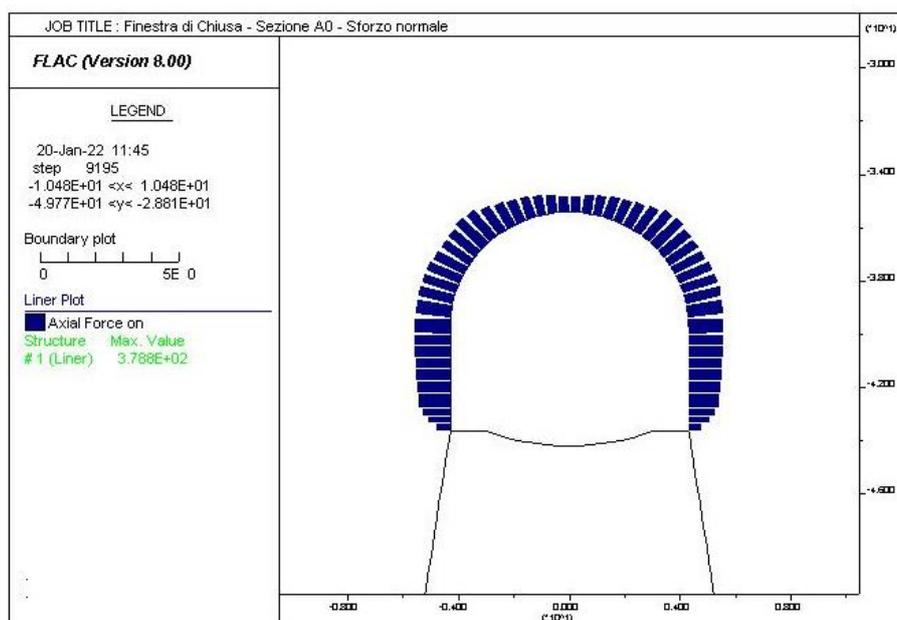


Fig. 13 – Sezione A0, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	67 di 243

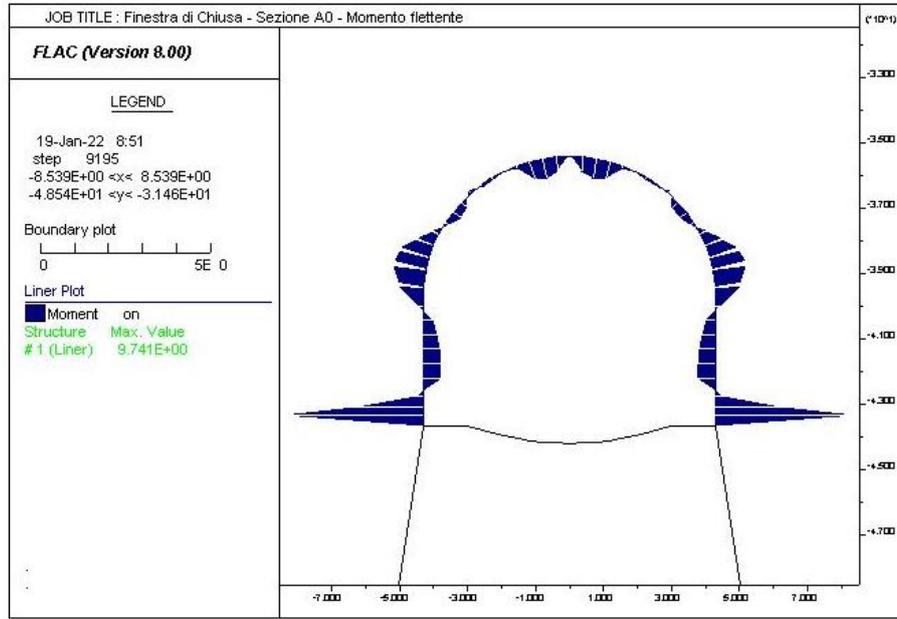


Fig. 14 – Sezione A0, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 5)

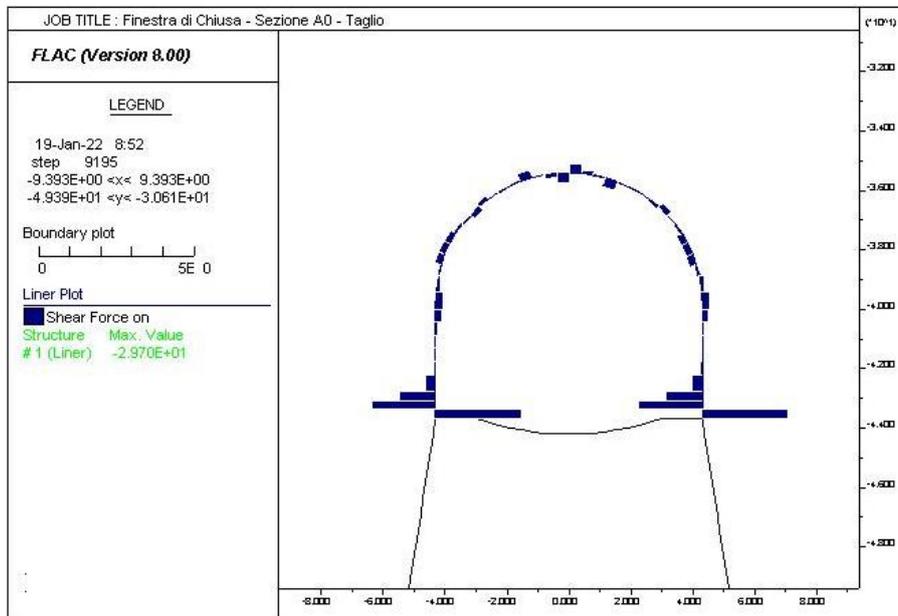


Fig. 15 – Sezione A0, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 68 di 243

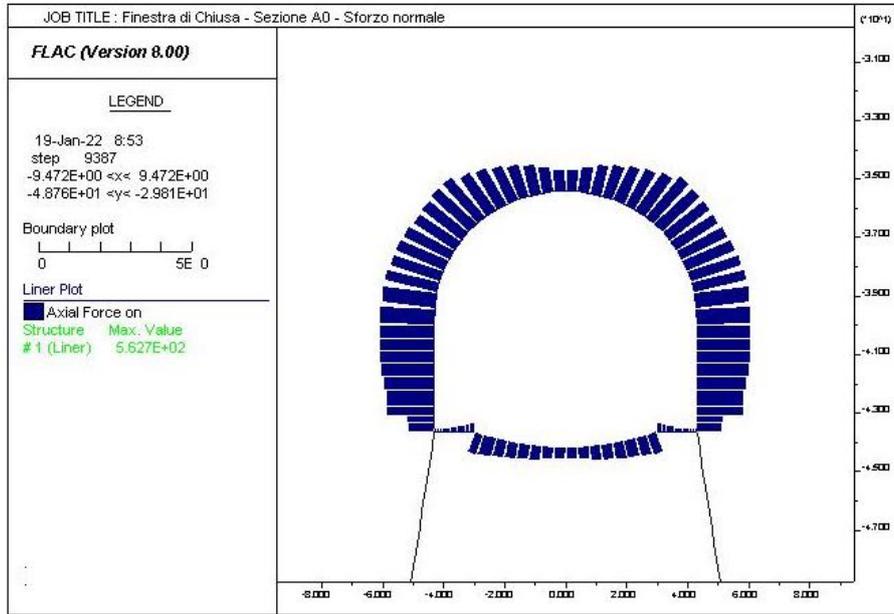


Fig. 16 – Sezione A0, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 6)

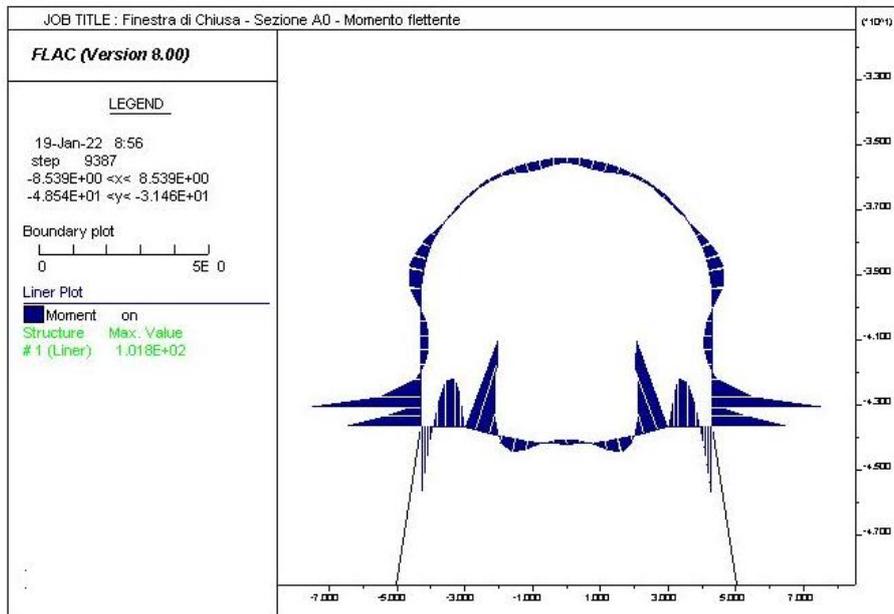


Fig. 17 – Sezione A0, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 6)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>69 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	69 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	69 di 243								

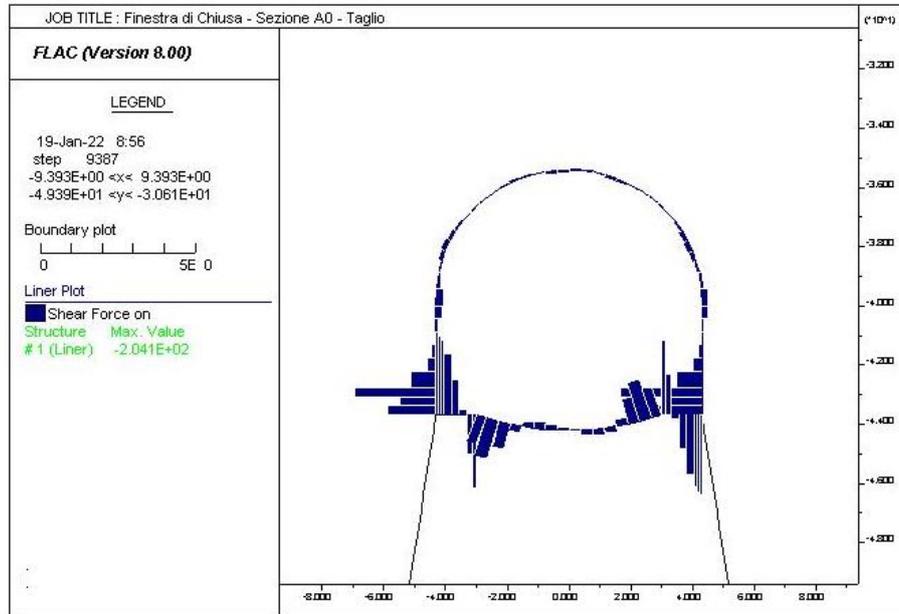


Fig. 18 – Sezione A0, Taglio del rivestimento definitivo (fase 6)

10.3.5 Sezione A1

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.2

10.3.5.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A1	4.56	570.0	15.39	27	1872	31.1	17056

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

Tab. 23 – Sezione A1, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 70 di 243

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 2.1	Criterio 2.2
A1	4.09	0.09	5.63	1.23	A	A

Tab. 24 – Sezione A1, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.5.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. In Fig. 19 sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del prerinvestimento e del rivestimento definitivo.

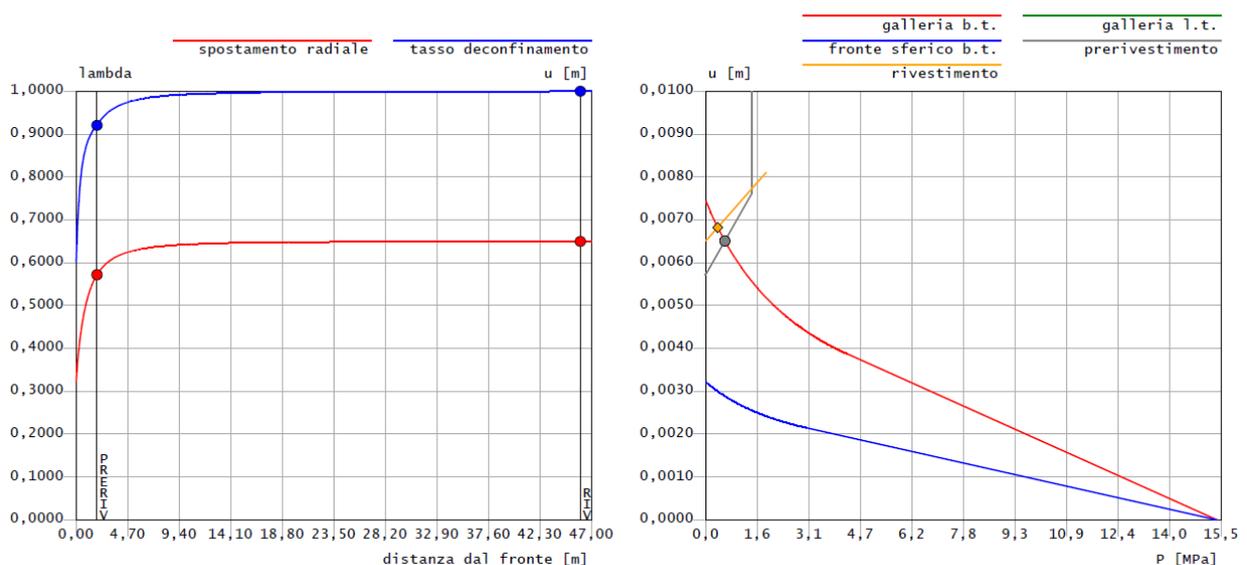


Fig. 19 – Curve caratteristiche della sezione tipo A1

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 71 di 243

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

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.600
Simulazione dello sfondo	1.4	0.920
Installazione del rivestimento di prima fase	1.9	0.999
Installazione del rivestimento definitivo	46.0	1.000

Tab. 25 – Sezione A1, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 26 e in Tab. 27.

SEZIONE A1 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.25 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN160/1.4 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	22.8 m ²
Momento resistente del profilato	117 cm ³
Momento di inerzia del profilato	934 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	34025 MPa

Tab. 26 – Sezione A1, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 72 di 243

SEZIONE A1 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.60 m
Spessore di arco rovescio	0.60 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 0.60m e 1.0m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 27 – Sezione A1, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 20 e Fig. 21).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria, in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 73 di 243

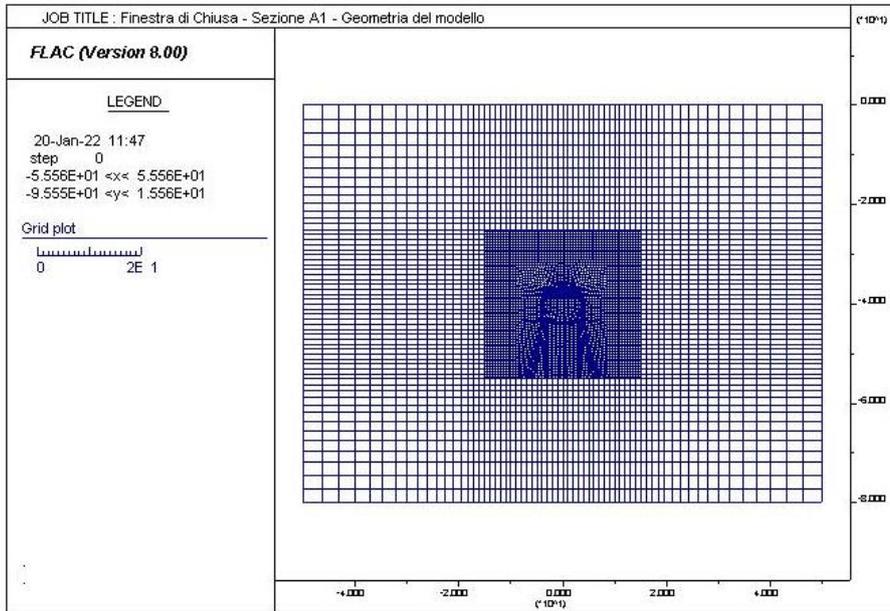


Fig. 20 – Sezione A1, Geometria del modello

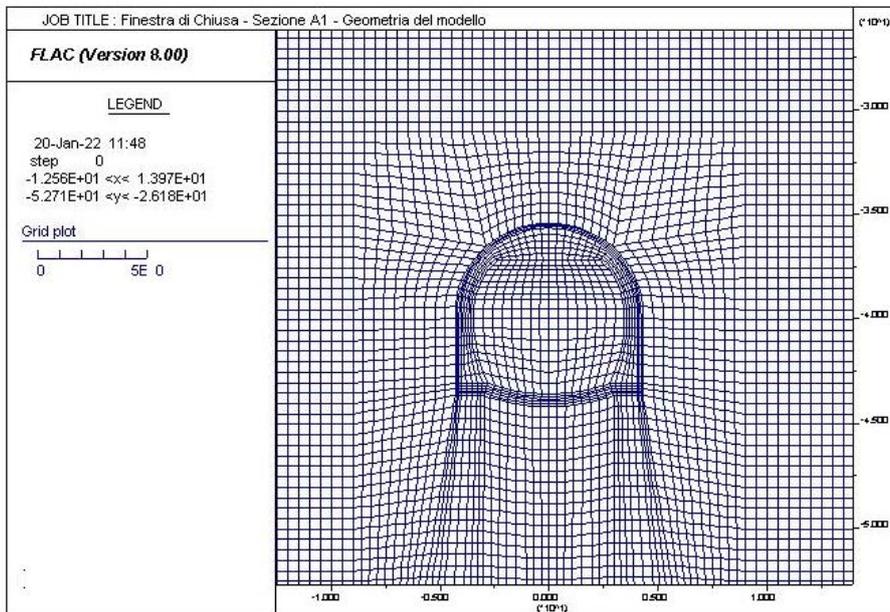


Fig. 21 – Sezione A1, Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 28.

APPALTATORE: webuild  	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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 74 di 243

SEZIONE A1 - FASI DI CALCOLO	
Fase 1	Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 60.0% ($\lambda=0.600$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.4 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 92.0% ($\lambda=0.920$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)
Fase 6	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio e calotta) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)

Tab. 28 – Sezione A1, Fasi di calcolo

Le fasi di calcolo 5 e 6 descritte nella precedente tabella sono indipendenti tra loro ed entrambe partono dalla fase 4 allo scopo di massimizzare le sollecitazioni agenti sia sui rivestimenti di prima fase (fase 5) sia su quelli definitivi (fase 6). Per le sezioni tipo A in cui la distanza arco rovescio – fronte non è vincolata si è ritenuto opportuno applicare un rilascio totale delle forze al contorno di scavo sul rivestimento di prima fase. Gli output di calcolo dell'analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase (Fig. 22, Fig. 23 e Fig. 24) e definitivi (Fig. 25 Fig. 16, Fig. 26 e Fig. 27).

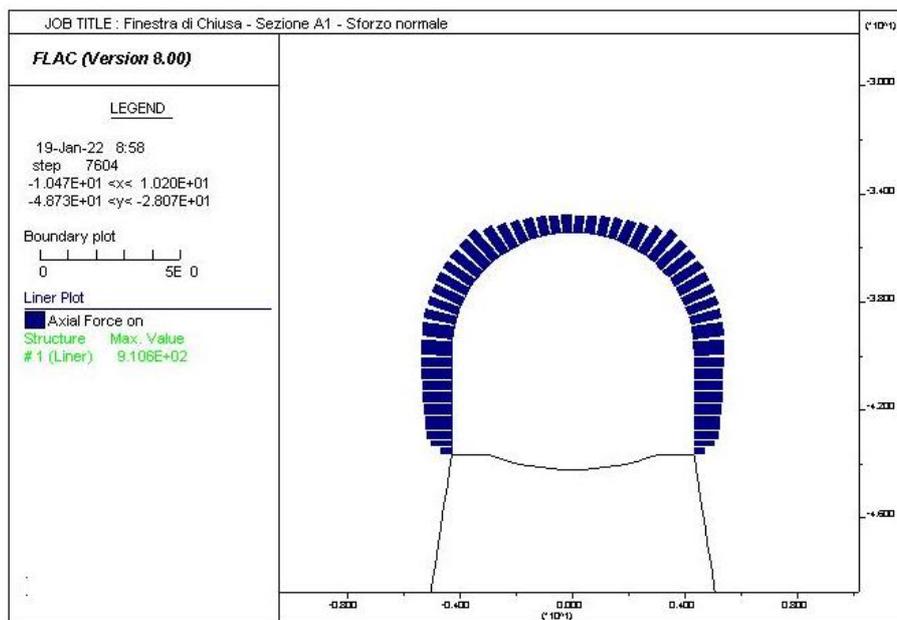


Fig. 22 – Sezione A1, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE: webuild  	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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 75 di 243

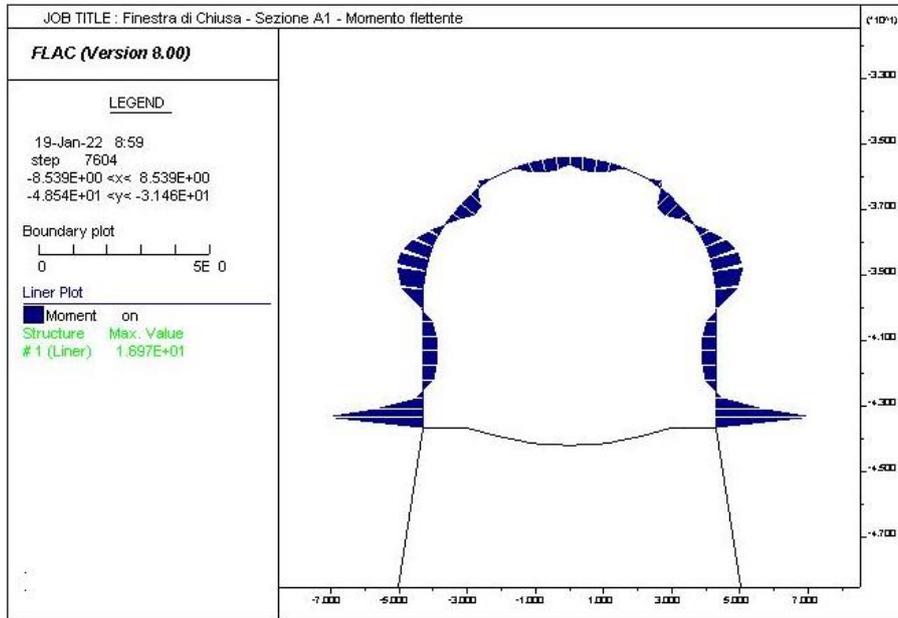


Fig. 23 – Sezione A1, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 5)

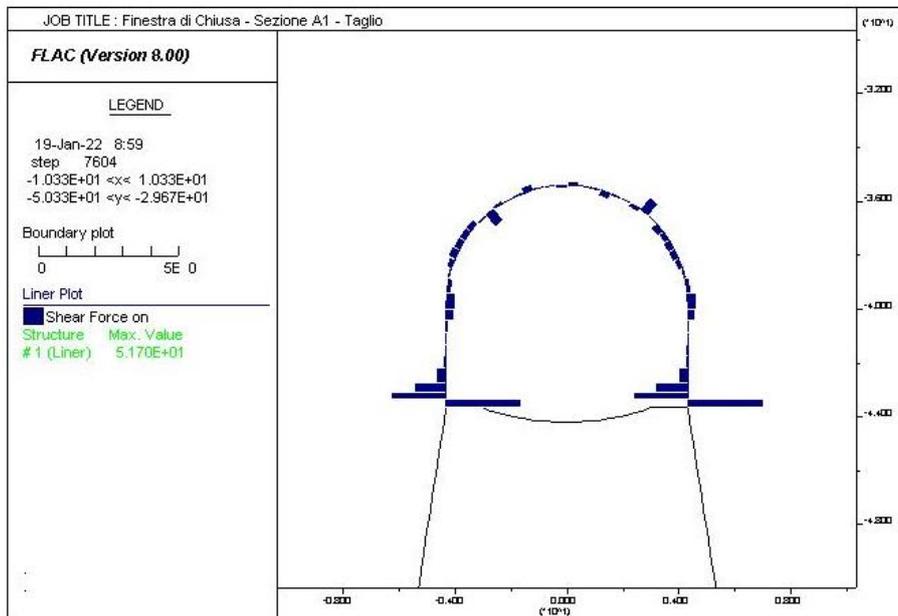


Fig. 24 – Sezione A1, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	76 di 243

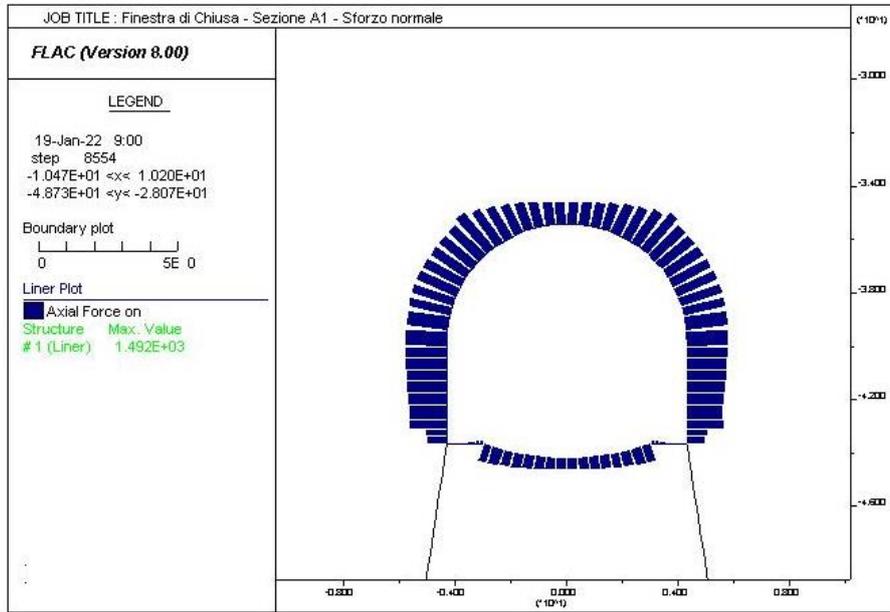


Fig. 25 – Sezione A1, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 6)

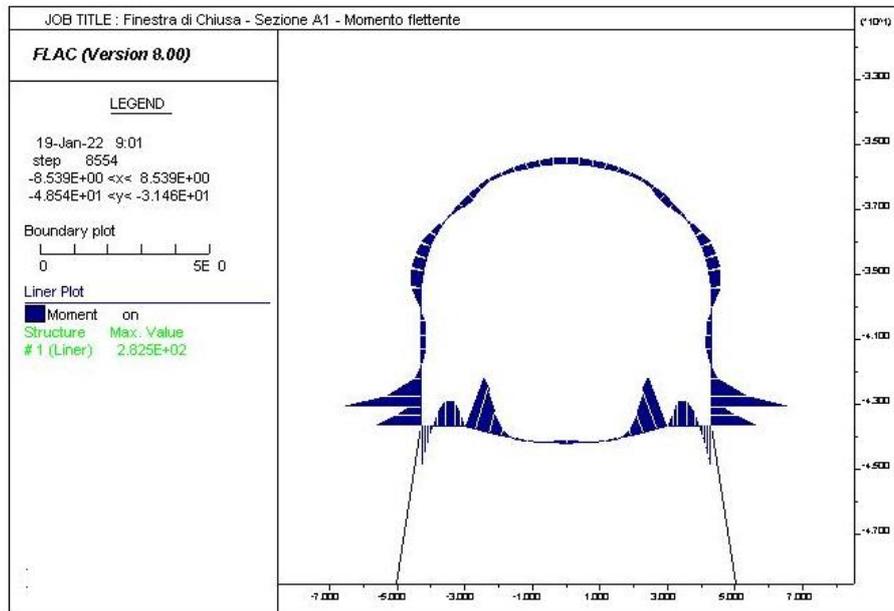


Fig. 26 – Sezione A1, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 6)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>77 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	77 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	77 di 243								

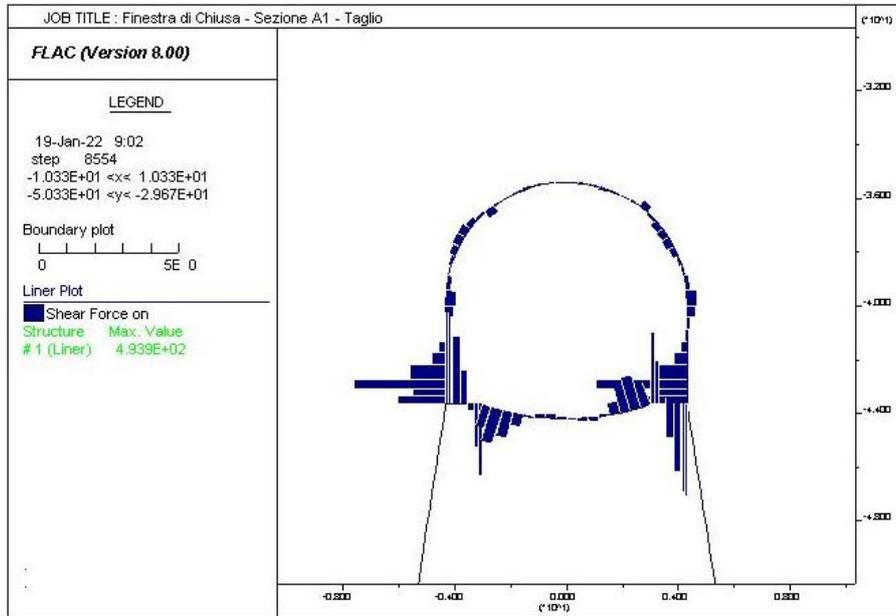


Fig. 27 – Sezione A1, Taglio del rivestimento definitivo (fase 6)

10.3.6 Sezione A2

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.3

10.3.6.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
A2	4.60	570.0	15.39	27	1872	31.1	17056

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

Tab. 29 – Sezione A2, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 78 di 243

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 2.1	Criterio 2.2
A2	4.13	0.09	5.68	1.23	A	A

Tab. 30 – Sezione A2, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.6.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. In Fig. 28 e in Fig. 29 sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del priverivestimento e del rivestimento definitivo.

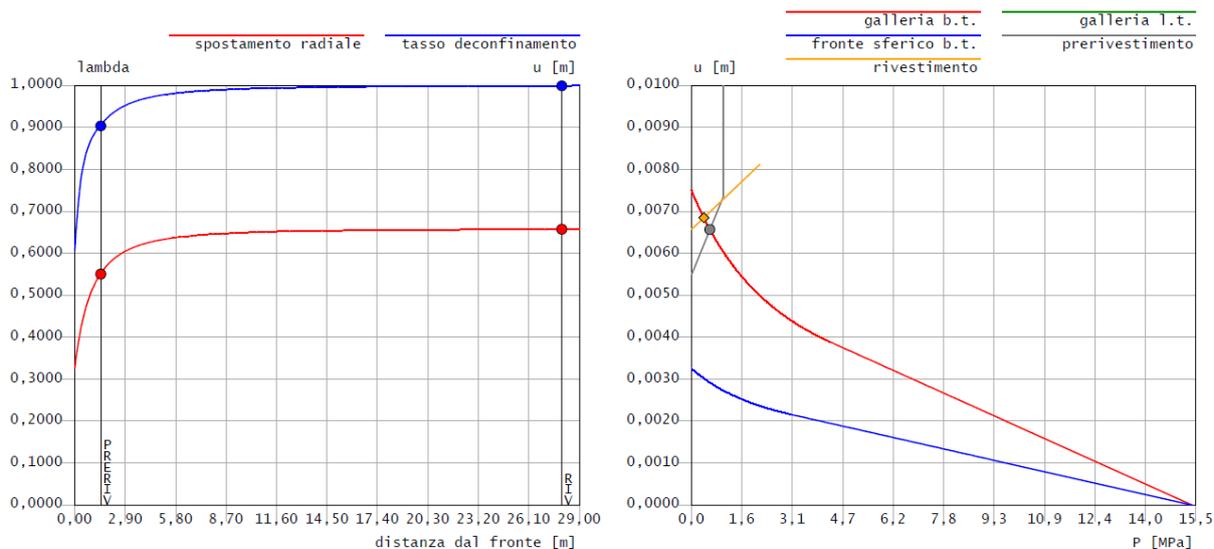


Fig. 28 – Curve caratteristiche della sezione tipo A2 senza bullonatura radiale

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 79 di 243

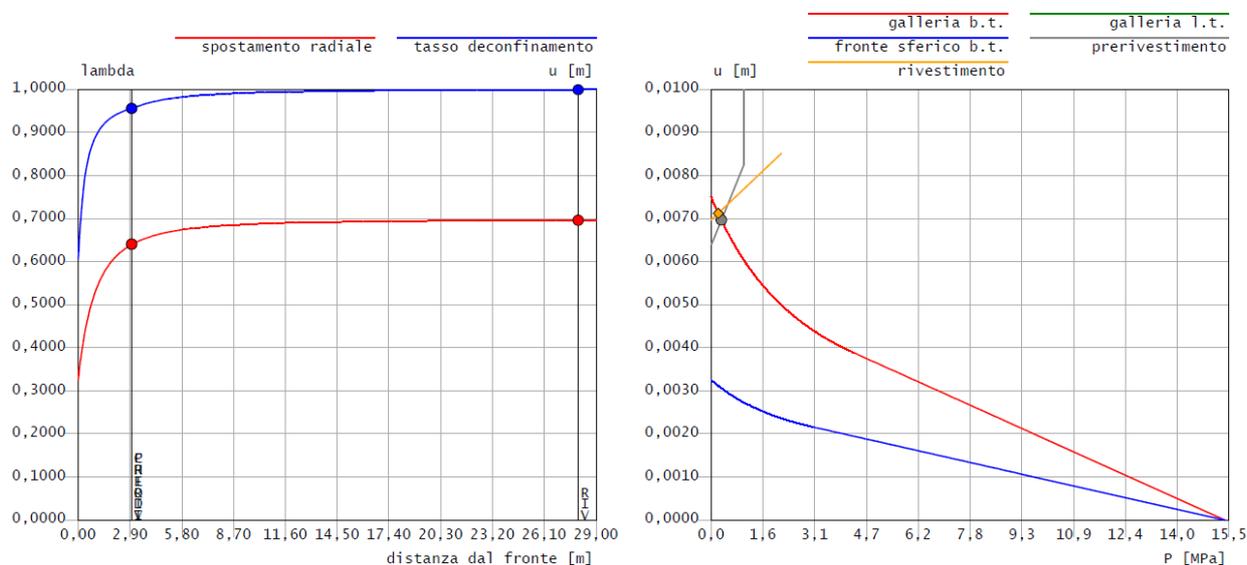


Fig. 29 – Curve caratteristiche della sezione tipo A2 con bullonatura radiale

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

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.605
Simulazione dello sfondo	1.0	0.903
Installazione del rivestimento di prima fase	1.5	0.955
Installazione della bullonatura radiale	3.6	0.998
Installazione del rivestimento definitivo	28	1.000

Tab. 31 – Sezione A2, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 32 e in Tab. 33.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 80 di 243

SEZIONE A2 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN180/1.2 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	27.9 m ²
Momento resistente del profilato	161 cm ³
Momento di inerzia del profilato	1444 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	34652 MPa

Tab. 32 – Sezione A2, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE A2 – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.60 m
Spessore di arco rovescio	0.70 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 0.60m e 0.88m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 Mpa

Tab. 33 – Sezione A2, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 30 e Fig. 31).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria, in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 81 di 243

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

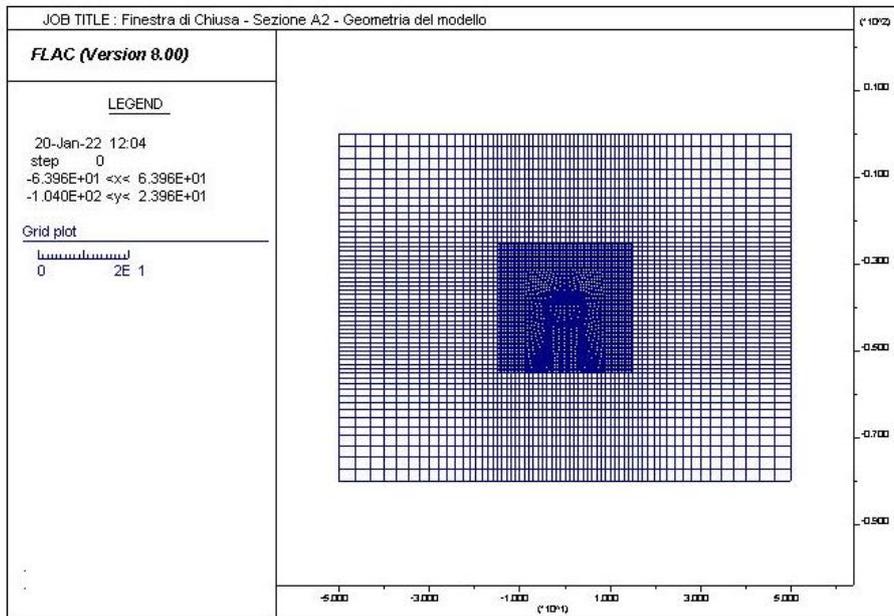


Fig. 30 – Sezione A2, Geometria del modello

APPALTATORE: webuild   Implenia	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												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>82 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	82 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	82 di 243								

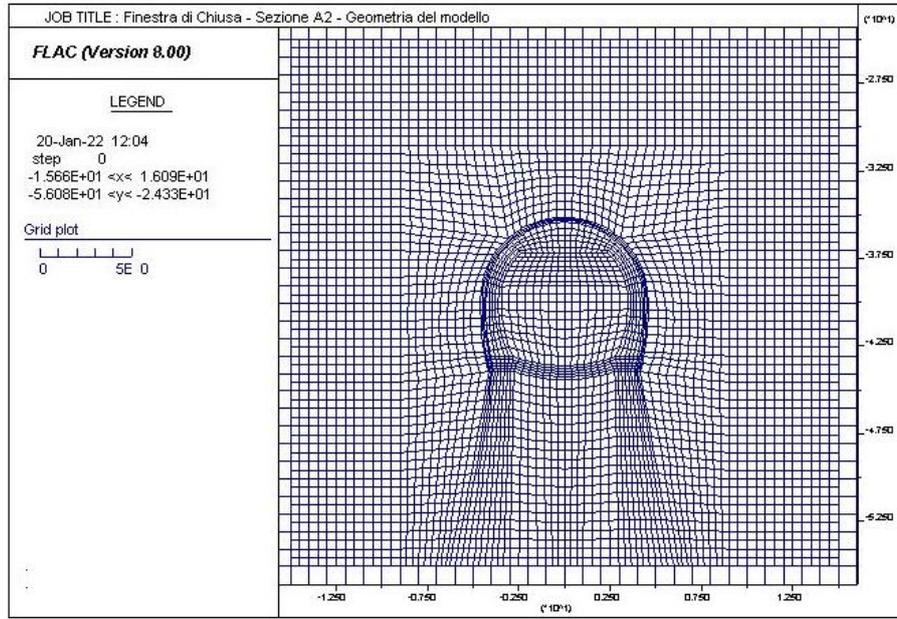


Fig. 31 – Sezione A2, Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 34.

SEZIONE A2 - FASI DI CALCOLO	
Fase 1	Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 60.5% ($\lambda=0.605$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.0 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 90.3% ($\lambda=0.903$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 95.5% ($\lambda=0.955$)
Fase 6	Attivazione della bullonatura radiale e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.8% ($\lambda=0.998$)
Fase 7	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio e calotta) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)

Tab. 34 – Sezione A2, Fasi di calcolo

Le fasi di calcolo 6 e 7 descritte nella precedente tabella sono indipendenti tra loro ed entrambe partono dalla fase 4 allo scopo di massimizzare le sollecitazioni agenti sia sui rivestimenti di prima fase (fase 5) sia su

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 83 di 243

quelli definitivi (fase 6). Per le sezioni tipo A in cui la distanza arco rovescio – fronte non è vincolata si è ritenuto opportuno applicare un rilascio totale delle forze al contorno di scavo su rivestimento di prima fase. Gli output di calcolo dell’analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase (Fig. 32, Fig. 33, Fig. 34, Fig. 35, Fig. 36 e Fig. 37) e definitivi (Fig. 38, Fig. 39 e Fig. 40).

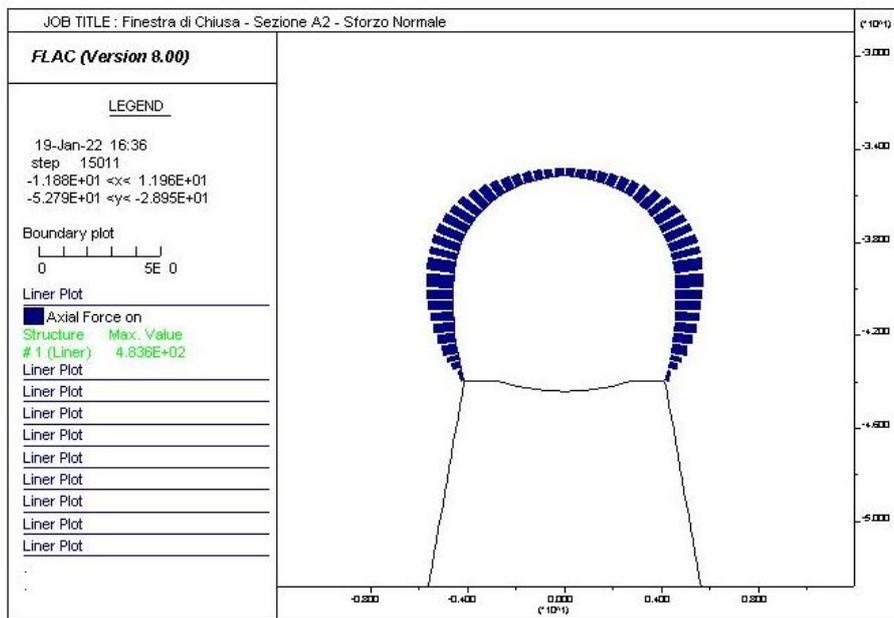


Fig. 32 – Sezione A2, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	84 di 243

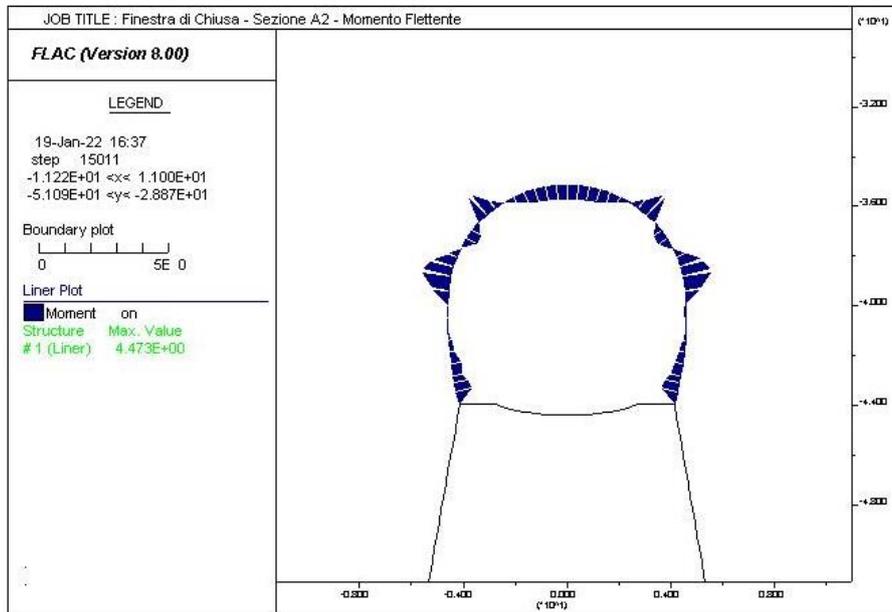


Fig. 33 – Sezione A2, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 5)

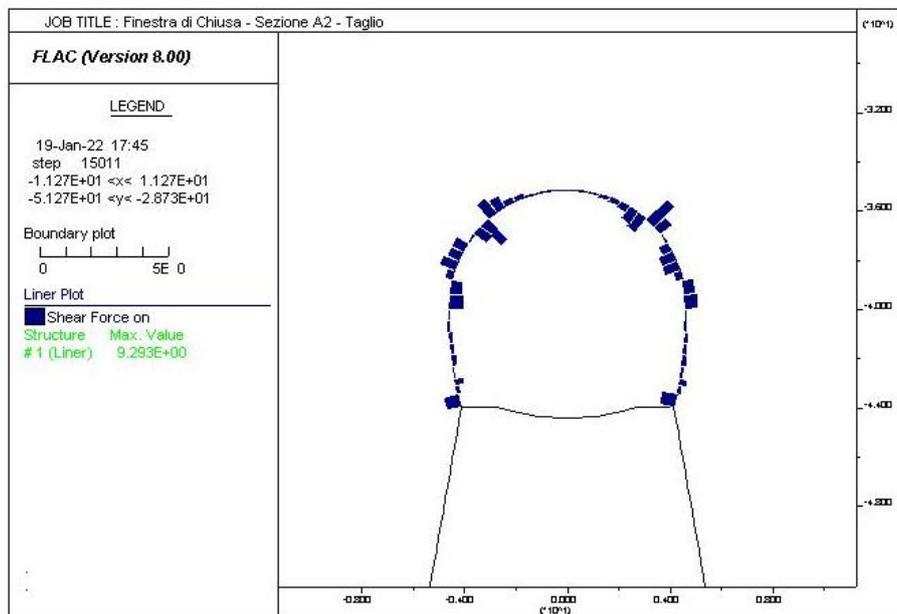


Fig. 34 – Sezione A2, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 85 di 243

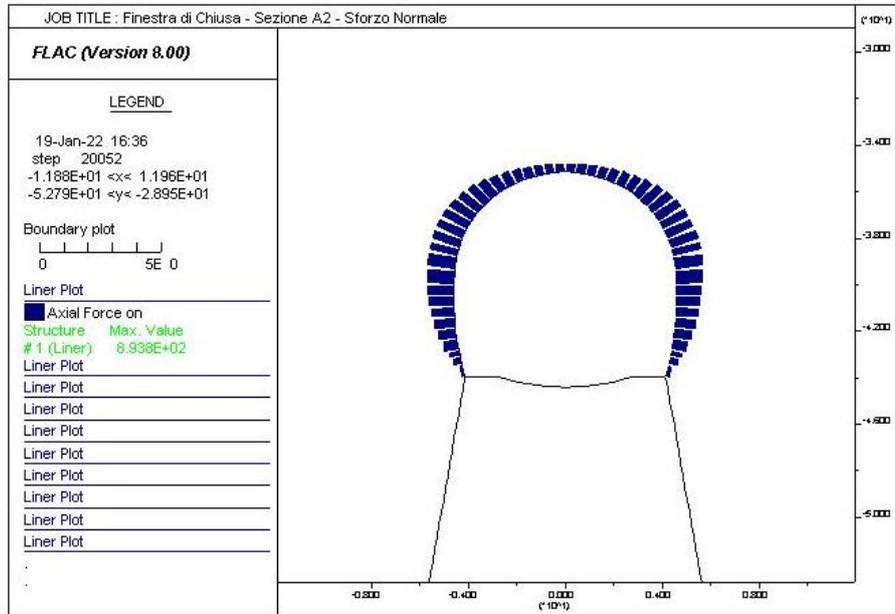


Fig. 35 – Sezione A2, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 6)

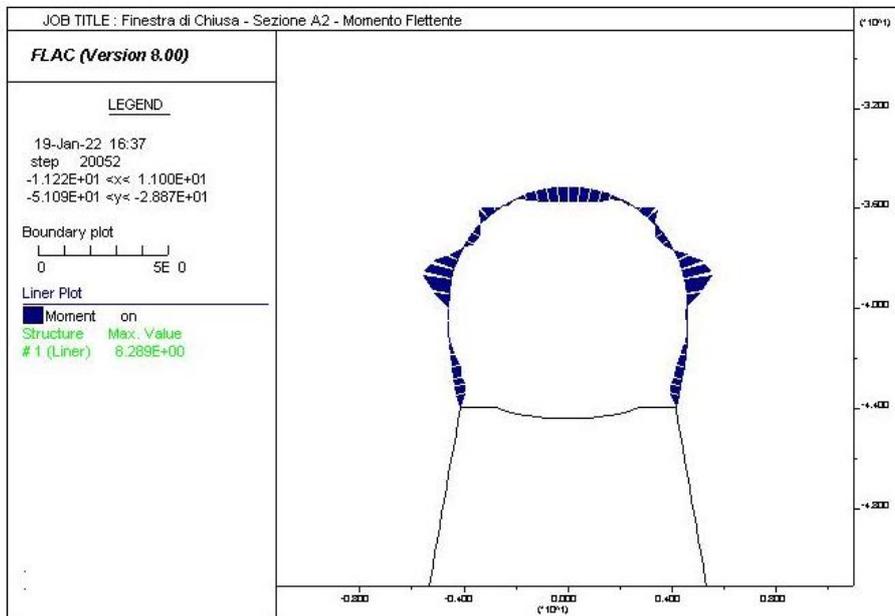


Fig. 36 – Sezione A2, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 6)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	86 di 243

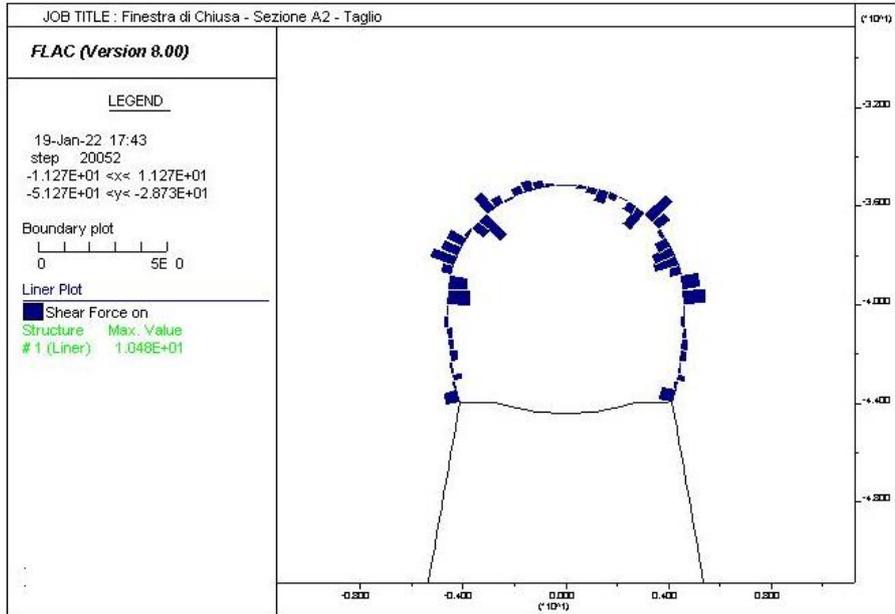


Fig. 37 – Sezione A2, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 6)

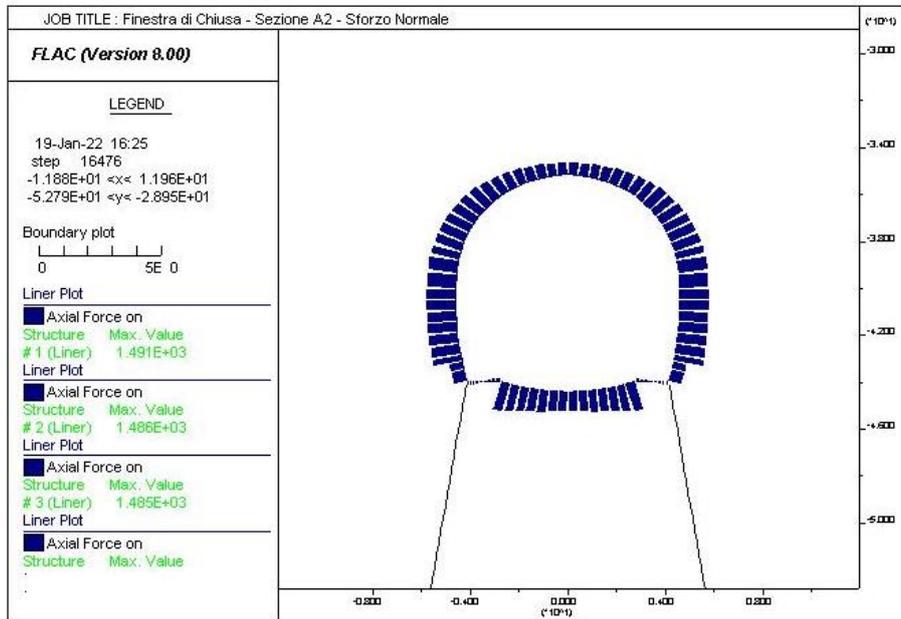


Fig. 38 – Sezione A2, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 7)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 87 di 243

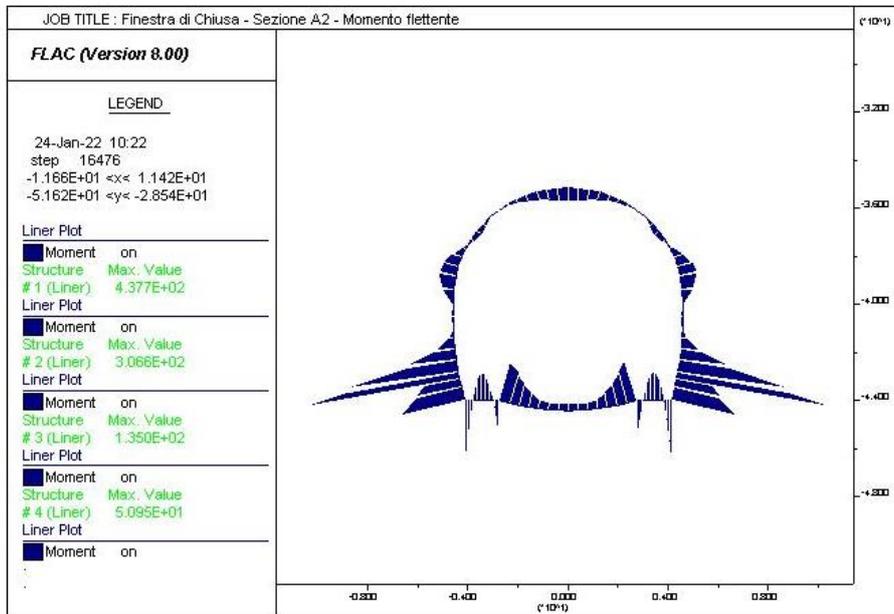


Fig. 39 – Sezione A2, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 7)

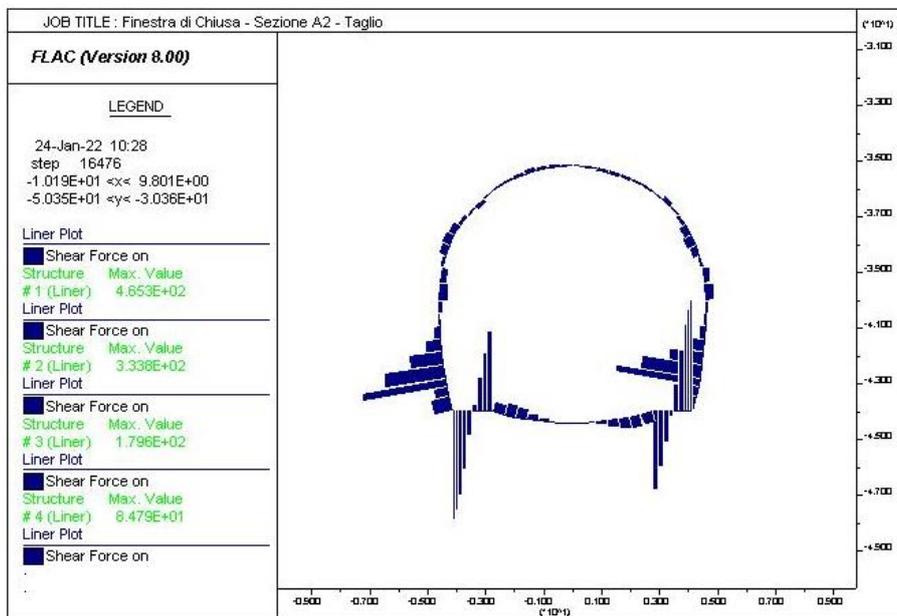


Fig. 40 – Sezione A2, Taglio del rivestimento definitivo (fase 7)

10.3.7 Sezione B1*

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.4.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 88 di 243

10.3.7.1. Stabilità del fronte

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1* per copertura di 50 metri nella zona di danneggiamento e 420 metri in zona di faglia, eseguite con il metodo delle linee caratteristiche:

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
B1*	4.80	50.0	1.10	22	70.4	27.72	671
B1*	4.80	420.0	11.34	27	713.6	24.05	2197

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

Tab. 35 – Sezione B1*, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

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

H [m]	n_{DYWI}	L_A [m]	ϕ_{perf} [m]	A_i [m ²]	$\sigma_{3,A}^{DYWI}$ [kPa]	$\sigma_{3,B}^{DYWI}$ [kPa]	σ_3^{DYWI} [kPa]	$\Delta c'_k$ [kPa]
50.0	20	5	0.1	3.62	175	109	109	89.9
420.0	20	5	0.1	3.62	175	109	109	84.0

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

Tab. 36 – Calcolo dell'incremento di coesione equivalente al fronte

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 89 di 243

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	H [m]	u_F [mm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	Criterio 2.1	Criterio 2.2
B1*	50	13.87	0.29	6.93	1.44	B	B
B1*	420	33.22	0.69	6.58	1.37	C	B

Tab. 37 – Sezione B1*, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.7.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. In Fig. 41 e in Fig. 42 sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del priverivestimento e del rivestimento definitivo.

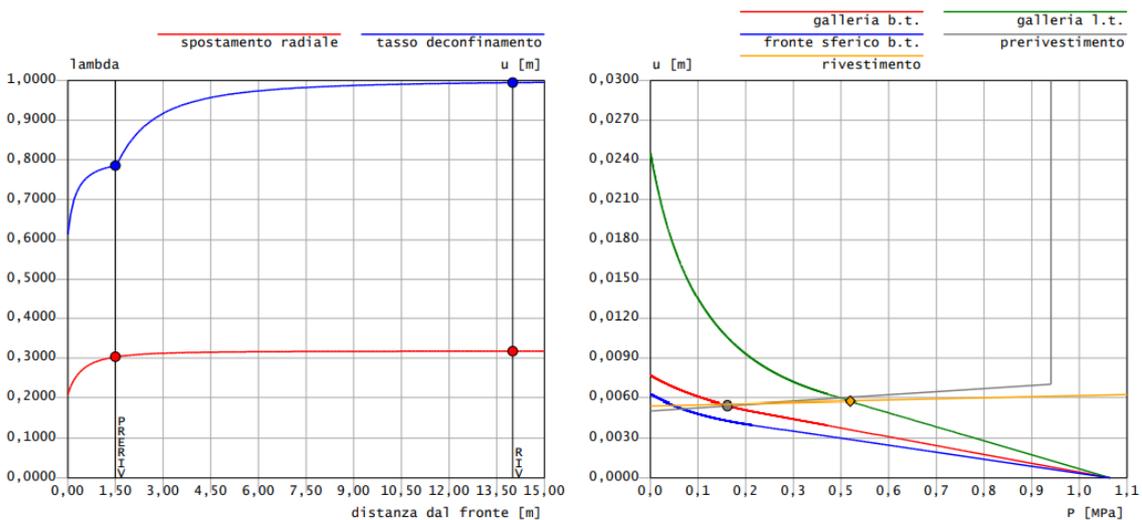


Fig. 41 – Curve caratteristiche della sezione tipo B1* - H=50 m

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 90 di 243

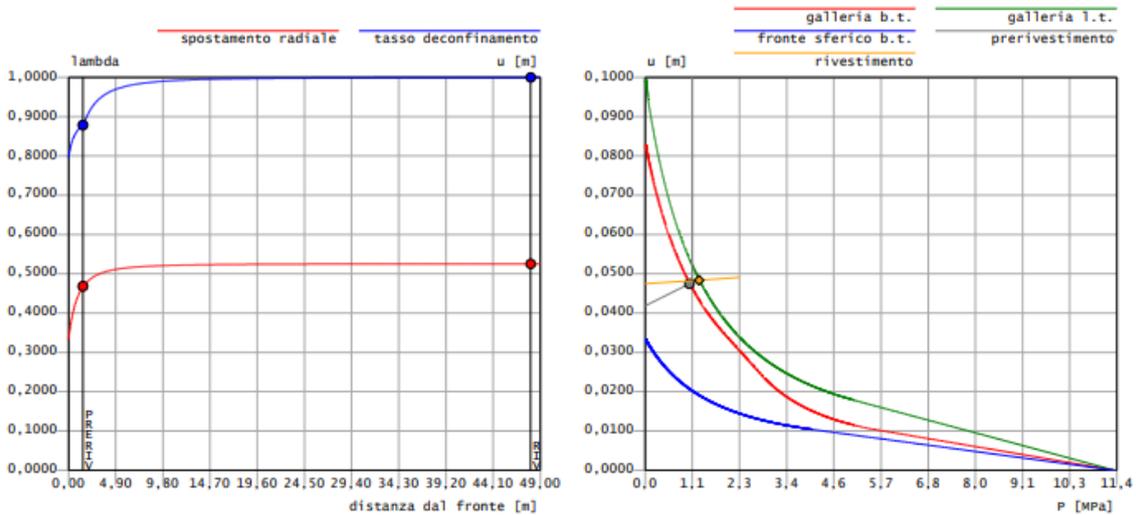


Fig. 42 – Curve caratteristiche della sezione tipo B1* - H=420 m

Le tabelle seguenti riassumono i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche e adottati nelle analisi numeriche per la sezione tipologica in esame nelle varie fasi di analisi:

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.635
Installazione del rivestimento di prima fase	1.5	0.785
Installazione del rivestimento definitivo – Arco Rovescio	14	0.994
Installazione del rivestimento definitivo – Calotta	48	1.000

Tab. 38 – Sezione B1*, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche – H=50 m

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.798
Installazione del rivestimento di prima fase	1.5	0.878

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 91 di 243

Avanzamento di 4 m	4	0.950
Installazione del rivestimento definitivo – Arco Rovescio	14	0.999
Installazione del rivestimento definitivo – Calotta	48	1.000

Tab. 39 – Sezione B1*, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche – H=420 m

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 40 e in Tab. 41.

SEZIONE B1* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 Mpa
Centine	2IPN180/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	27.9 m ²
Momento resistente del profilato	161 cm ³
Momento di inerzia del profilato	1444 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35295 MPa

Tab. 40 – Sezione B1*, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE B1* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.80 m
Spessore di arco rovescio	0.80 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 0.80m e 1.10m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 41 – Sezione B1*, Caratteristiche del rivestimento definitivo

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 92 di 243

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 43 e Fig. 44).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria, in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

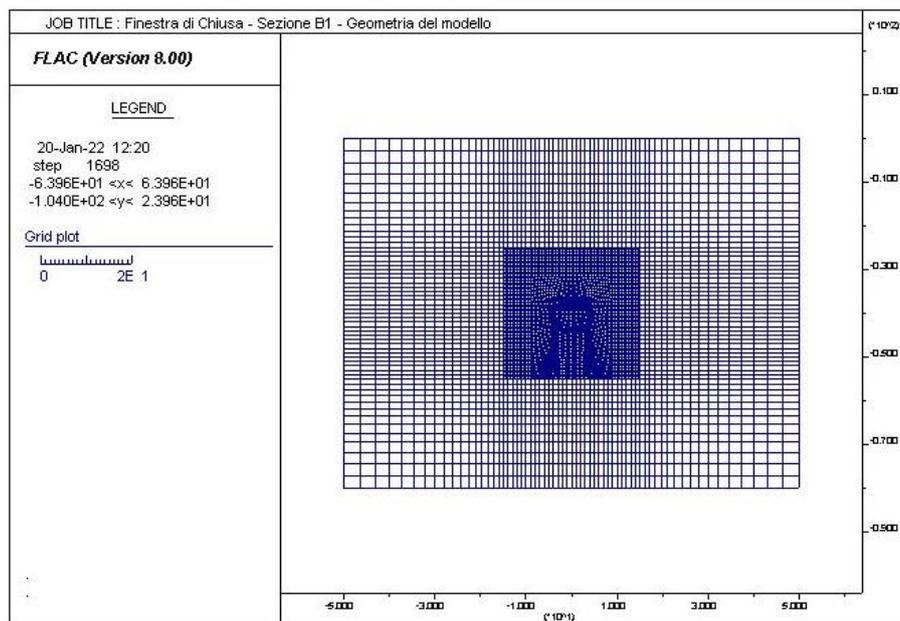


Fig. 43 – Sezione B1*, Geometria del modello

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>93 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	93 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	93 di 243								

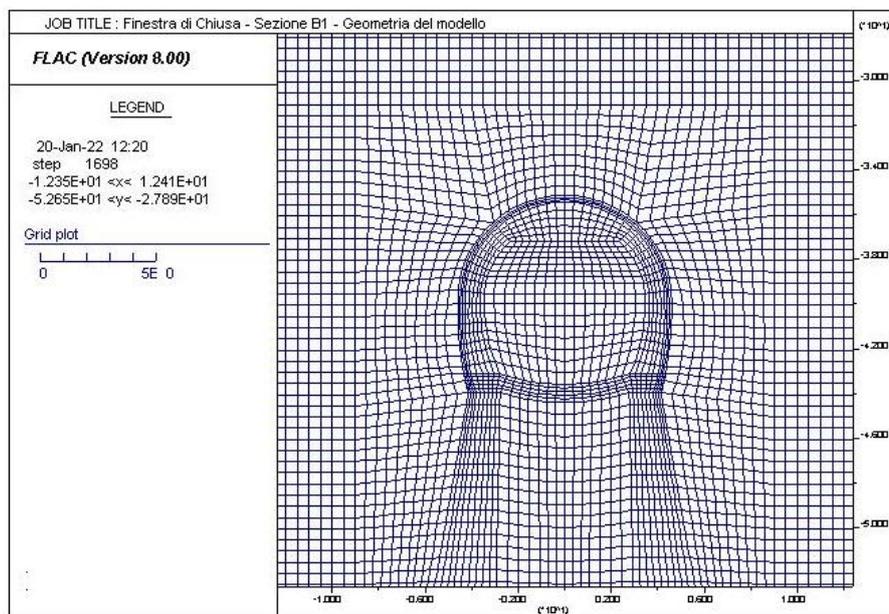


Fig. 44 – Sezione B1*, Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 42 e in Tab. 43.

FASI DI CALCOLO	
Fase 1	Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 63.5% ($\lambda=0.635$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.5 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 78.5% ($\lambda=0.785$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.4% ($\lambda=0.994$)
Fase 6	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)
Fase 7	Installazione del rivestimento definitivo (calotta). Eliminazione del rivestimento di prima fase
Fase 8	Innalzamento della falda di lungo termine (+20 m su chiave calotta)

Tab. 42 – Sezione B1*, Fasi di calcolo – H=50 m

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 94 di 243

FASI DI CALCOLO	
Fase 1	Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 79.8% ($\lambda=0.798$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.5 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 87.8% ($\lambda=0.878$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e simulazione dell'avanzamento pari a 4 m, assegnando un rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari a 95.0% ($\lambda=0.950$)
Fase 6	Simulazione dell'avanzamento del rivestimento di prima fase pari a 14 m e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.9% ($\lambda=0.999$)
Fase 7	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)
Fase 8	Installazione del rivestimento definitivo (calotta). Eliminazione del rivestimento di prima fase
Fase 9	Innalzamento della falda di lungo termine (+20 m su chiave calotta)

Tab. 43 – Sezione B1*, Fasi di calcolo – H=420 m

A lungo termine si è considerato un innalzamento della falda di 20 m su chiave calotta, considerato che la sezione oggetto di analisi attraversa una zona di faglia.

Gli output di calcolo dell'analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e installazione dell'arco rovescio (Fig. 45, Fig. 46 e Fig. 47 per copertura di 50 m e Fig. 54, Fig. 55 e Fig. 56 per la copertura di 420 m) e definitivi (da Fig. 48 a Fig. 53 per copertura di 50 m e da Fig. 57 a Fig. 62 per copertura di 420 m).

APPALTATORE: webuild  	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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 95 di 243

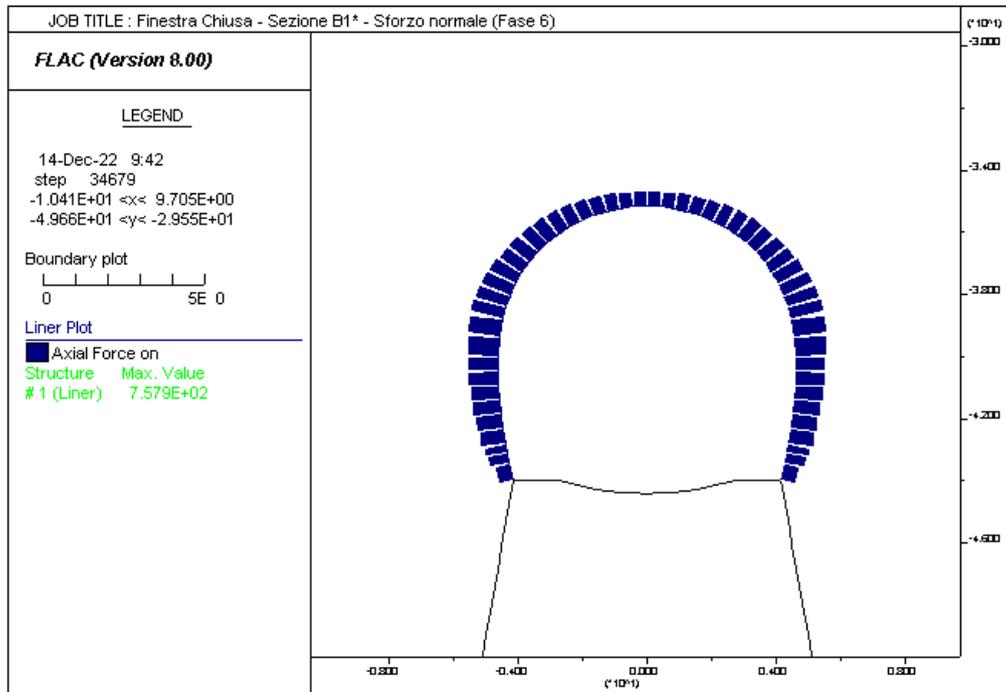


Fig. 45 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 6) – H=50 m

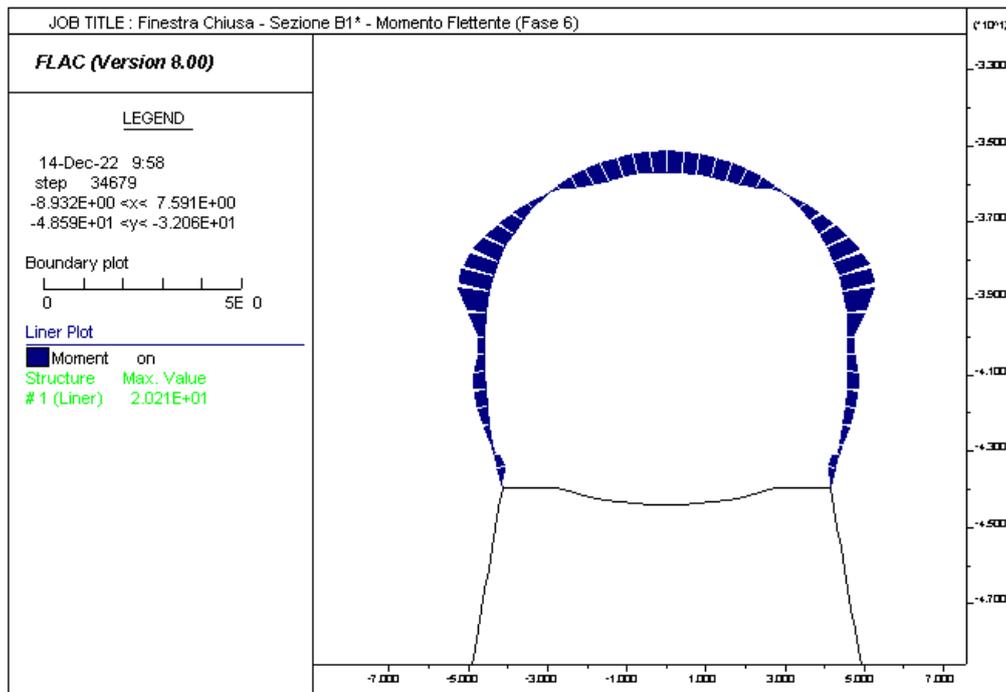


Fig. 46 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 6) – H=50 m

APPALTATORE:	webuild  	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				
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 96 di 243

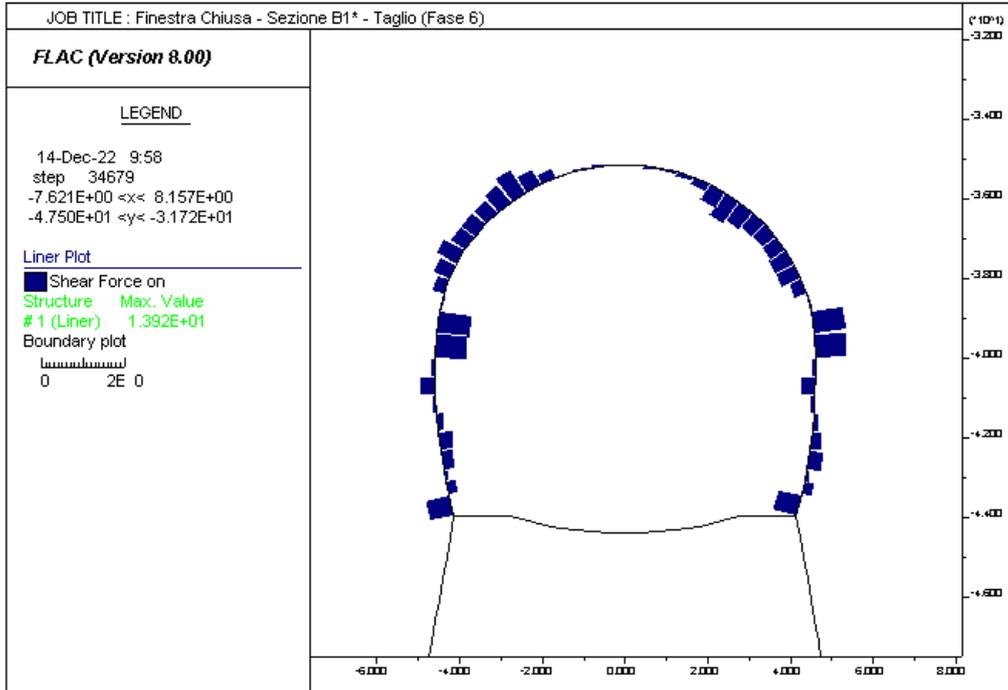


Fig. 47 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 6) – H=50 m

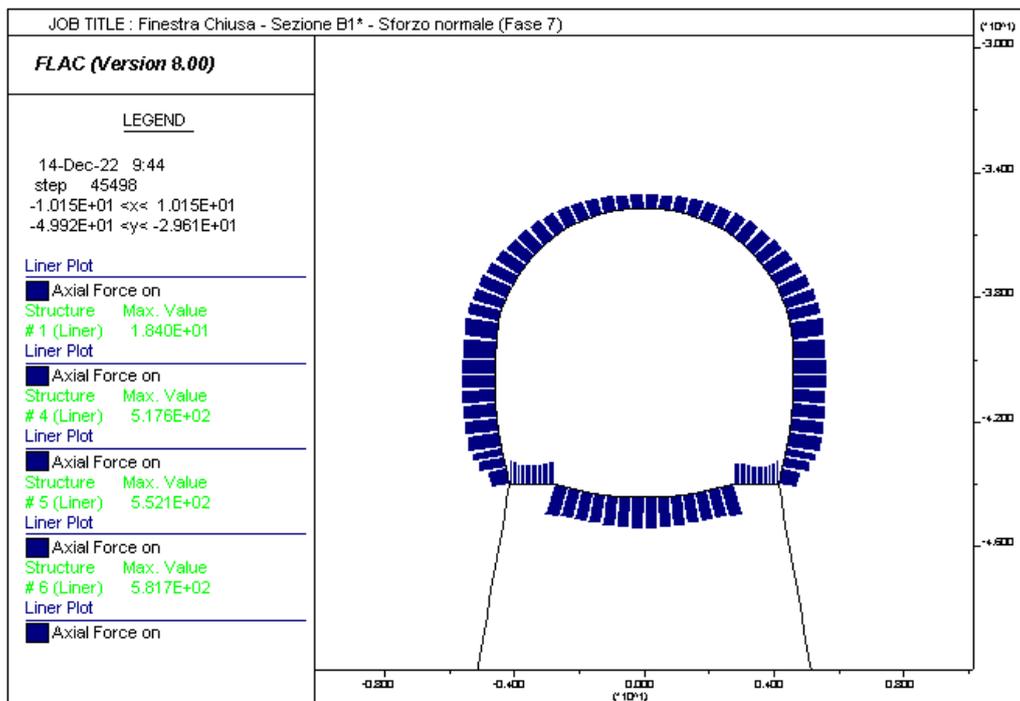


Fig. 48 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 7) – H=50 m

APPALTATORE: webuild  	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												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>97 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	97 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	97 di 243								

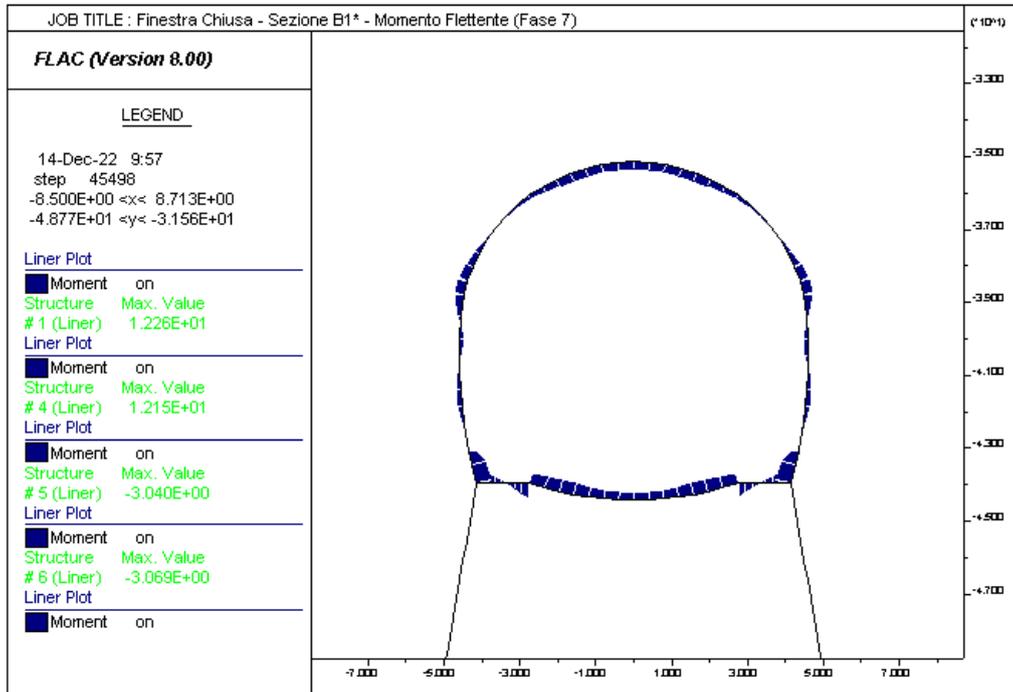


Fig. 49 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 7) – H=50 m

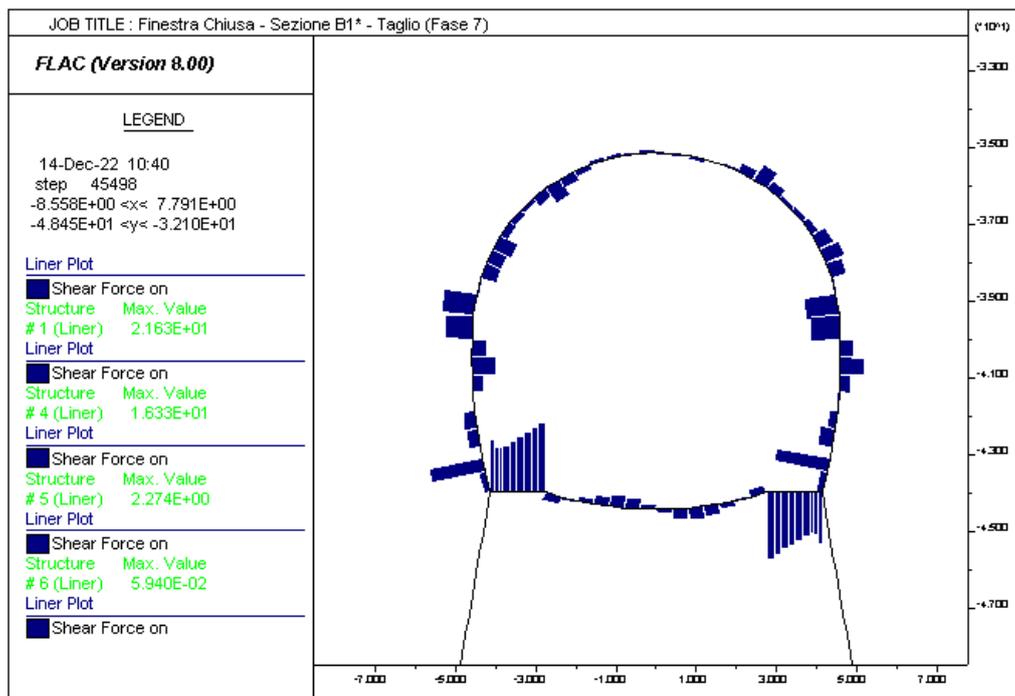


Fig. 50 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 7) – H=50 m

APPALTATORE: webuild  	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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 98 di 243

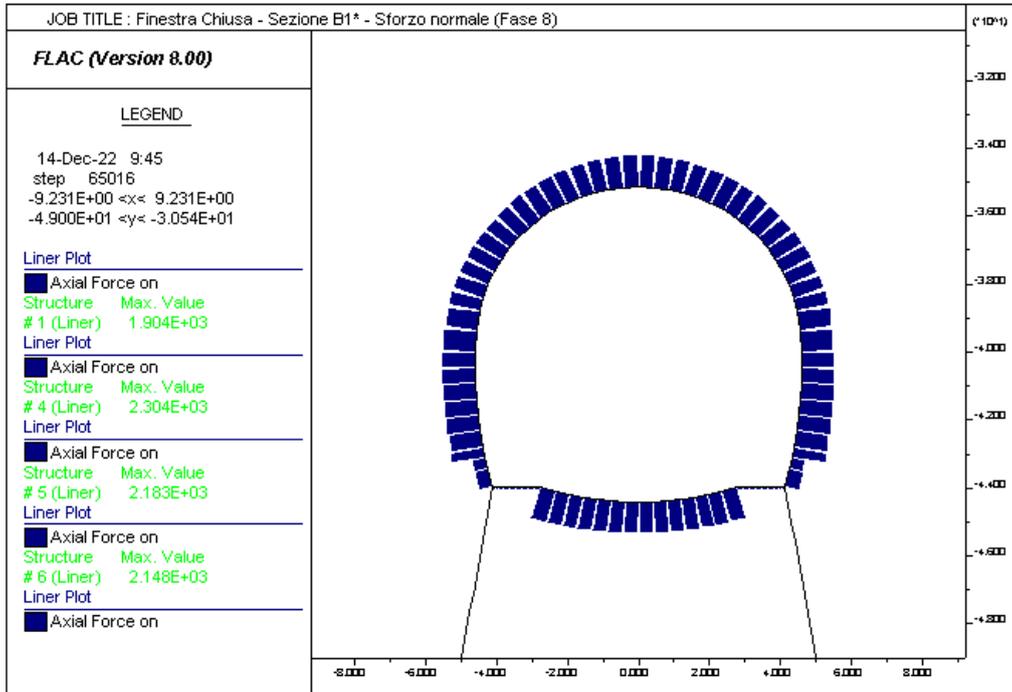


Fig. 51 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 8) – H=50 m

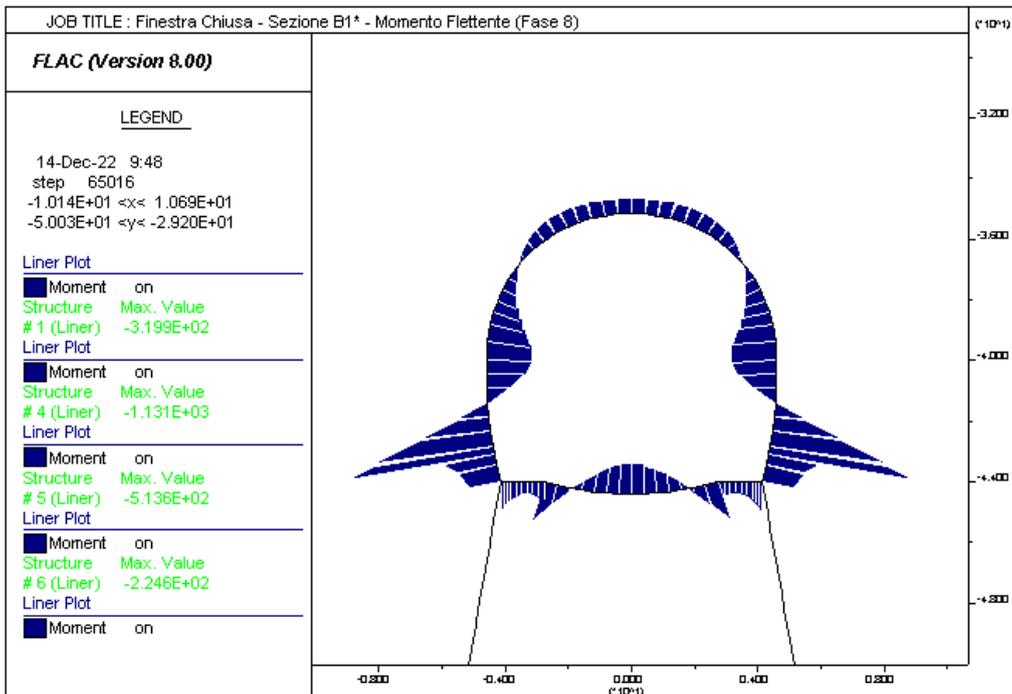


Fig. 52 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 8) – H=50 m

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>99 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	99 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	99 di 243								

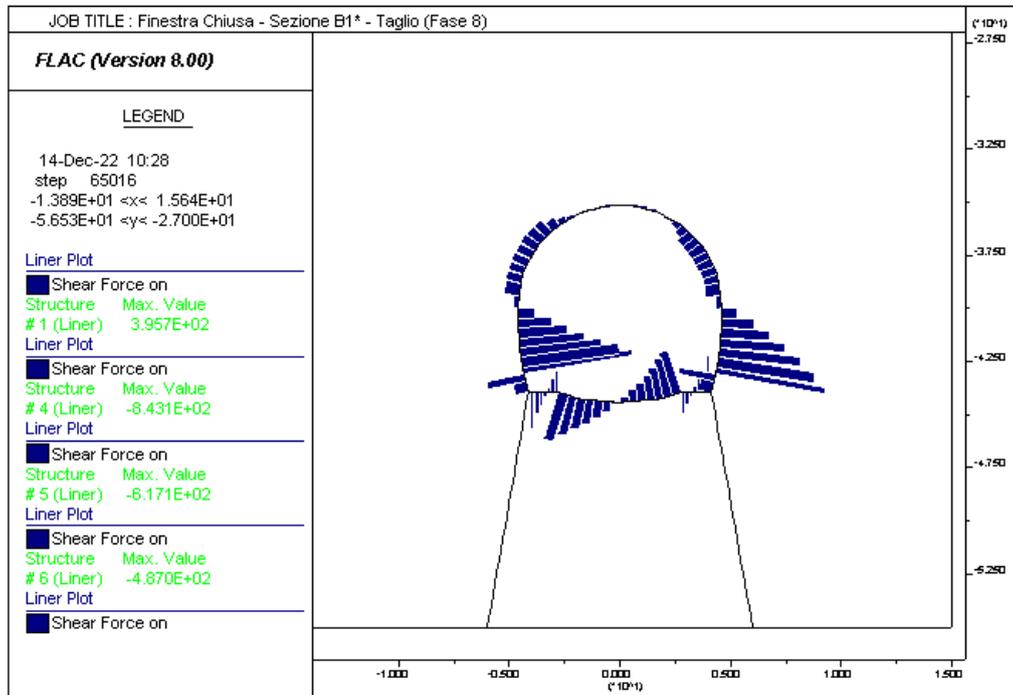


Fig. 53 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 8) – H=50 m

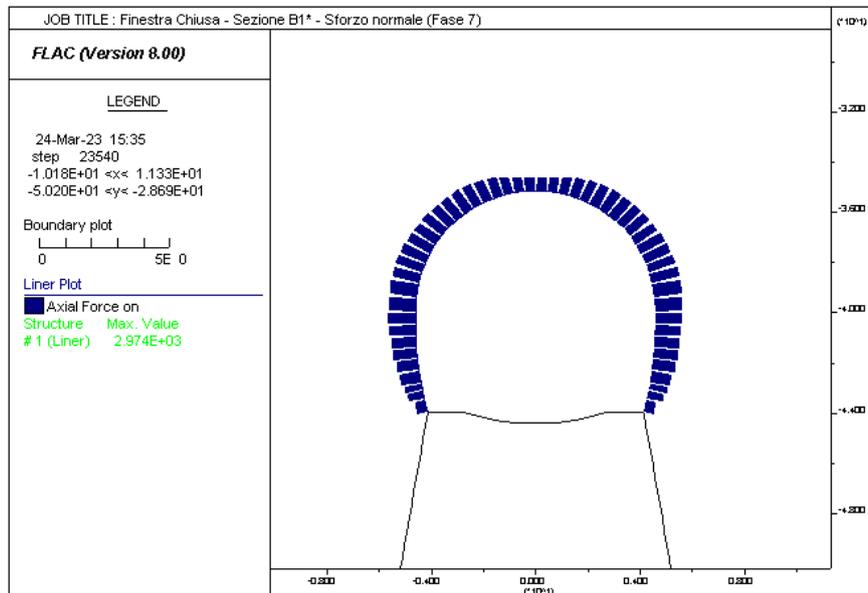


Fig. 54 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 7) – H=420 m

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	100 di 243

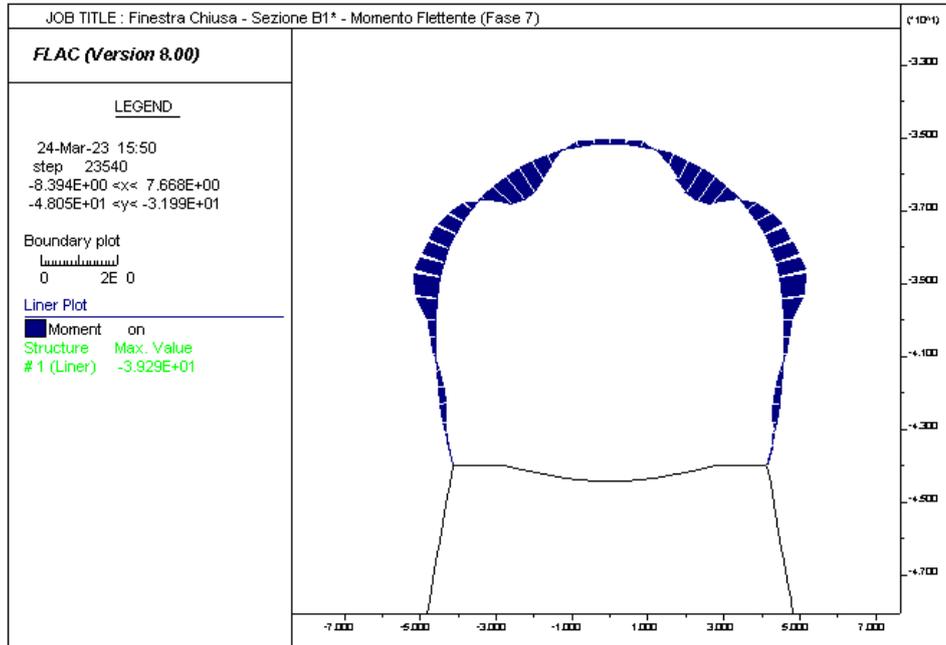


Fig. 55 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 7) – H=420 m

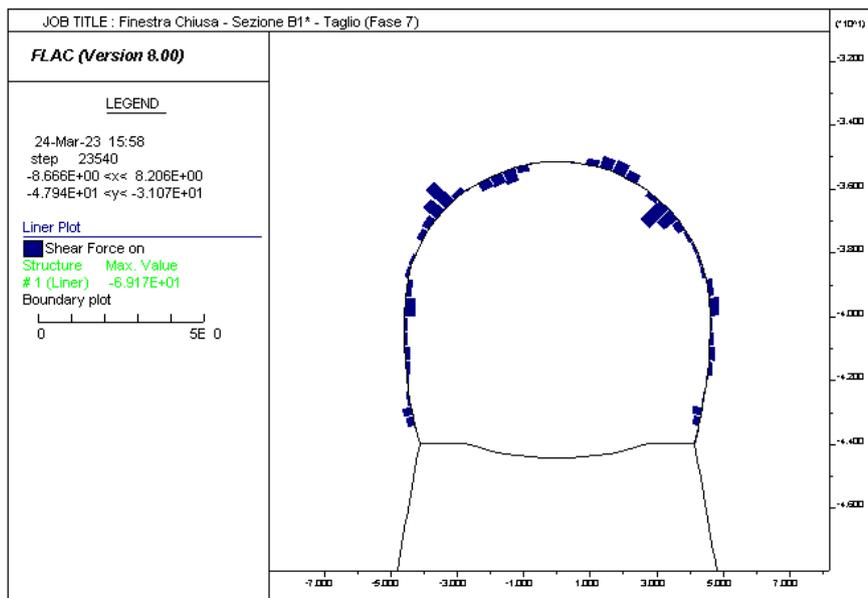


Fig. 56 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 7) – H=420 m

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>101 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	101 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	101 di 243								

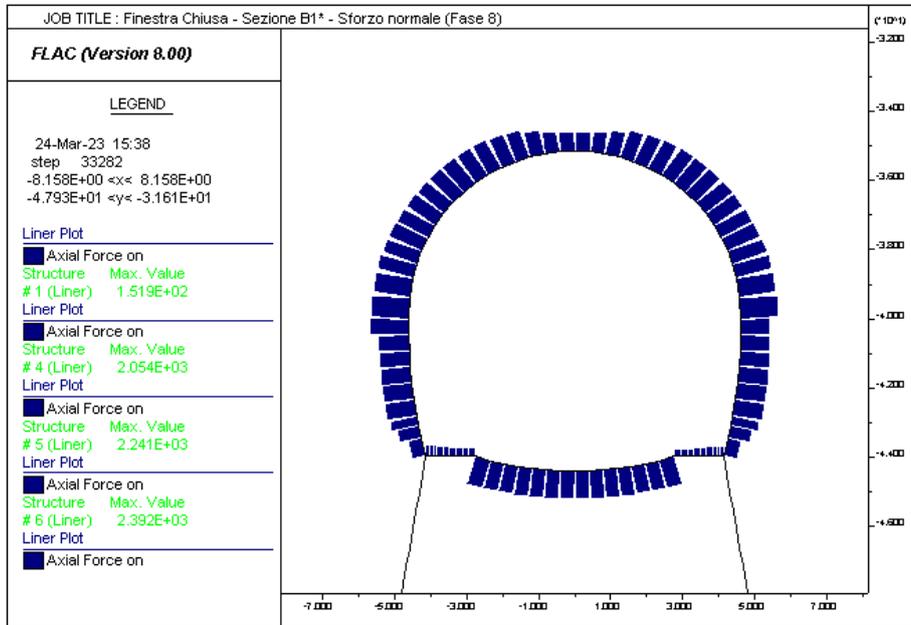


Fig. 57 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 8) – H=420 m

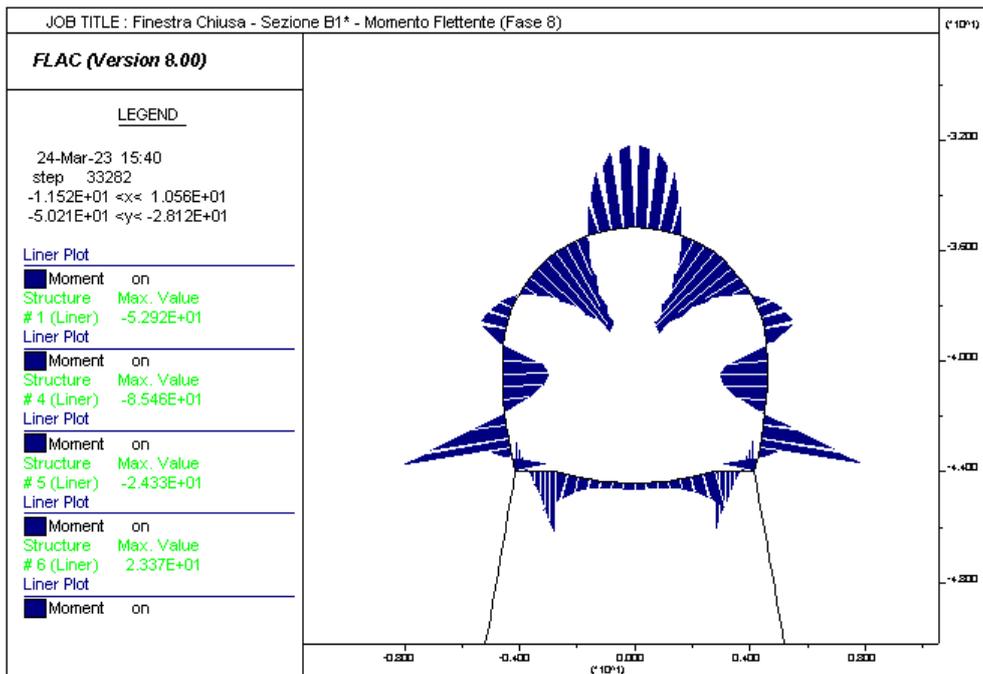


Fig. 58 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 8) – H=420 m

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 102 di 243

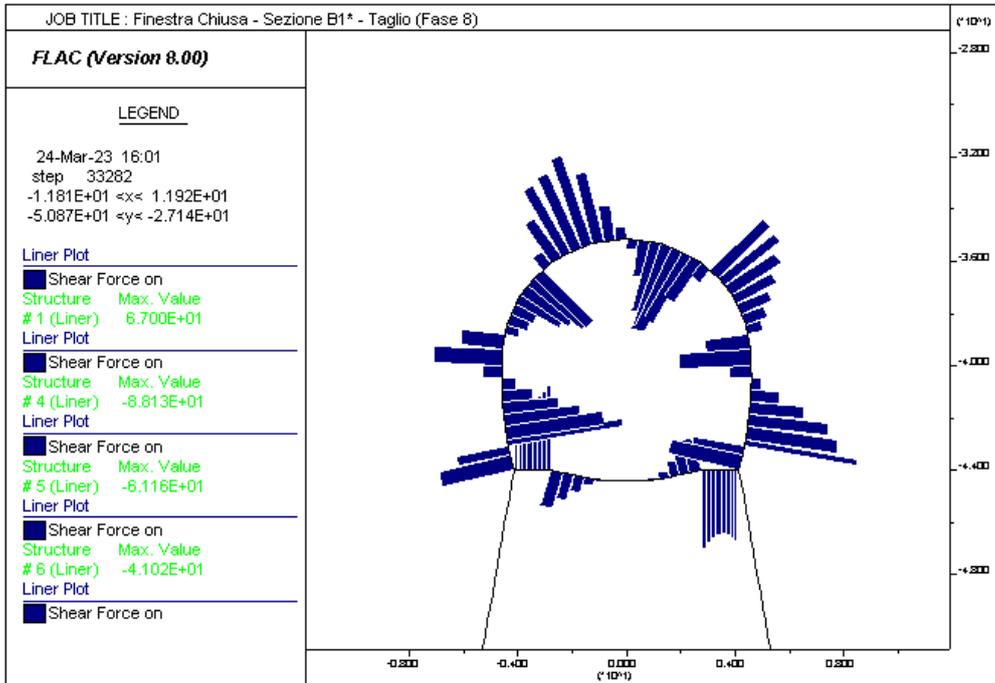


Fig. 59 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 8) – H=420 m

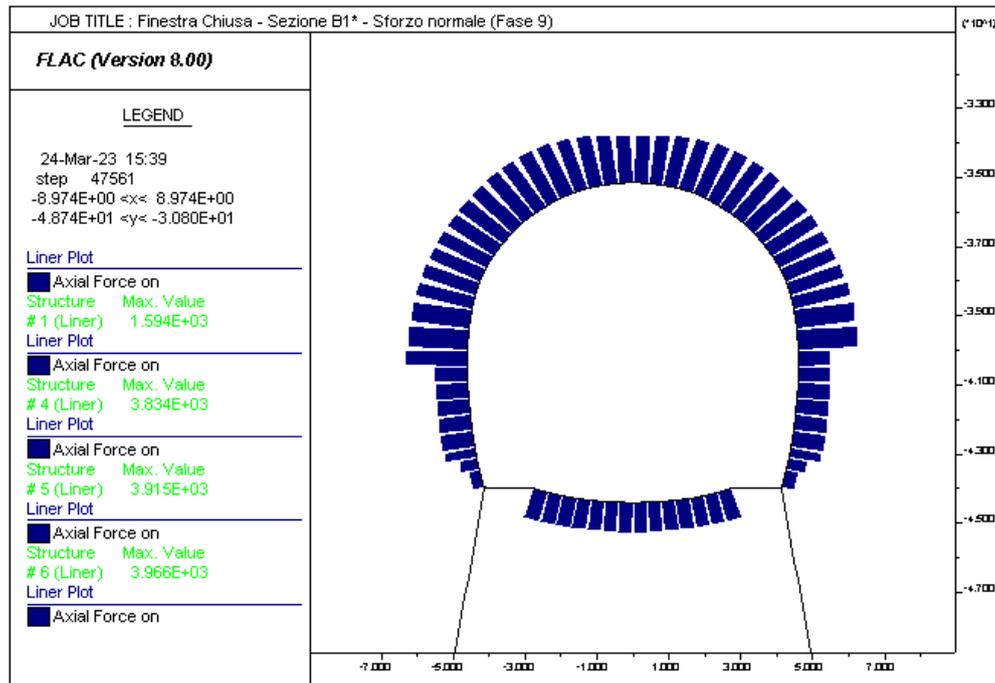


Fig. 60 – Sezione B1*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 9) – H=420 m

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>103 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	103 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	103 di 243								

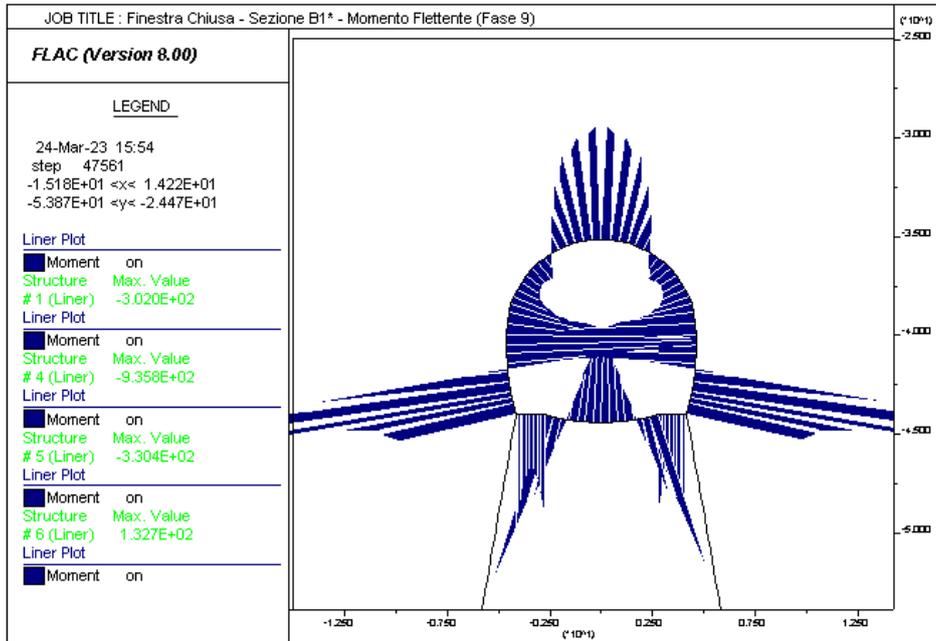


Fig. 61 – Sezione B1*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 9) – H=420 m

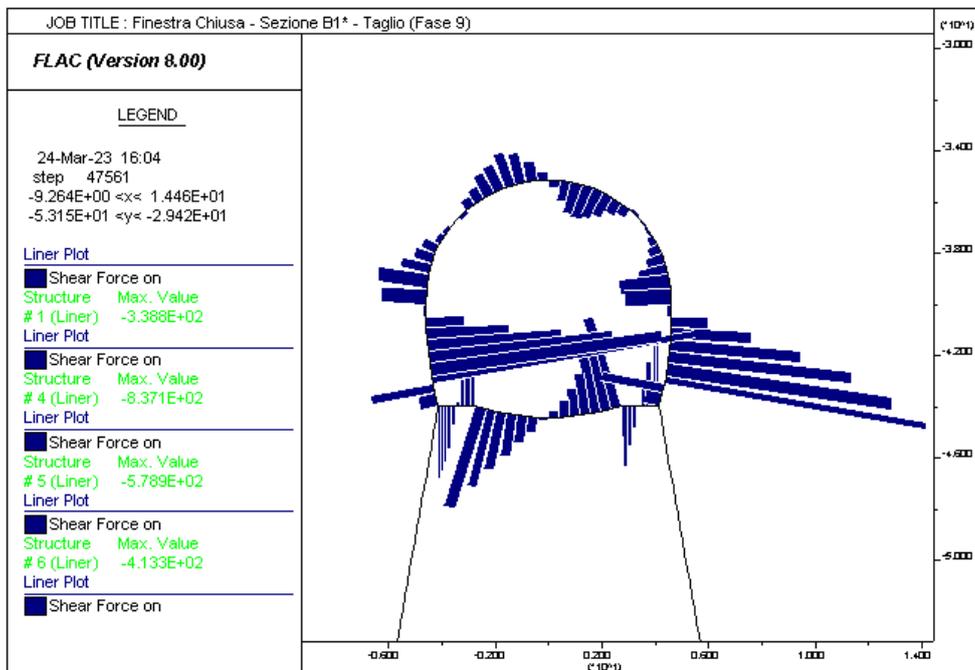


Fig. 62 – Sezione B1*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 9) – H=420 m

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 104 di 243

10.3.8 Sezione C2*

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §0.

10.3.8.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
C2*	4.94	420.0	11.34	27	713.6	24.05	2197

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

Tab. 44 – Sezione C2*, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

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

n_{DYWI}	L_A [m]	ϕ_{perf} [m]	A_i [m ²]	$\sigma_{3,A}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_{3,B}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_3^{i,DYWI}$ [kPa]	$\Delta c'_k$ [MPa]
40	8.5	0.1	1.92	0.329	0.348	0.329	0.254

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

Tab. 45 – Calcolo dell'incremento di coesione equivalente al fronte

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 105 di 243

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 2.1	Criterio 2.2
C2*	30.21	0.61	6.504	1.32	C	B

Tab. 46 – Sezione C2*, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.8.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. In Fig. 63 sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del pririvestimento e del rivestimento definitivo.

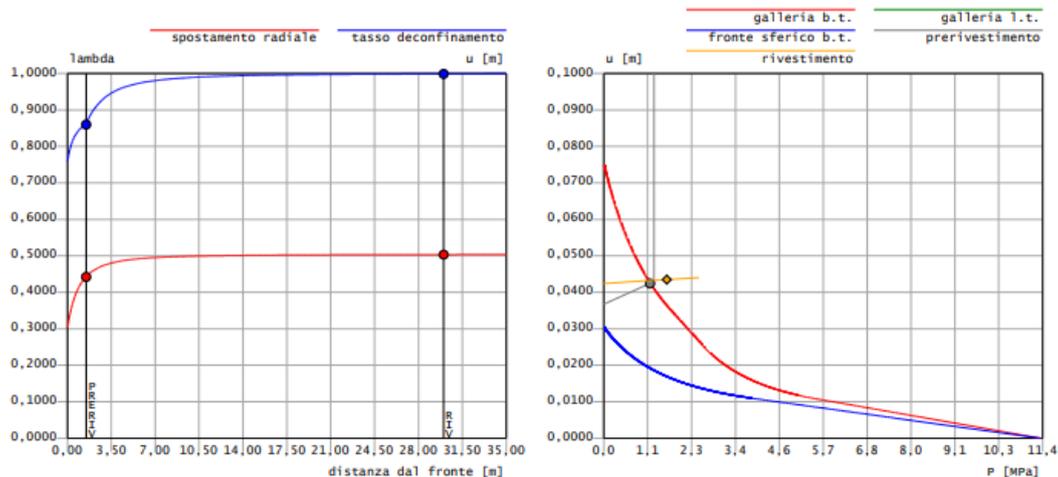


Fig. 63 – Curve caratteristiche della sezione tipo C2*

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

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 106 di 243

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte	0.0	0.7650
Installazione del rivestimento di prima fase	1.5	0.8595
Avanzamento 4 m	4	0.9450
Installazione del rivestimento definitivo – Arco rovescio	10	0.9986
Installazione del rivestimento definitivo - Calotta	30	1.0000

Tab. 47 – Sezione C2*, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Nell'analisi si è tenuto conto della presenza del consolidamento al contorno inserendo una fascia di spessore 1.69 m, avente modulo pari a 2 volte il modulo dell'ammasso originario $E_{cons}=2E$ e incremento di coesione valutato come specificato nella seguente tabella:

n_{DYWI}	L_A [m]	ϕ_{perf} [m]	A_i [m ²]	$\sigma_{3,A}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_{3,B}^{i,DYWI}$ [kPa]	$\sigma_3^{i,DYWI}$ [kPa]	$\Delta c'_k$ [MPa]
57	7	0.1	0.78	0.806	0.702	0.702	0.598

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

Tab. 48 – Calcolo dell'incremento di coesione equivalente al contorno

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 49 e in Tab. 50.

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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 107 di 243

SEZIONE C2* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	HEB220/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	91.0 m ²
Momento resistente del profilato	736 cm ³
Momento di inerzia del profilato	8091 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	36371 MPa

Tab. 49 – Sezione C2*, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE C2* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.90 m
Spessore di arco rovescio	0.90 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 0.90m e 1.20m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 50 – Sezione C2*, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 64 e Fig. 65).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria, in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 108 di 243

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

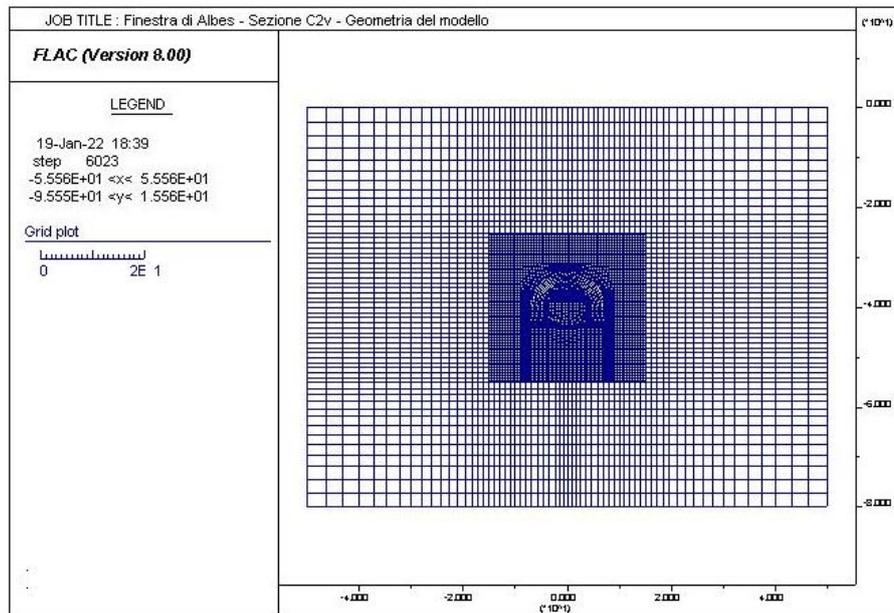


Fig. 64 – Sezione C2*, Geometria del modello

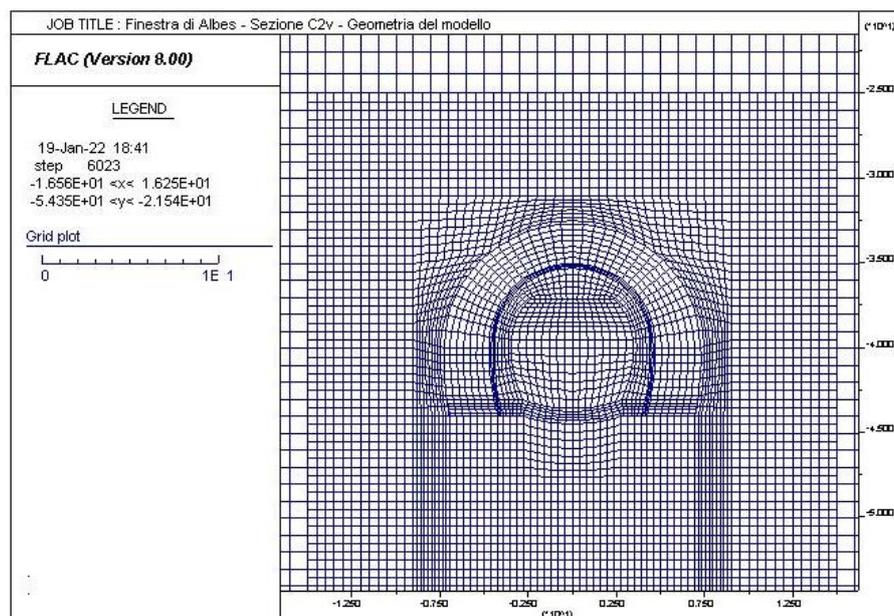


Fig. 65 – Sezione C2*, Dettaglio della suddivisione in zone

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 109 di 243

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 51.

FASI DI CALCOLO	
Fase 1	– Costruzione della geometria del modello
Fase 2	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb
Fase 3	Preconvergenza al fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 76.50% ($\lambda=0.7650$)
Fase 4	Simulazione dello sfondo pari a 1.5 m e rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 85.95% ($\lambda=0.8595$)
Fase 5	Attivazione del rivestimento di prima fase e simulazione dell'avanzamento pari a 4 m, assegnando un rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 94.50% ($\lambda=0.9450$)
Fase 6	Simulazione dell'avanzamento del rivestimento di prima fase pari a 10 m e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari a 99.86% ($\lambda=0.9986$)
Fase 7	Installazione del rivestimento definitivo (arco rovescio) con rilascio totale sul contorno di scavo pari al 100.0% ($\lambda=1.000$)
Fase 8	Installazione del rivestimento definitivo (calotta). Eliminazione del rivestimento di prima fase
Fase 9	Innalzamento della falda di lungo termine (+20 m su chiave calotta) e degrado del consolidamento al contorno

Tab. 51 – Sezione C2*, Fasi di calcolo

A lungo termine si è considerato un innalzamento della falda di 20 m su chiave calotta, considerato che la sezione oggetto di analisi attraversa una zona di faglia

Gli output di calcolo dell'analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e installazione dell'arco rovescio (

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>110 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	110 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	110 di 243								

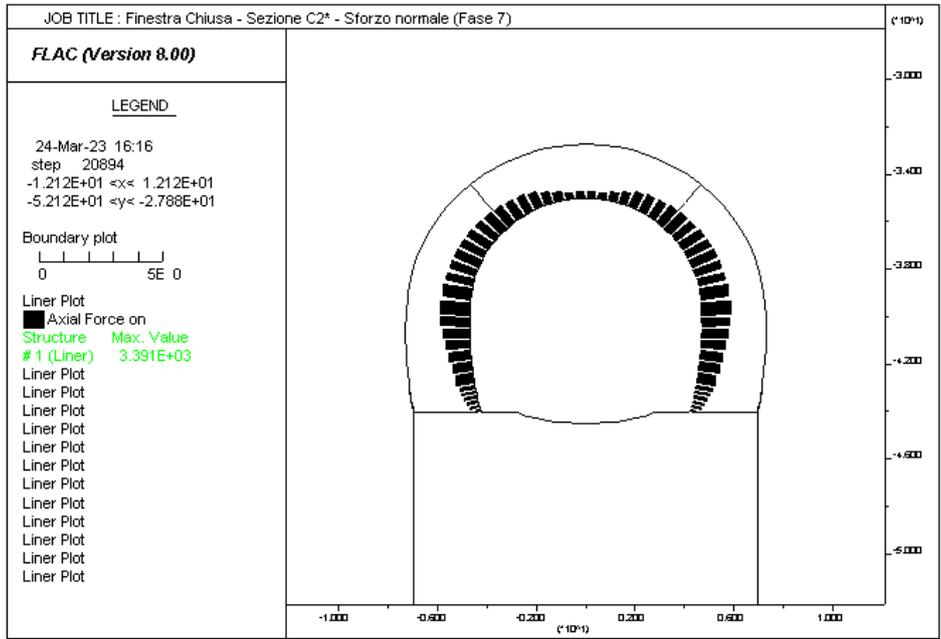


Fig. 66, Fig. 67 e Fig. 68) e definitivi (da

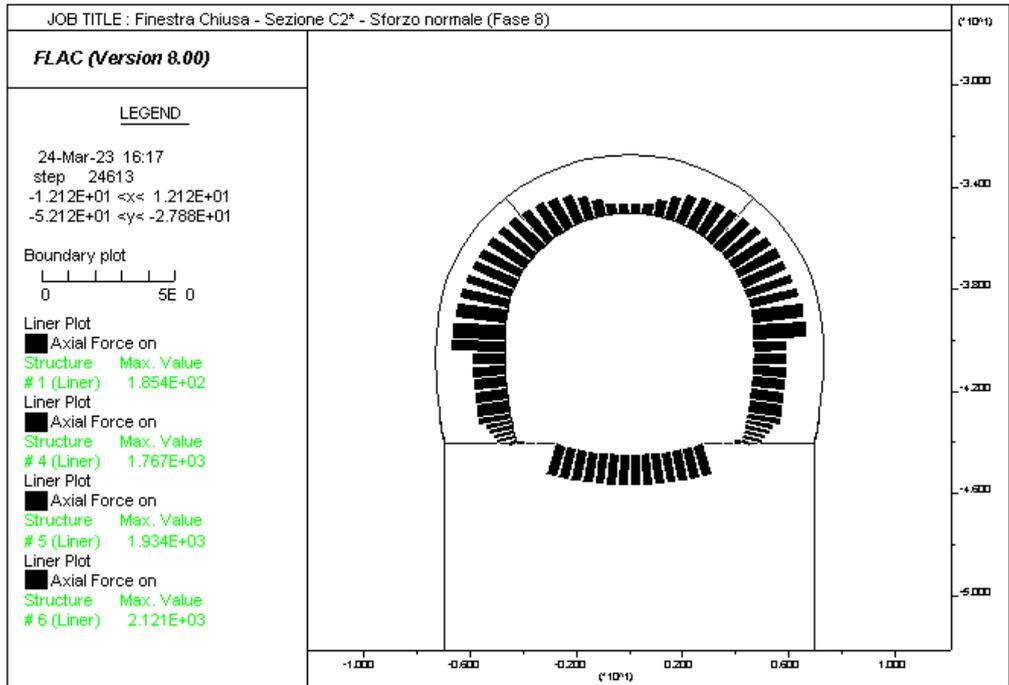


Fig. 69 a Fig. 74).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>111 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	111 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	111 di 243								

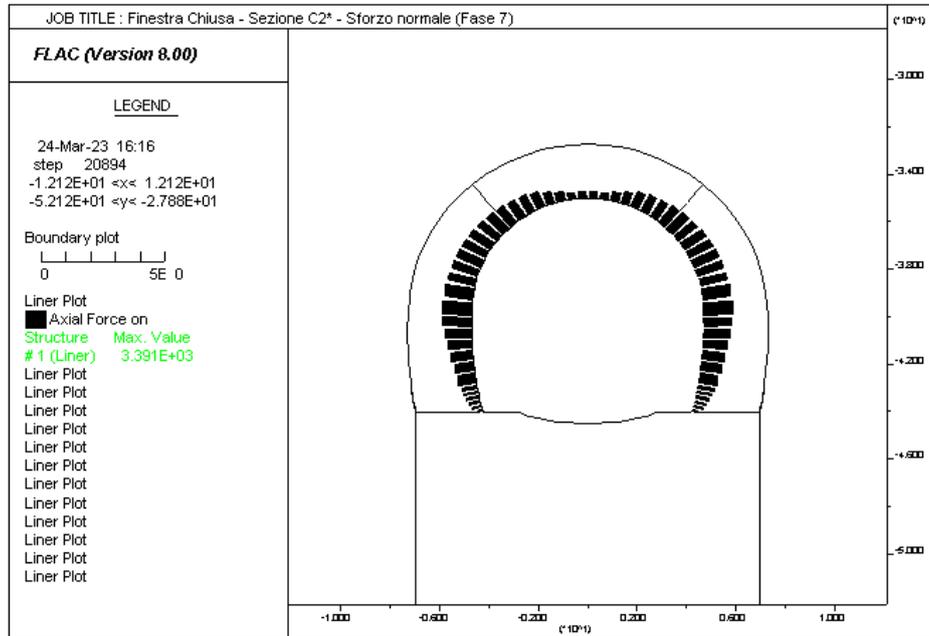


Fig. 66 – Sezione C2*, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 7)

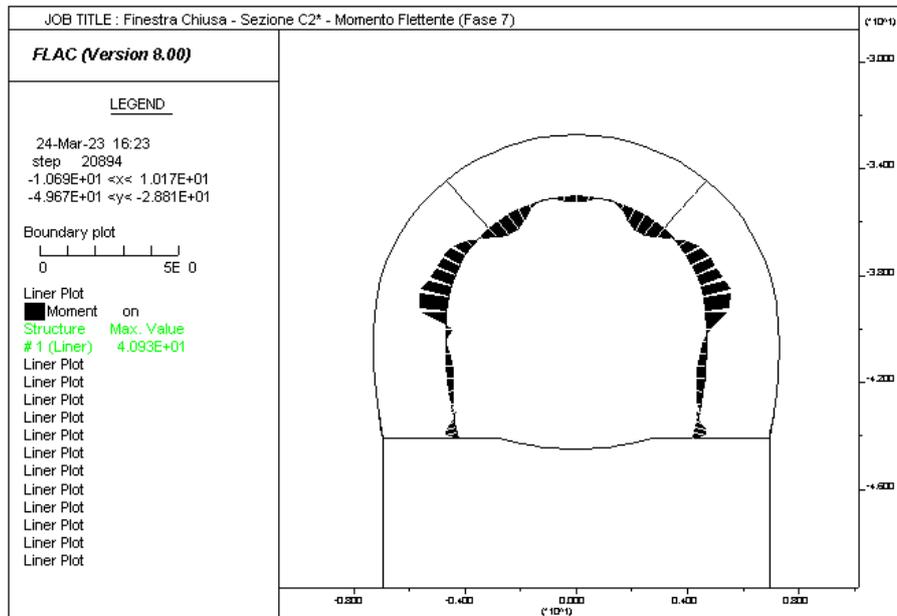


Fig. 67 – Sezione C2*, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 7)

APPALTATORE: webuild  	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												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>112 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	112 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	112 di 243								

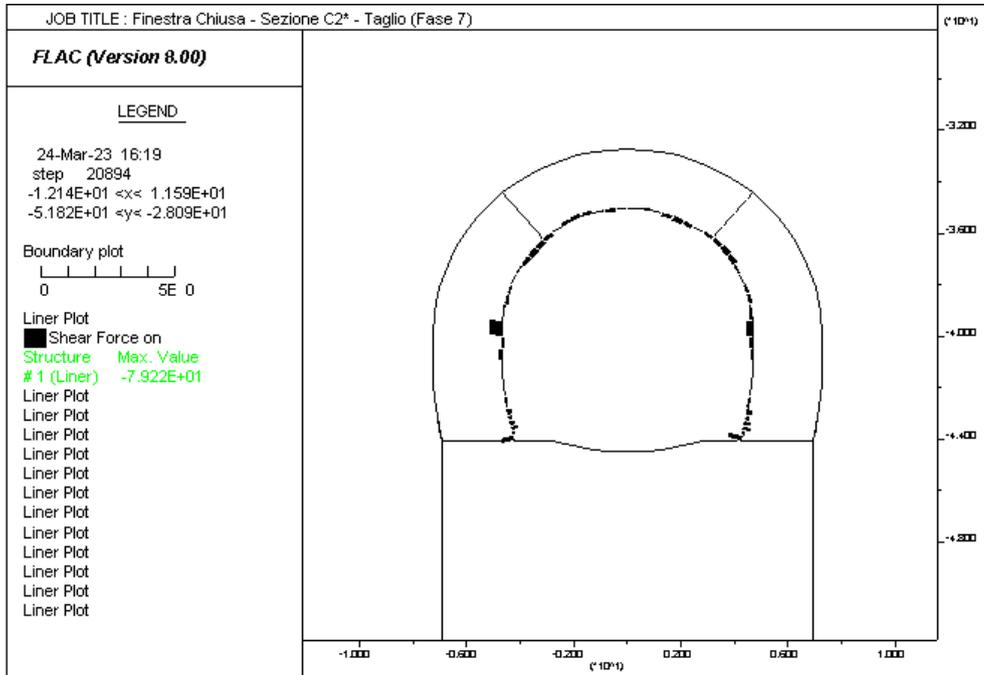


Fig. 68 – Sezione C2*, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 7)

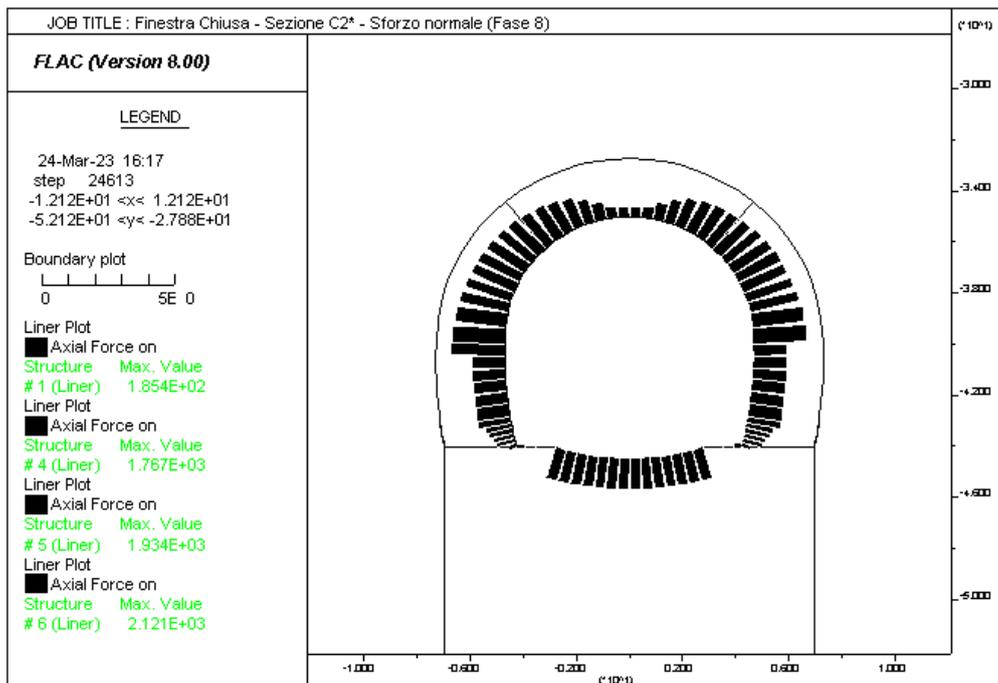


Fig. 69 – Sezione C2*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 8)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>113 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	113 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	113 di 243								

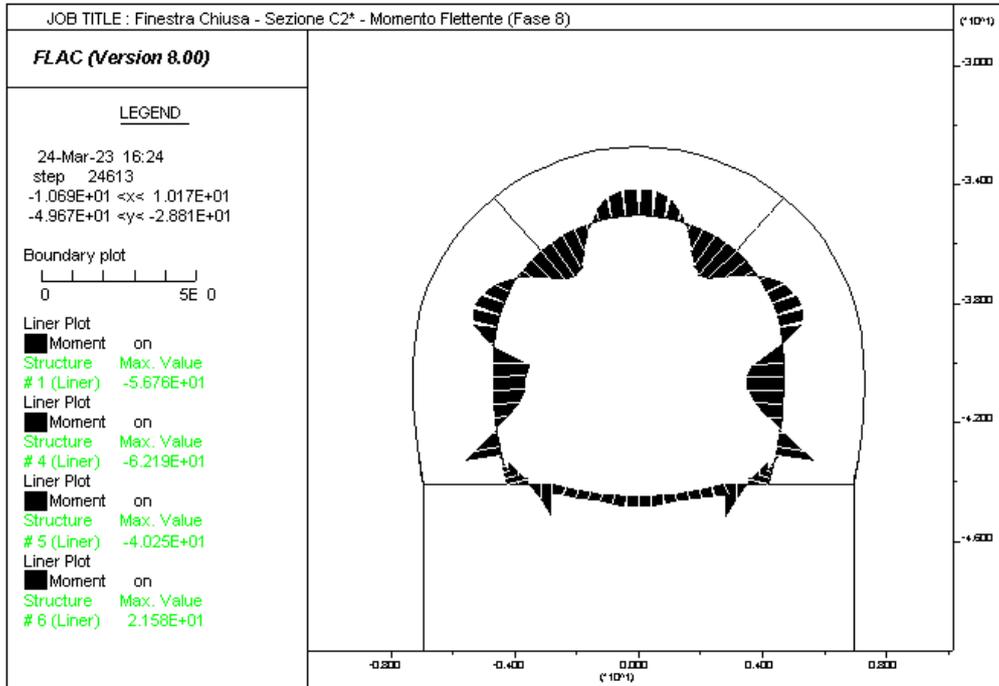


Fig. 70 – Sezione C2*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 8)

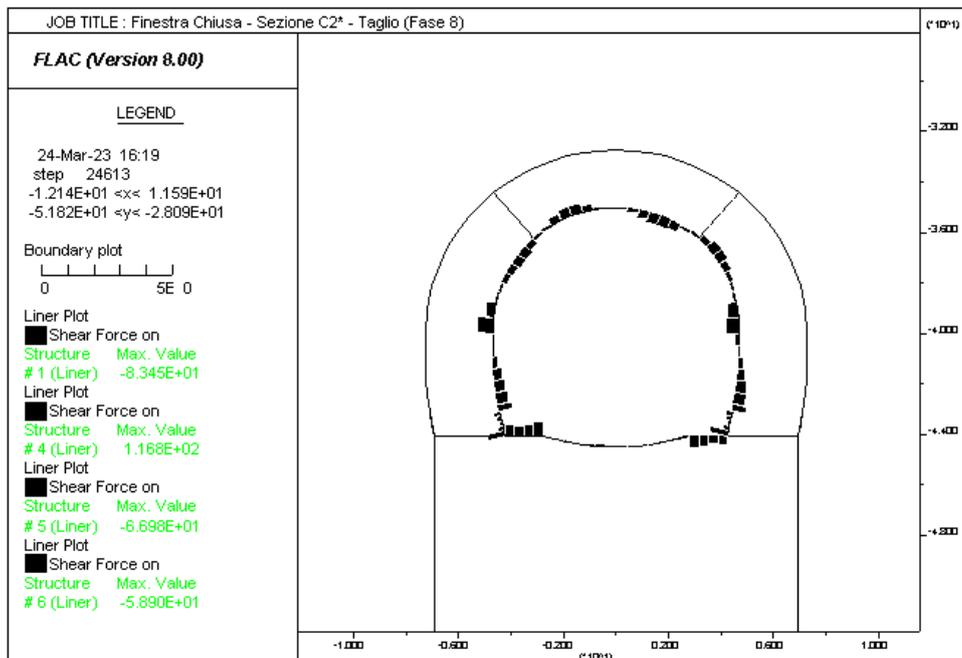


Fig. 71 – Sezione C2*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 8)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 114 di 243

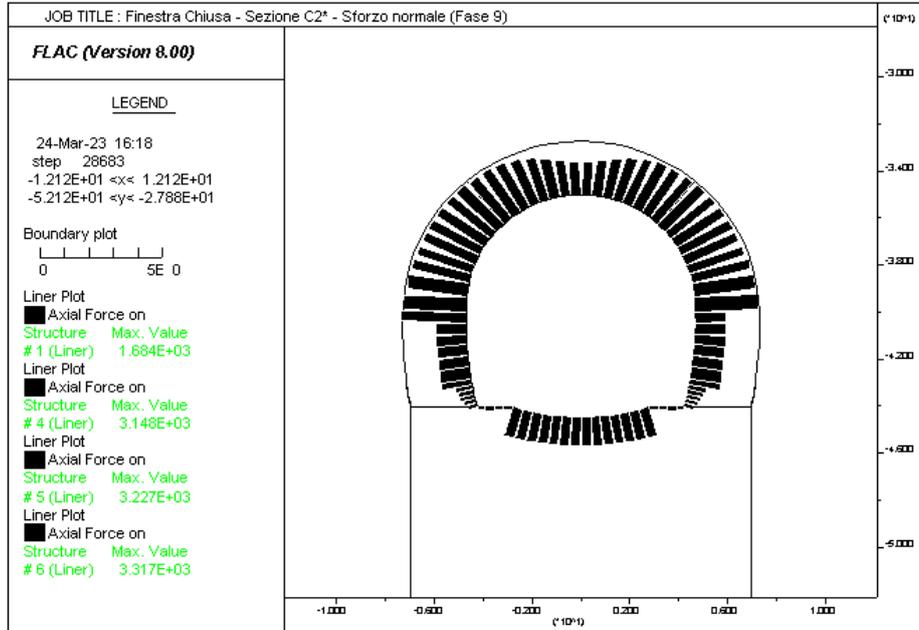


Fig. 72 – Sezione C2*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 9)

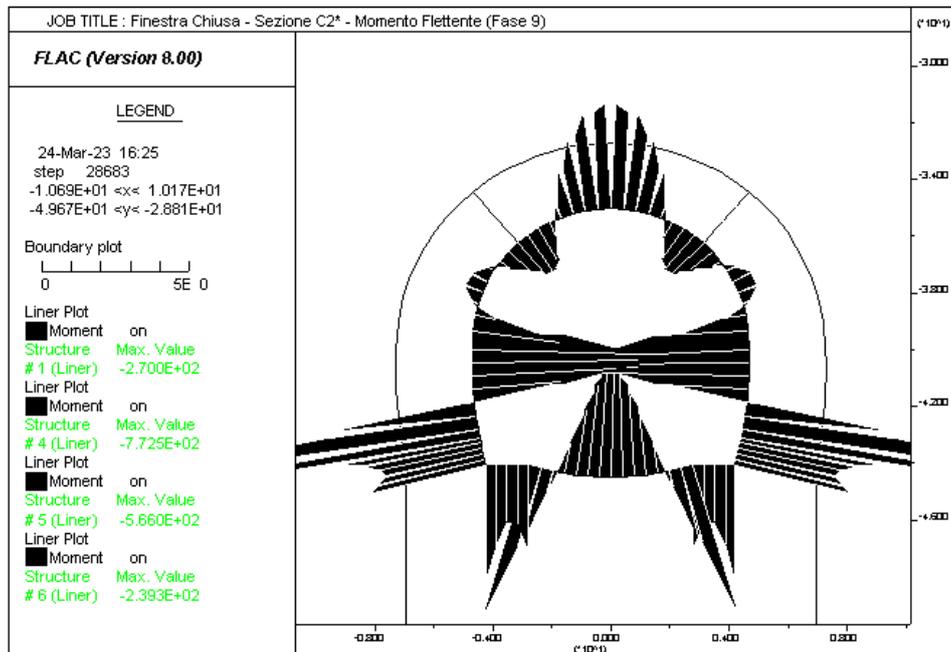


Fig. 73 – Sezione C2*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 9)

APPALTATORE: webuild  	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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 115 di 243

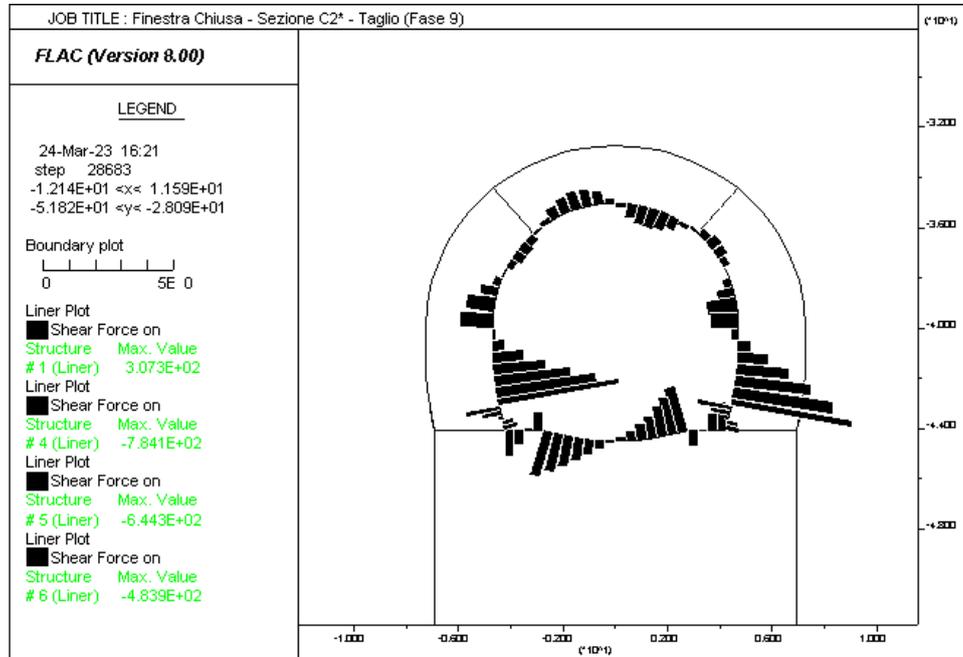


Fig. 74 – Sezione C2*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 9)

10.3.9 Sezione C1bis*

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.6.

10.3.9.1. Stabilità del fronte

Con riferimento alle analisi di stabilità del fronte, trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Nel seguito si riassumono i dati di input utilizzati per le analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C1bis*, includendo gli interventi di consolidamento, eseguita con il metodo all'equilibrio limite di Tamez.

Formazione Sezione Tipo	R_{eq} [m]	H [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
d - C1bis*	5.05	14.0	20	0	29.3	50

H: copertura rispetto all'asse della galleria

γ : peso dell'unità di volume del terreno

c'_d : valore di progetto della coesione efficace del terreno

φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito del terreno

E_d : valore di progetto del modulo elastico del terreno

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 116 di 243

Per ciò che concerne gli interventi di consolidamento al contorno si riportano nella seguente tabella lo spessore e le caratteristiche del materiale trattato. Assumendo la resistenza a compressione monoassiale e l'angolo di attrito efficace del materiale consolidato al contorno, rispettivamente, $\sigma_{c,jet} = 4$ MPa quale valore cautelativo e $\phi'_{jet} = 35^\circ$ pari al valore del terreno naturale, il valore di coesione della fascia interessata dall'intervento di jet-grouting, c'_{jet} , è stato ricavato attraverso l'equazione seguente, come in §10.3.1:

$$c'_{jet} = \frac{\sigma_{c,jet} \cdot (1 - \sin\phi'_{jet})}{2 \cdot \cos\phi'_{jet}}$$

Inoltre, il valore del modulo di Young della miscela cementizia E_{jet} è stato assunto pari a 2000 MPa in maniera cautelativa rispetto a quanto indicato nelle note generali sulle caratteristiche dei materiali (elaborato IB0U1BEZZSPGN0000001B).

I valori di c'_{cons} e E_{cons} (riportati nella tabella seguente) da applicare all'area interessata dall'intervento di jet-grouting sono stati calcolati considerando un'omogeneizzazione dei parametri della miscela cementizia c'_{jet} e E_{jet} rispetto all'area di terreno trattata con l'intervento di consolidamento. In particolare, è stata considerata un'area al contorno pari a 30 m² e un'area al fronte pari a circa 80 m².

Consolidamento	n°_{jet} [-]	A_{jet} [m ²]	$A_{jet,tot}$ [m ²]	A_{tot} [m ²]	c'_{cons} [kPa]	E_{cons} [MPa]
Contorno	30	0.79	23.56	30	450	907
Fronte	23	0.79	18.06	80.2	190	408

n°_{jet} : numero di colonne di jet-grouting
 A_{jet} : Area singola colonna di jet-grouting
 $A_{jet,tot}$: Area totale colonne di jet-grouting
 A_{tot} : Area totale del terreno considerata nell'intervento di consolidamento al contorno e al fronte
 c'_{cons} : coesione del terreno consolidato
 E_{cons} : modulo elastico del terreno consolidato

Tab. 52 – Sezione C1bis*, Parametri omogeneizzati per l'intervento di consolidamento al fronte ed al contorno.

Nella tabella successiva si riportano i parametri caratteristici equivalenti del terreno al fronte di scavo e al di sopra della calotta, utilizzati per la verifica di stabilità di Tamez, calcolati per omogeneizzazione sulla base della stratigrafia di calcolo e dell'effetto dei consolidamenti. In particolare, il valore di $c'_{k,eq}$ al contorno è stato calcolato come media ponderata della copertura sino alla calotta: $c'_{k,eq} = (1 \text{ m} \cdot 450 \text{ kPa}) / 14 \text{ m}$.

Parametri equivalenti al fronte			Parametri equivalenti al contorno		
$\gamma_{k,eq}$	$c'_{k,eq}$	$\phi'_{k,eq}$	$\gamma_{k,eq}$	$c'_{k,eq}$	$\phi'_{k,eq}$

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 117 di 243

[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]
20	190	35	20	32	35

Tab. 53 – Sezione C1bis*, Parametri di resistenza al fronte ed al contorno per le verifiche di stabilità del fronte secondo il metodo di Tamez.

Utilizzando il metodo all'equilibrio limite di Tamez (1984) (Rif. [19]), si ottengono i valori del rapporto tra le azioni stabilizzanti e le azioni agenti al cavo e al fronte, rispettivamente, denominati FSF e FSF3, riportati di seguito. Si fa riferimento ad uno scavo di raggio 5.05 m e lunghezza del tratto non sostenuto pari a 1 m.

Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'Approccio1 – Combinazione2 (A2 + M2 + R2), con R2 = 1.

Formazione Sezione Tipo	Z	b	h	W	h ₁	γ ₁	γ ₂	c' _{1d}	c' _{2d}	φ' _d
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]
d – C1bis*	14	9.20	8.80	30	14	20	20	152	25.6	29.3

Z: copertura rispetto alla calotta della galleria

b: larghezza dello scavo

h: altezza dello scavo

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

W: profondità superficie piezometrica da piano campagna

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

γ₂: peso medio dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)

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

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

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

L'analisi è stata svolta considerando:

K₀: coefficiente di spinta a riposo pari a 0.5

K_A: coefficiente di spinta attiva pari a 0.5

a: lunghezza non sostenuta pari a 1 m

Tab. 54 – Sezione C1bis*, Parametri per la verifica di stabilità del fronte.

Sezione di analisi	FS ₃ [-]	FSF [-]	FS _{min} [-]
C1bis*	2.8	3	2.8

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 118 di 243

Tab. 55 – Sezione C1bis*, Verifica di stabilità del fronte.

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2 + M2 + R2 e quindi con i valori di progetto, il fattore di sicurezza è tale da poter garantire soddisfatta la verifica di stabilità per la sezione in cui in fase di diagnosi era associato un comportamento instabile.

10.3.9.2. Interazione opera – terreno

Date la condizione di basse coperture, per la valutazione del rilascio al fronte si è fatto uso del numero di stabilità N_s e della curva di Panet.

Il numero di stabilità si valuta come:

$$N_s = \sigma_0 / C_u = 2\sigma_0 / \sigma_{cm}$$

Dove:

- σ_0 = tensione geostatica;
- σ_{cm} = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso;
- σ_c = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

La resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta viene ricavata mediante il criterio di Mohr Coulomb come segue:

$$\sigma'_{cm} = 2c \cos\phi' / (1 - \sin\phi')$$

Utilizzando i parametri della formazione d risulta un numero di stabilità prossimo a 4: pertanto si utilizza la curva di Panet in campo elastoplastico relativa ad $N_s=4$.

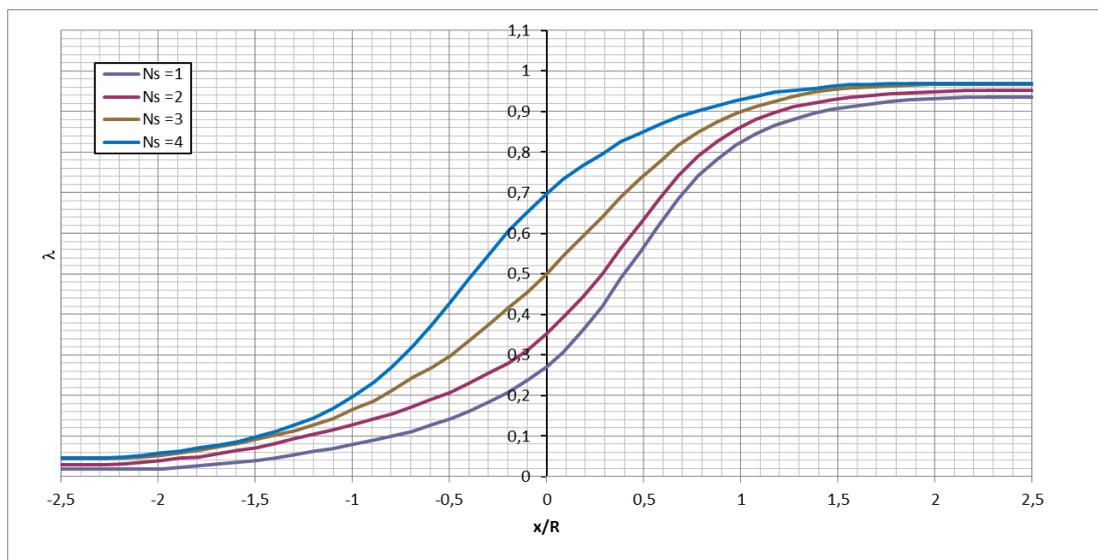


Fig. 75 – Curva di Panet al variare di N_s .

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 119 di 243

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate nelle tabelle seguenti. Poiché la sezione in esame ha geometria tronco-conica, sono stati considerati spessori del rivestimento definitivo relativi alla sezione media.

SEZIONE C1bis* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN200/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	33.4 m ²
Modulo di resistenza del profilato	214 cm ³
Momento di inerzia del profilato	2140 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35716 MPa

Tab. 56 – Sezione C1bis*, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE C1bis* – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.95 m
Spessore di arco rovescio	0.90 m
Spessore di piedritto	1.20 m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 57 – Sezione C1bis*, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante un'analisi FEM, utilizzando il codice di calcolo PLAXIS V22.

Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo per incrementare la precisione dei risultati nella zona in prossimità della galleria. Nella figura seguente viene mostrata la mesh di calcolo adottata nel modello, con focus sulla zona interessata dalle opere. La distanza tra il punto di colmo della calotta e il piano campagna considerata nel modello numerico è pari a 14 m.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 120 di 243

Il K_0 utilizzato è pari a 0.42.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

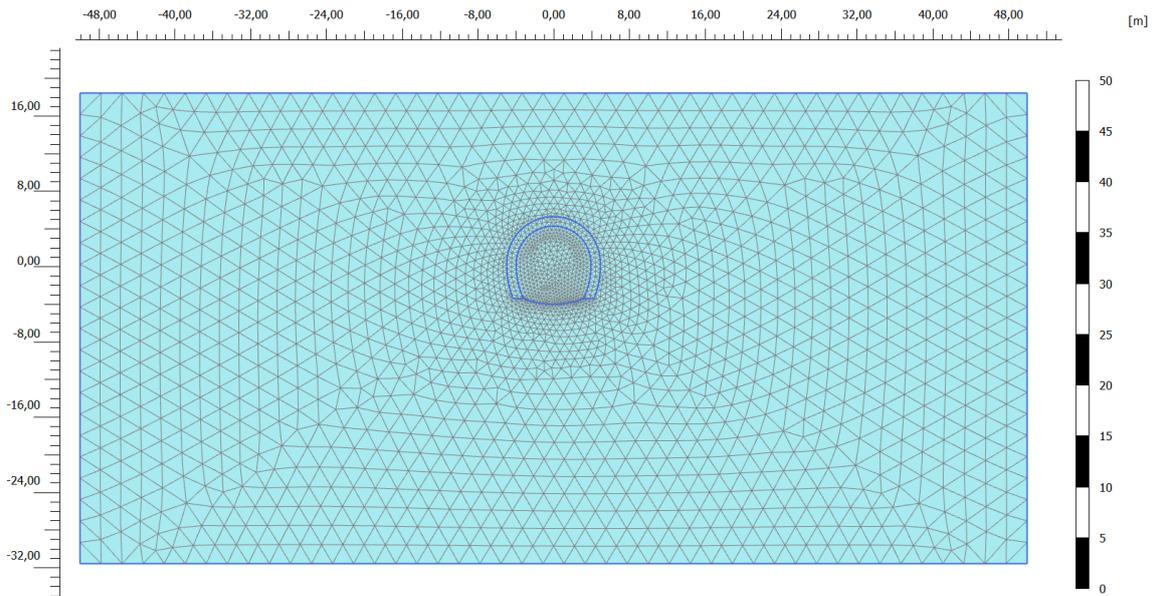


Fig. 76 – Sezione C1bis*, Geometria del modello

La tabella seguente riassume le diverse fasi dell'analisi numerica e i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione tipologica in esame:

Fase	Sezione C1bis* (Imbocco) - Fasi di calcolo	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Fase iniziale	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale litostatico – Condizioni k_0 – Modello costitutivo elasto plastico "Mohr Coulomb"	-	-
Fase 1	Fase Nil	-	-
Fase 2	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo e attivazione del consolidamento al contorno	0.0	0.7
Fase 3	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale	1.0	0.77
Fase 4	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale	1.5	0.80
Fase 5	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale	> 6.5	1.000
Fase 6	Simulazione del lungo termine con disattivazione del del consolidamento al contorno	-	1.000

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 121 di 243

Tab. 58 – Sezione A2, Fasi di calcolo e tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le fasi di calcolo sono tutte sequenziali, e verrà precisato in seguito attraverso la rappresentazione degli output a quali di esse si farà riferimento per la verifica degli interventi previsti.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo *plate* con un comportamento di tipo elastico-lineare, di cui sono state calcolate come indicato in 10.3.3 le caratteristiche di rigidezza assiale e flessionale da attribuire in Plaxis .

Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e definitivi che verranno utilizzate in fase di verifica.

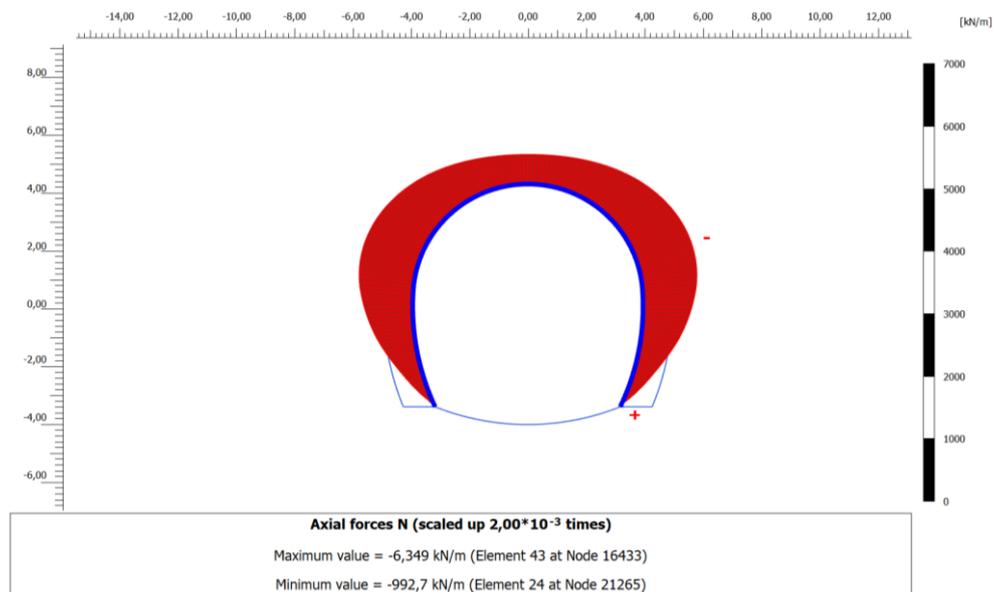


Fig. 77 – Sezione C1bis*, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 4)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>122 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	122 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	122 di 243								

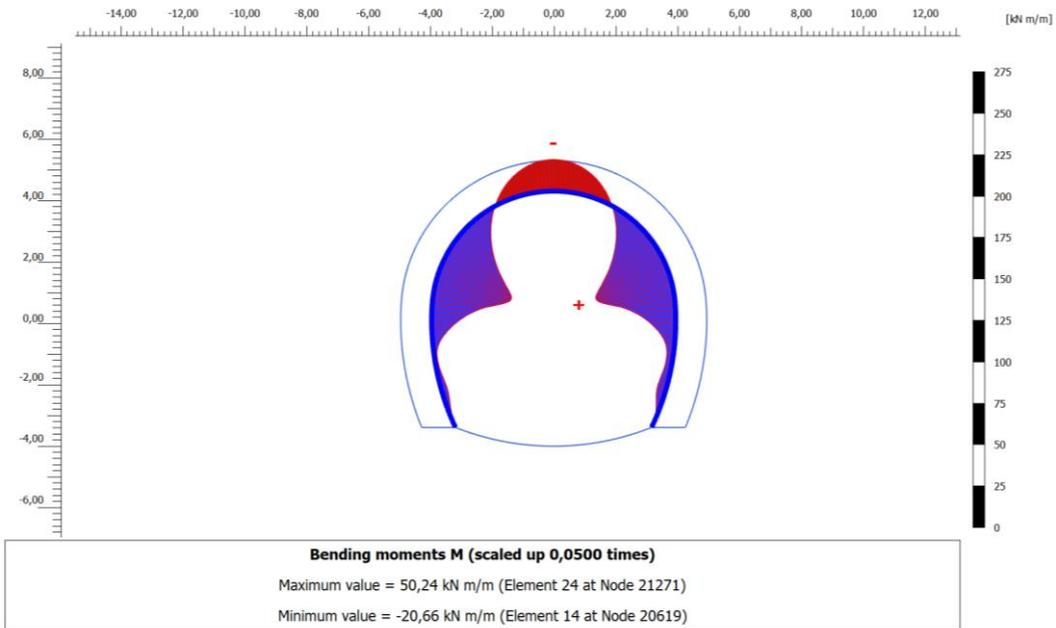


Fig. 78 – Sezione C1bis*, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 4)

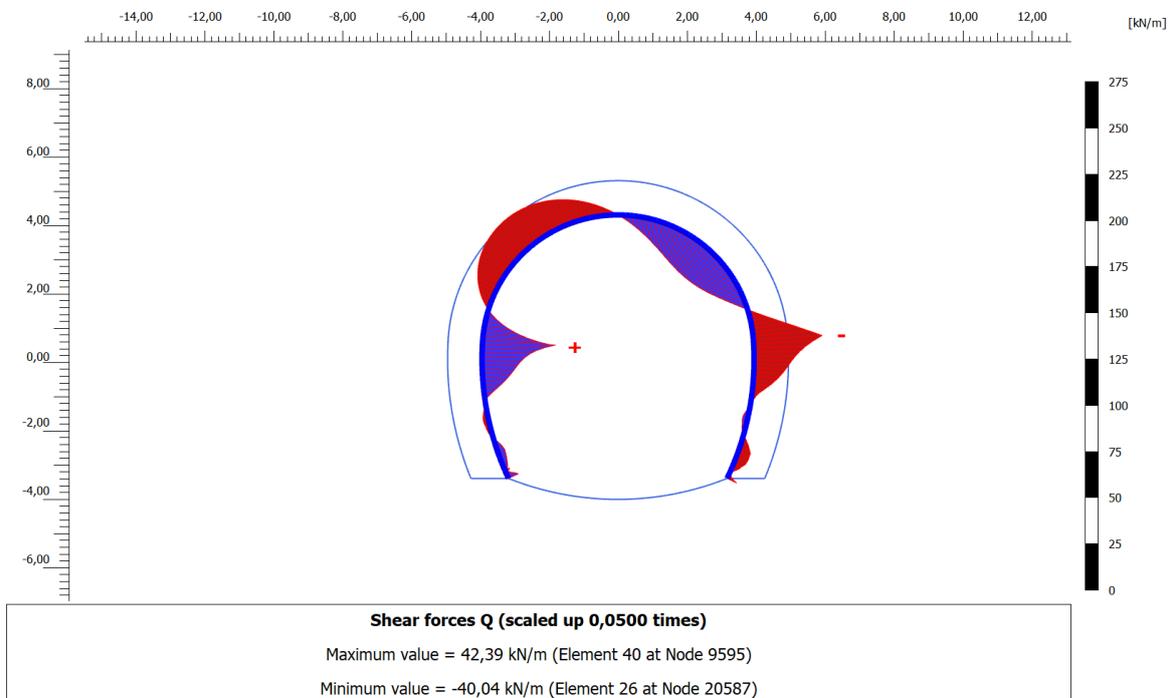


Fig. 79 – Sezione C1bis*, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 4)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 123 di 243

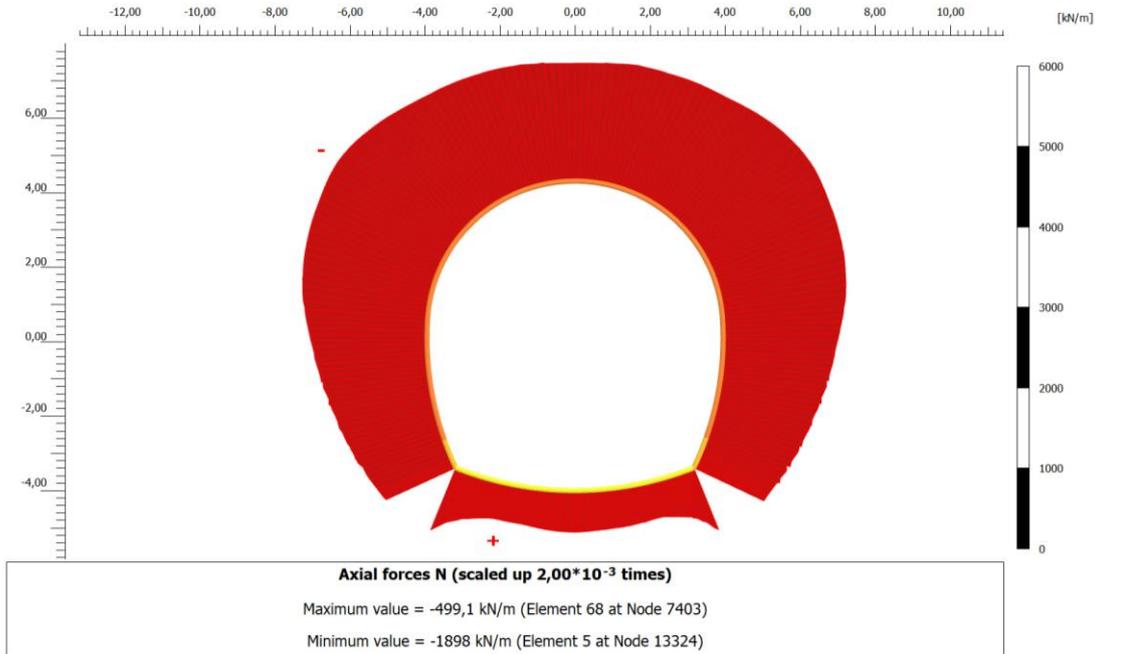


Fig. 80 – Sezione C1bis*, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 6 – Lungo termine)

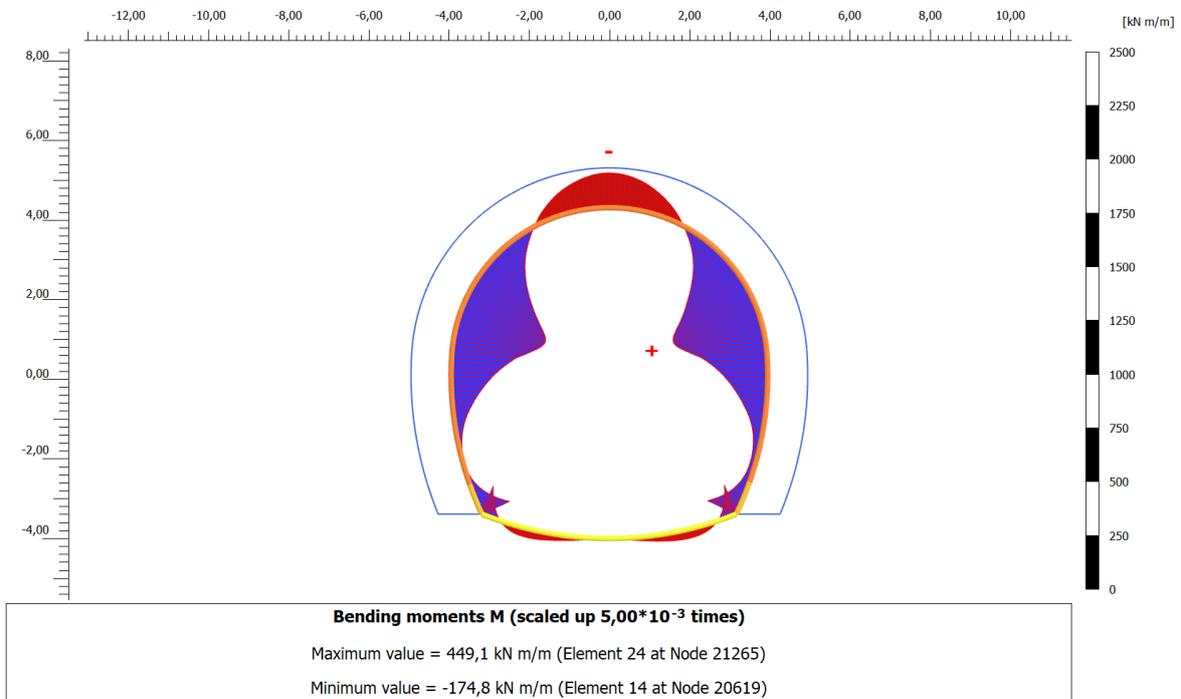


Fig. 81 – Sezione C1bis*, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 6 – Lungo termine)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 124 di 243

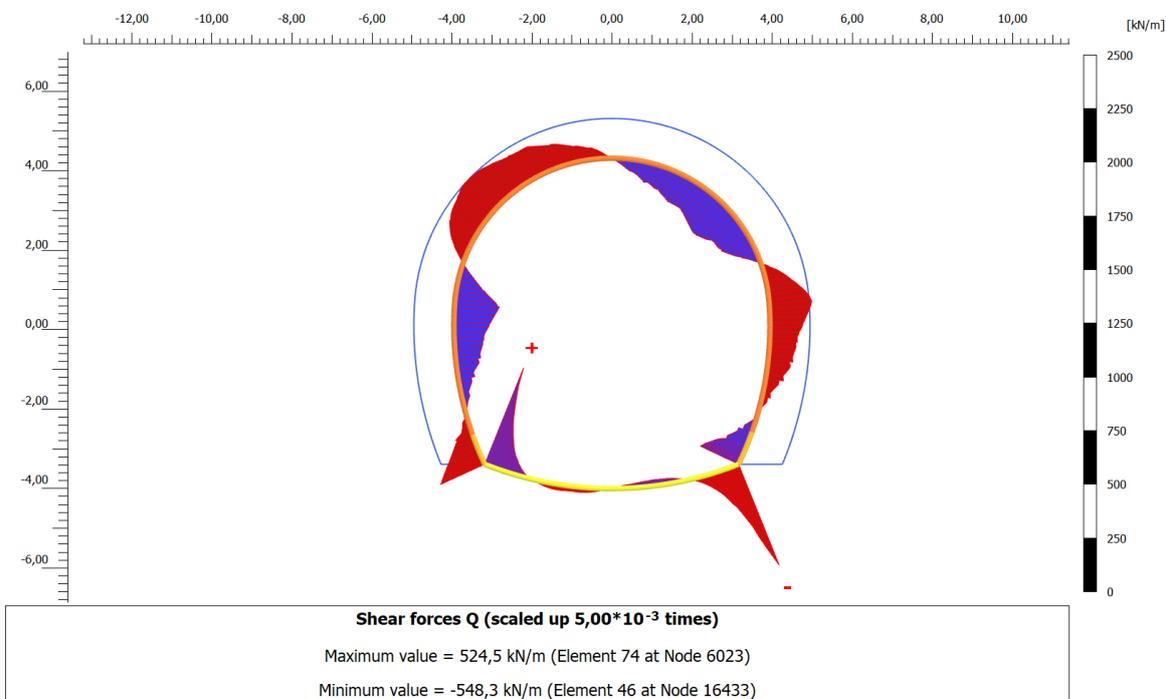


Fig. 82 – Sezione C1bis*, Taglio del rivestimento definitivo (fase 6 – Lungo termine)

10.3.10 Sezione della Camera di manovra

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.8.

10.3.10.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
Camerone_mezza sezione	5.92	570.0	15.39	27	1872	31.1	17056

H: copertura rispetto al piano dei centri della galleria

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

γ : peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_d : valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso

φ'_d : valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_d : valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Tab. 59 – Camera di manovra, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 125 di 243

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 2.1	Criterio 2.2
Camerone_mezza sezione	5.34	0.09	7.32	1.24	A	A/B

Tab. 60 – Camera di manovra, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.10.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche in presenza di sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16. Nelle figure seguenti sono illustrate le curve caratteristiche del cavo, del pririvestimento e del rivestimento definitivo.

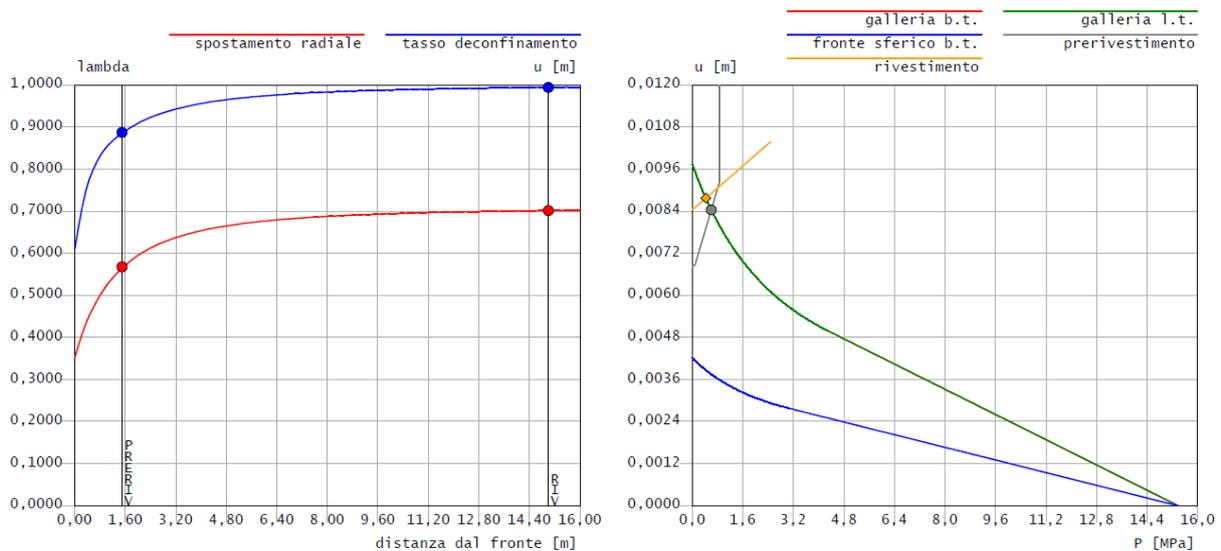


Fig. 83 – Curve caratteristiche della sezione della Camera di manovra (Scavo di calotta – senza chiodi)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 126 di 243

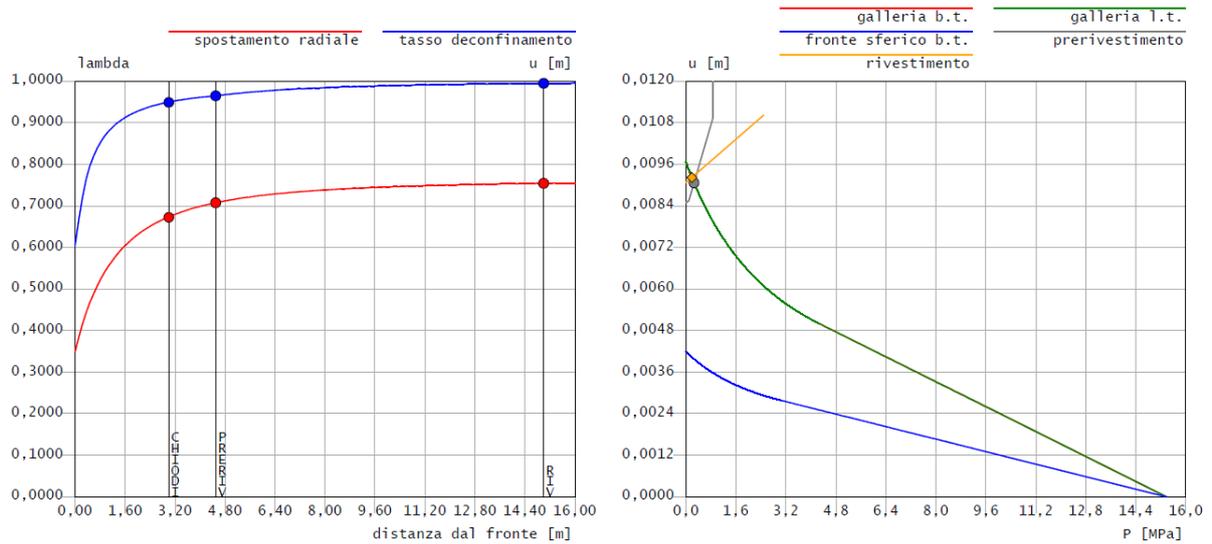


Fig. 84 – Curve caratteristiche della sezione della Camera di manovra (Scavo di calotta – con chiodi)

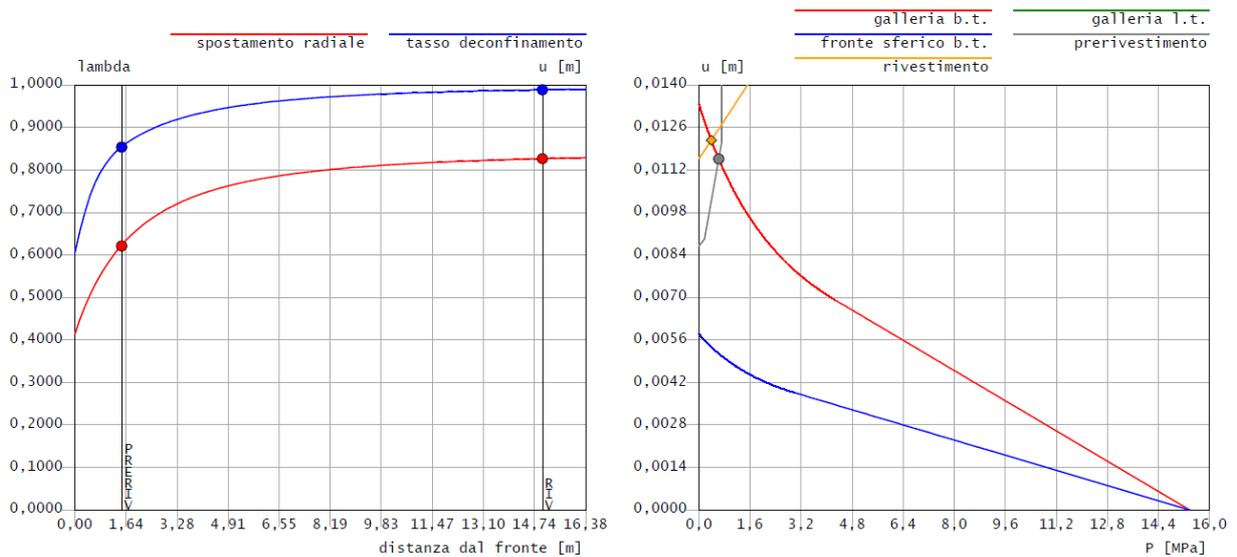


Fig. 85 – Curve caratteristiche della sezione della Camera di manovra (Scavo di ribasso – senza chiodi)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 127 di 243

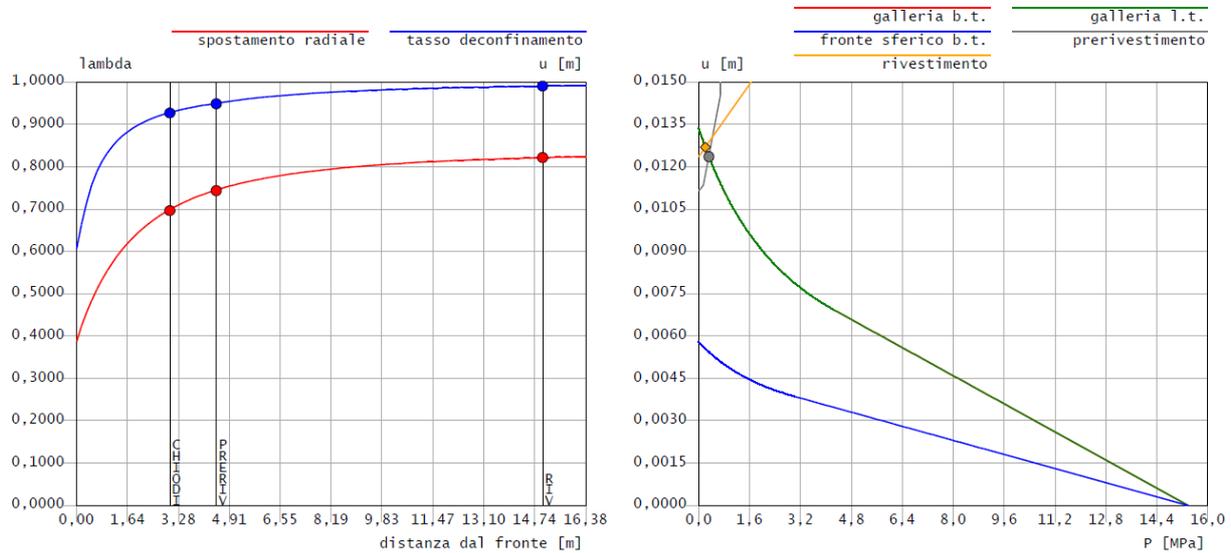


Fig. 86 – Curve caratteristiche della sezione della Camera di manovra (Scavo di ribasso – con chiodi)

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

Fase di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Preconvergenza del fronte di calotta (scavo parzializzato)	0.0	0.609
Simulazione dello sfondo di calotta (scavo parzializzato)	1.5	0.886
Installazione del rivestimento di prima fase (scavo parzializzato)	3.0	0.965
Installazione della bullonatura radiale (scavo parzializzato)	4.5	1.000
Preconvergenza del fronte di calotta (scavo a piena sezione)	0.0	0.574
Simulazione dello sfondo di calotta (scavo a piena sezione)	1.5	0.853
Installazione del rivestimento di prima fase (scavo a piena sezione)	3.0	0.948
Installazione della bullonatura radiale (scavo a piena sezione)	4.5	1.000
Installazione del rivestimento definitivo	15	1.000

Tab. 61 – Camera di manovra, Tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 128 di 243

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 62 e in Tab. 63.

SEZIONE DELLA CAMERA DI MANOVRA – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN200/1.0m
Acciaio centine	S355
Area del profilato	33.4 m ²
Momento resistente del profilato	214 cm ³
Momento di inerzia del profilato	2138 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35718 MPa

Tab. 62 – Camera di manovra, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE DELLA CAMERA DI MANOVRA – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	1.10 m
Spessore di arco rovescio	1.20 m
Spessore di piedritto	Variabile tra 1.10m e 1.50m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 63 – Camera di manovra, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FDM, utilizzando il codice di calcolo FLAC 8.0. Le dimensioni del modello numerico adottato prevedono una mesh 100x80 m, in cui è stata adottata una discretizzazione con una maglia di elementi rettangolari, opportunamente infittita nelle zone di maggiore interesse per poter seguire al meglio le geometrie locali delle strutture oggetto dell'analisi (si vedano Fig. 87 e Fig. 88).

Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli, congruentemente con quanto fatto nelle analisi di Progetto Definitivo. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente distanti dalla galleria,

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 129 di 243

in modo da evitare che le condizioni di vincolo ivi definite interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono stati simulati utilizzando elementi di tipo "liner" con un comportamento di tipo elastico-lineare.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

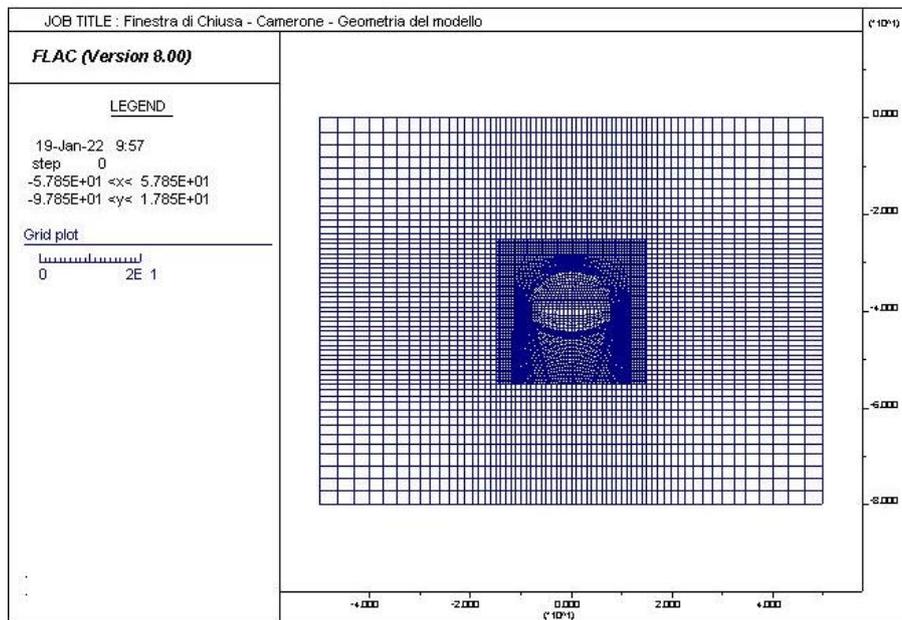


Fig. 87 – Camera di manovra, Geometria del modello

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>130 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	130 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	130 di 243								

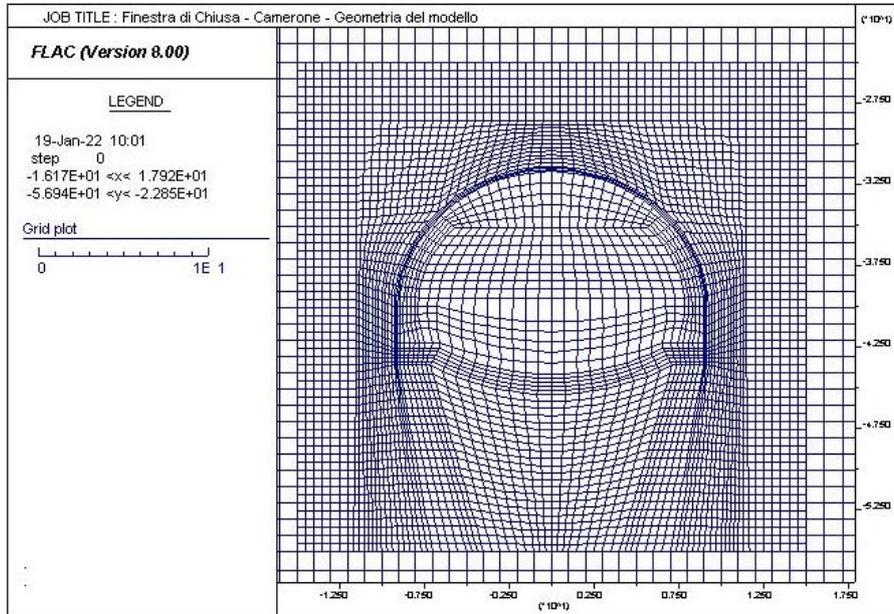


Fig. 88 – Camera di manovra, Dettaglio della suddivisione in zone

Le fasi dell'analisi numerica sono riassunte in Tab. 64.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 131 di 243

FASI DI CALCOLO	
Fase 1	– Costruzione della geometria del modello
Fase 2	– Inizializzazione dello stato tensionale iniziale gravitativo – condizioni k_0 – modello costitutivo elasto-plastico "Mohr-Coulomb"
Fase 3	– Preconvergenza al fronte dello scavo di calotta con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 60.9% ($\lambda=0.609$)
Fase 4	– Simulazione dello sfondo di calotta pari a 1.5 m e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 88.6% ($\lambda=0.886$)
Fase 5	– Attivazione del rivestimento di prima fase in corrispondenza dello scavo di calotta e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 96.4% ($\lambda=0.964$)
Fase 6	– Attivazione della bullonatura radiale in calotta e rilascio totale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 100% ($\lambda=1.000$)
Fase 7	– Preconvergenza al fronte dello scavo a piena sezione con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 57.4% ($\lambda=0.574$)
Fase 8	– Simulazione dello sfondo dello scavo a piena sezione pari a 1.5m con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 85.3% ($\lambda=0.853$)
Fase 9	– Attivazione del rivestimento di prima fase per lo scavo a piena sezione e rilascio dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 94.8% ($\lambda=0.948$)
Fase 10	– Attivazione della bullonatura radiale dello scavo a piena sezione e rilascio totale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 100% ($\lambda=1.000$)
Fase 11	– Installazione del rivestimento definitivo e rilascio totale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 100% ($\lambda=1.000$)

Tab. 64 – Camera di manovra, Fasi di calcolo

Le fasi di calcolo dalla 1 alla 6 consentono di valutare le sollecitazioni del rivestimento di prima fase per lo scavo parzializzato di calotta. Per massimizzazione le sollecitazioni sul rivestimento di prima fase una volta completato anche lo scavo di ribasso, si è scelto di ripartire dalla fase 2 e valutare gli effetti di uno scavo a sezione piena nelle fasi dalla 7 alla 10. La fase 11, invece, consente di massimizzare le sollecitazioni del rivestimento definitivo ed è successiva alla fase 8 dell'analisi. La definizione delle sollecitazioni agenti sul rivestimento è ottenuta nel modo precedentemente descritto poiché la distanza fronte-rivestimento della camera di manovra non è vincolata.

Gli output di calcolo dell'analisi numerica condotta sono riportati in allegato. Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sole sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase (da Fig. 89 a Fig. 100) e definitivi (Fig. 101, Fig. 102 e Fig. 103).

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	132 di 243

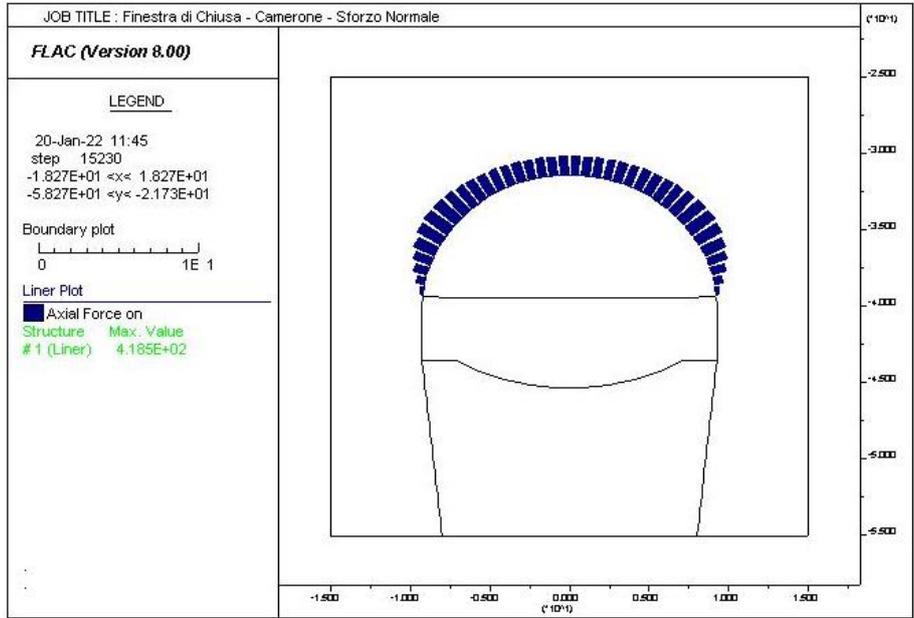


Fig. 89 – Camera di manovra, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 5)

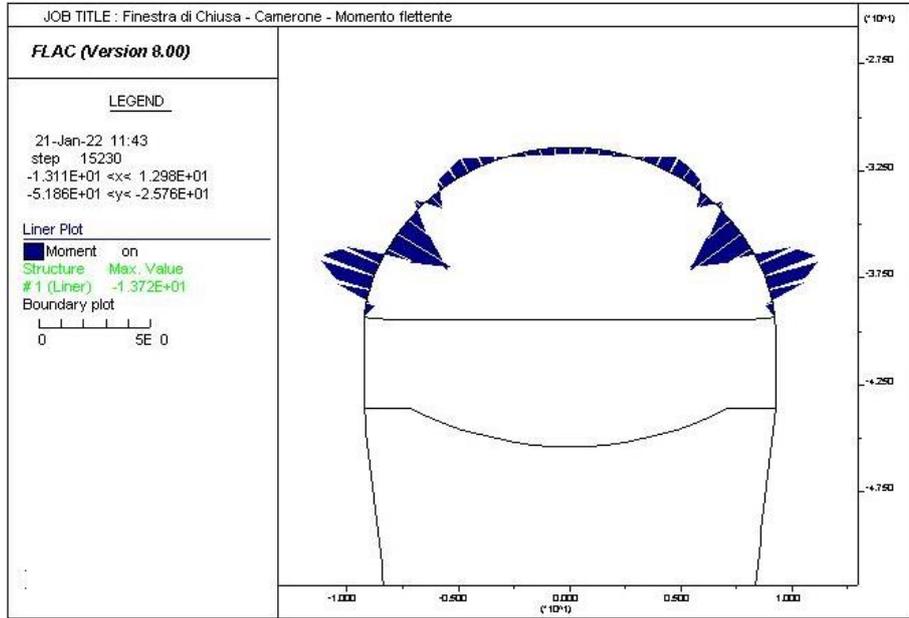


Fig. 90 – Camera di manovra, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 5)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 133 di 243

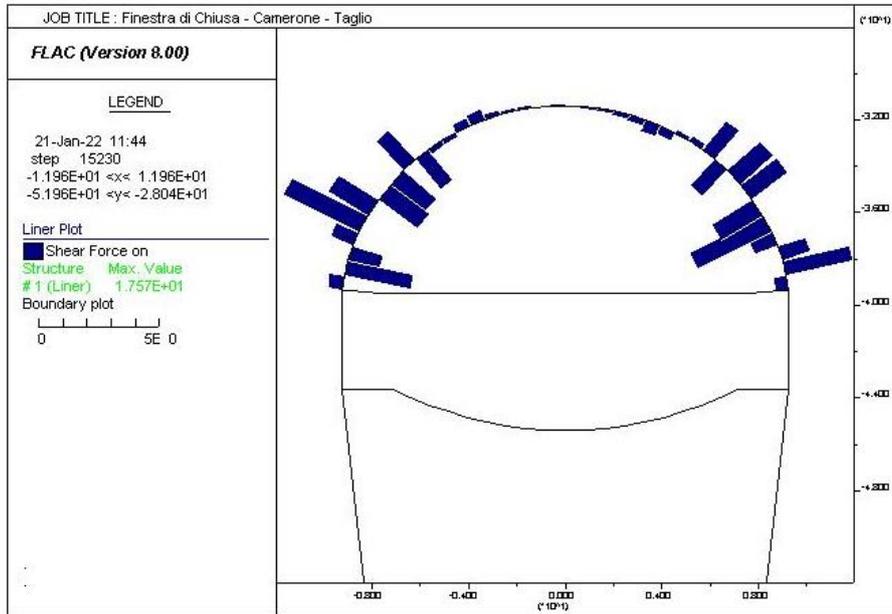


Fig. 91 – Camera di manovra, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 5)

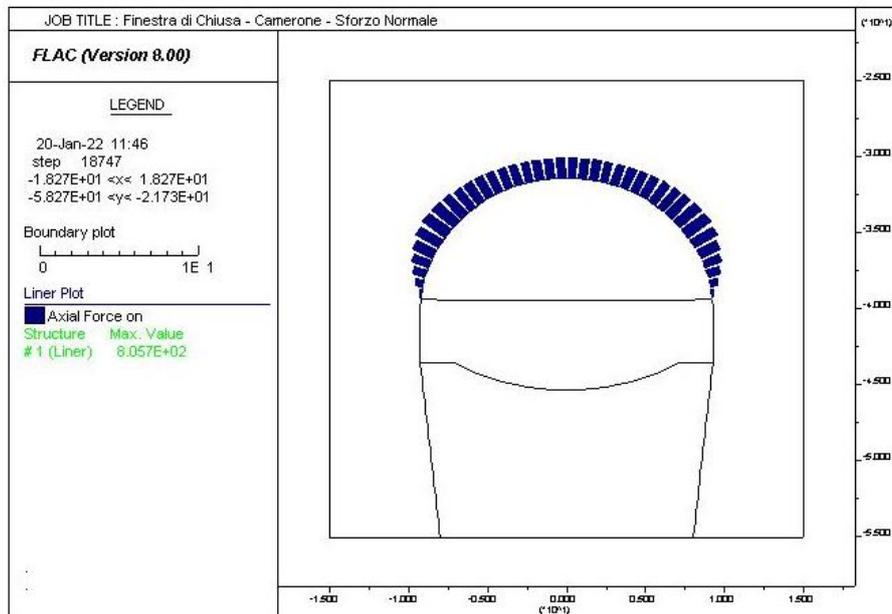


Fig. 92 – Camera di manovra, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 6)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 134 di 243

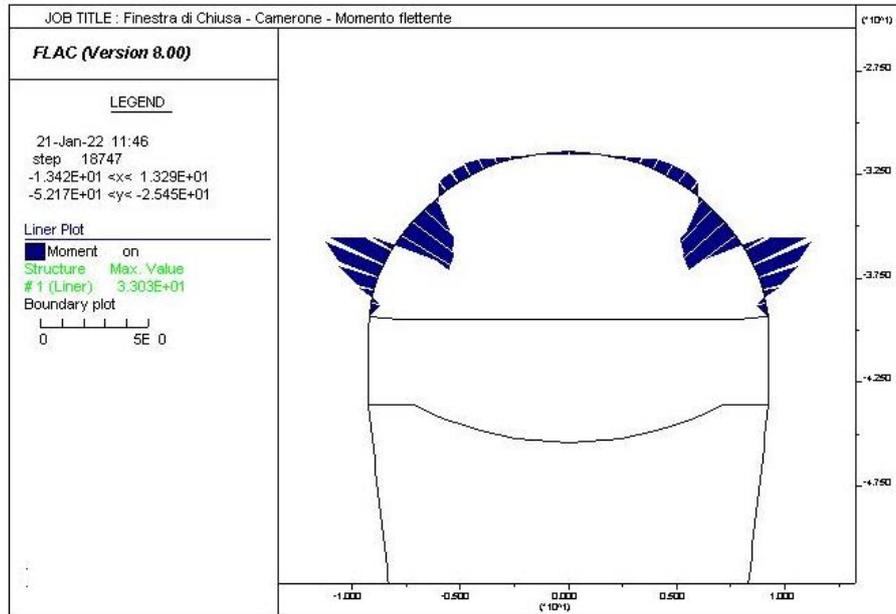


Fig. 93 – Camera di manovra, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 6)

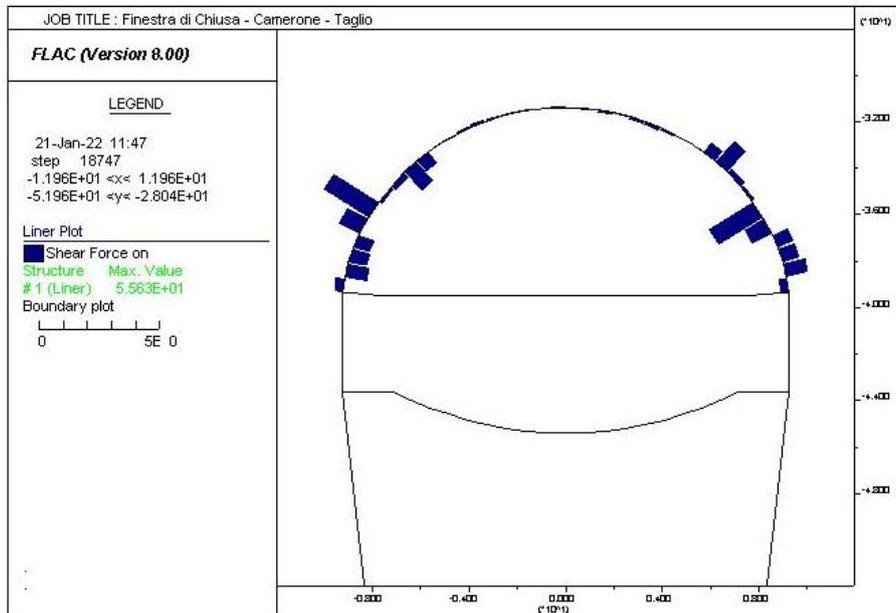


Fig. 94 – Camera di manovra, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 6)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	135 di 243

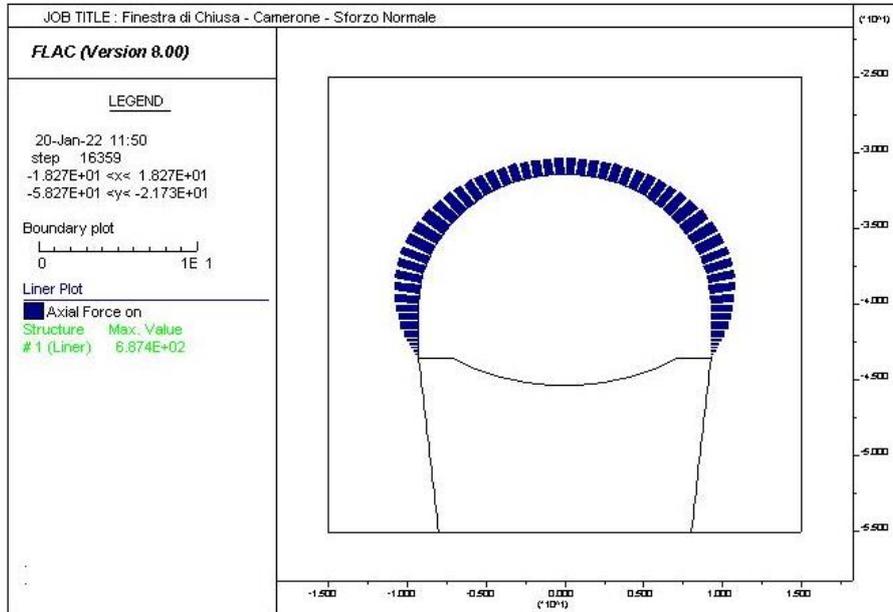


Fig. 95 – Camera di manovra, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase 9)

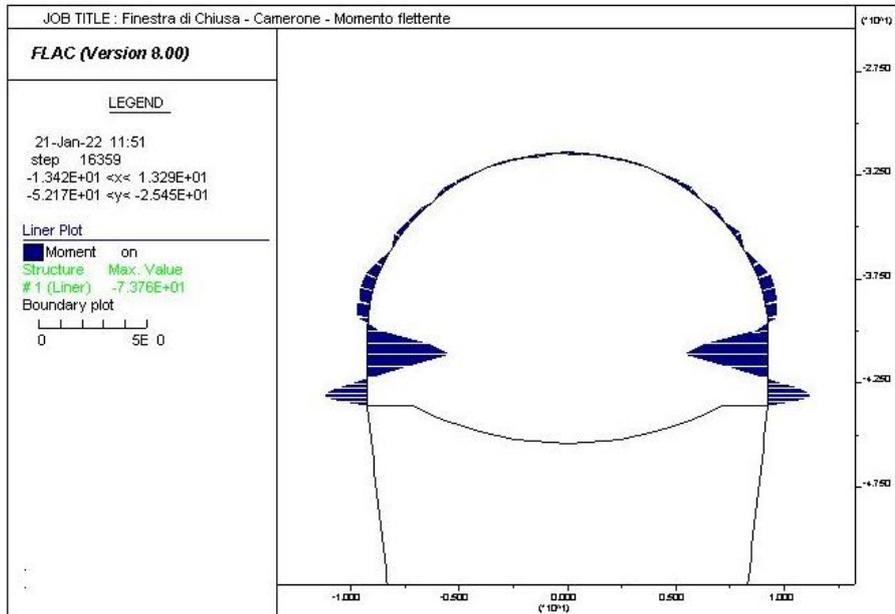


Fig. 96 – Camera di manovra, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 9)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandatari: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>136 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	136 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	136 di 243								

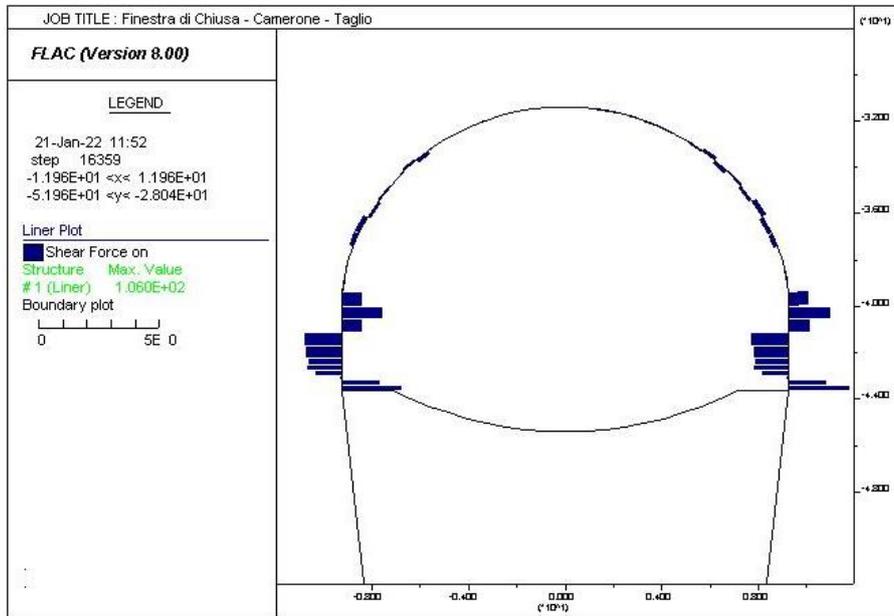


Fig. 97 – Camera di manovra, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 9)

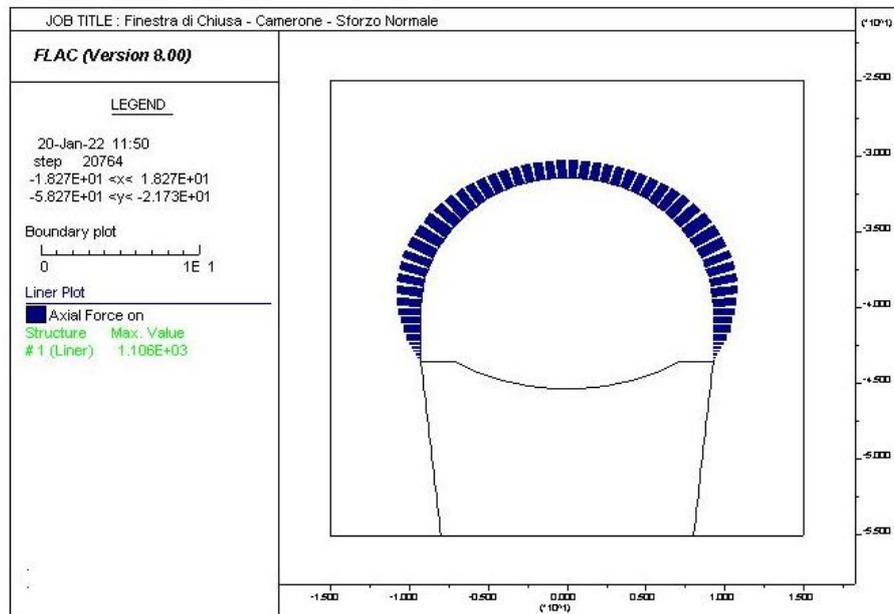


Fig. 98 – Camera di manovra, Sforzo normale del rivestimento di prima fase (fase10)

APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	137 di 243

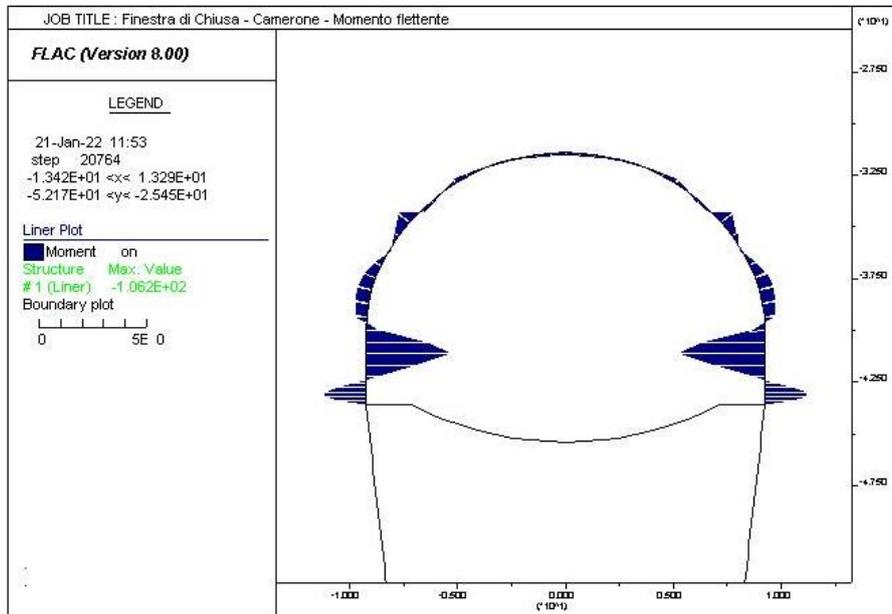


Fig. 99 – Camera di manovra, Momento flettente del rivestimento di prima fase (fase 10)

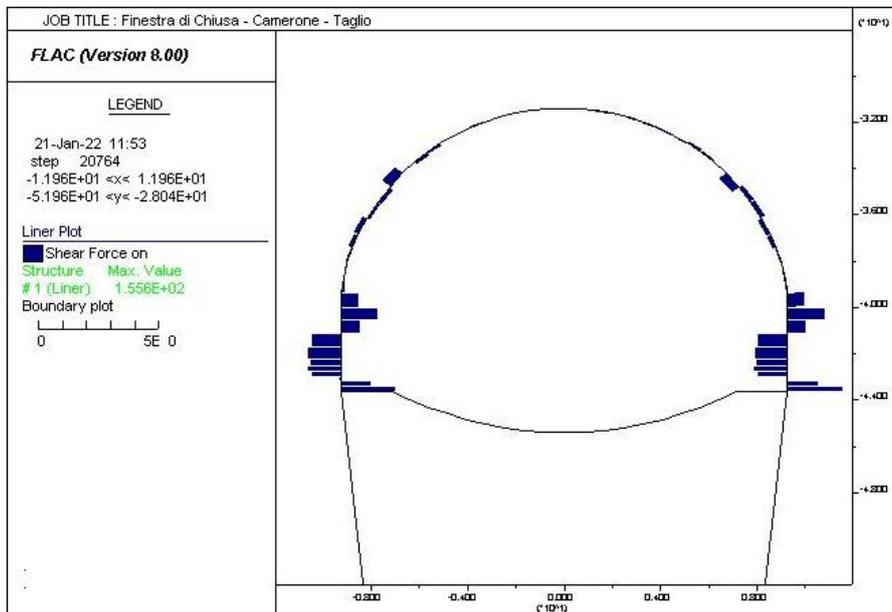


Fig. 100 – Camera di manovra, Taglio del rivestimento di prima fase (fase 10)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>138 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	138 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	138 di 243								

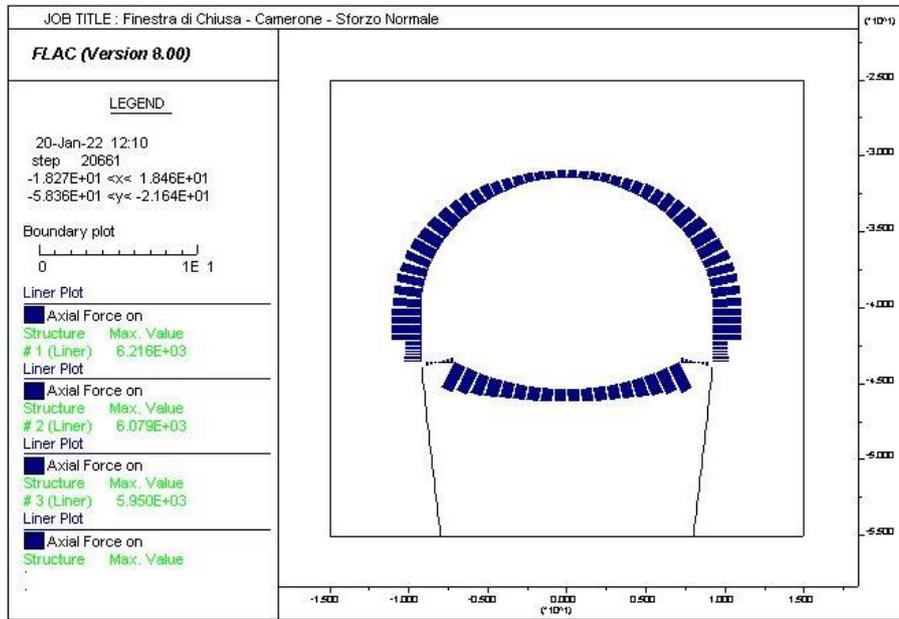


Fig. 101 – Camera di manovra, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 11)

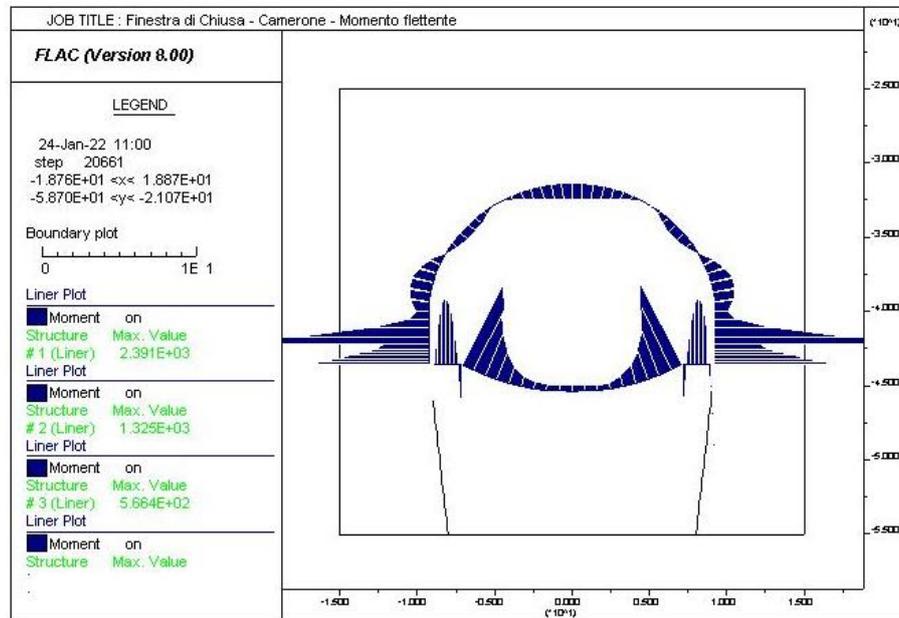


Fig. 102 – Camera di manovra, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 11)

APPALTATORE: webuild  	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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 139 di 243

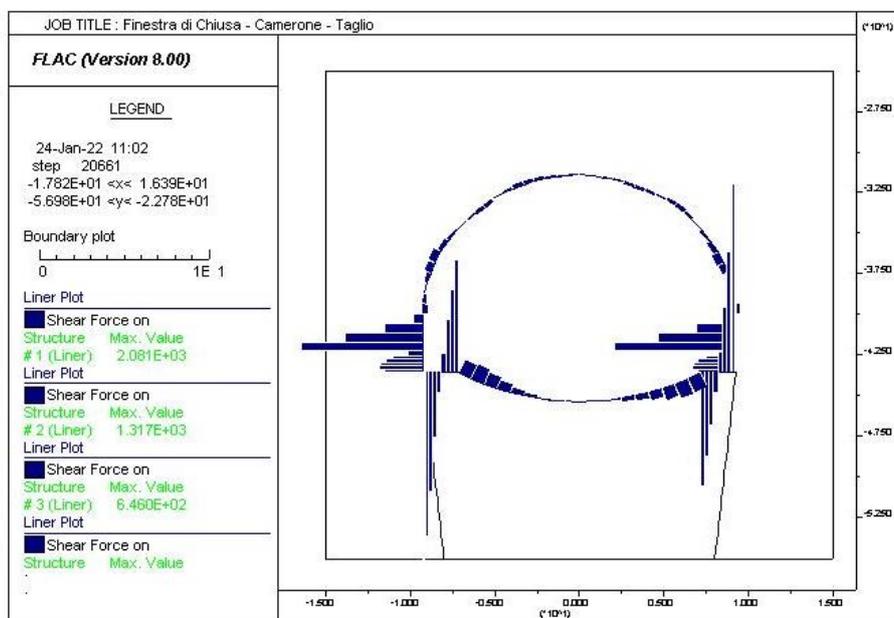


Fig. 103 – Camera di manovra, Taglio del rivestimento definitivo (fase 11)

10.3.11 Galleria tecnologica - (GN05.J)

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.9.

10.3.11.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
GN05.J	4.65	585	15.8	27	1879	30.9	17056

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

Tab. 65 – Sezione GN05.J, Parametri per la verifica di stabilità del fronte

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 140 di 243

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 2.1	Criterio 2.2
GN05.J	5.3	0.12	5.76	1.24	A	B

Tab. 66 – Sezione GN05.J, Verifica di stabilità del fronte

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.

10.3.11.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tale curva è stata calcolata con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16.Tab. 16

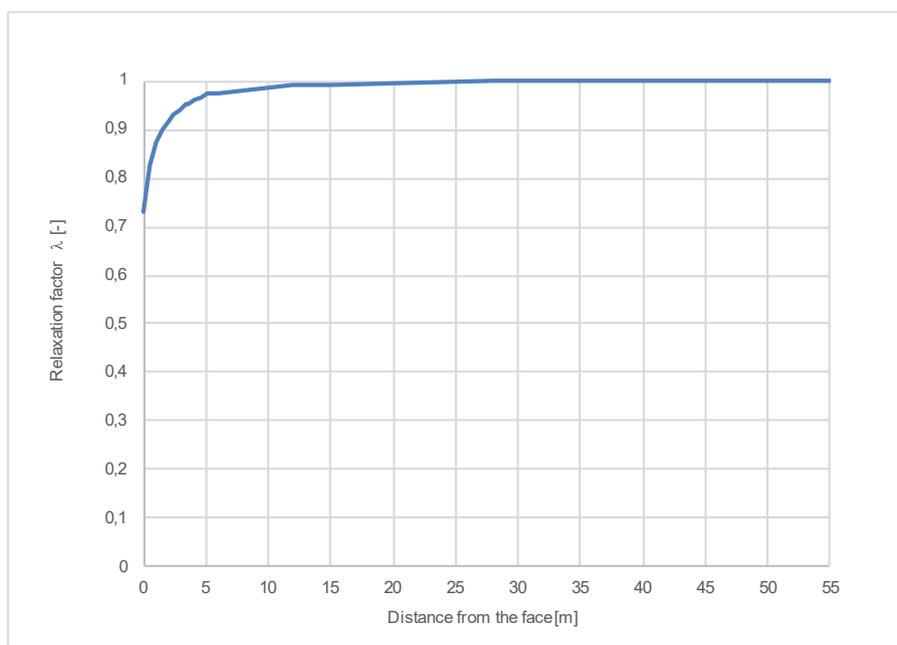


Fig. 104 – Curva caratteristica della sezione tipo GN05.J

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate rispettivamente in Tab. 62 e in Tab. 63.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 141 di 243

SEZIONE J – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.25 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN180/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	27.9 m ²
Modulo di resistenza del profilato	161 cm ³
Momento di inerzia del profilato	1450 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35465 MPa

Tab. 67 – Sezione GN05.J, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

SEZIONE J – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore di calotta	0.70 m
Spessore di arco rovescio	0.70 m
Spessore di piedritto	0.70 m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 68 – Sezione GN05.J, Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FEM, utilizzando il codice di calcolo PLAXIS V22.

Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo per incrementare la precisione dei risultati nella zona in prossimità della galleria. Nella figura di seguito viene mostrata la mesh di calcolo adottata nel modello, con focus successivo sulla zona interessata dalle opere. La distanza tra il punto di colmo della calotta e il piano campagna considerata nel modello numerico è pari a 85 m. Essendo la copertura della sezione in oggetto pari a 585m, si tiene conto dei restanti 500m attraverso una striscia di spessore pari a 1m di materiale elastico dotato del modulo di Young dei BSSa e peso di volume pari a 13500 kN/m³, posta sul bordo superiore del modello. Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:	PROGETTO ESECUTIVO													
Mandataria:	Mandanti:	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>142 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	142 di 243
COMMESSA	LOTTO		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	142 di 243									
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST													
08 - GALLERIE														
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo														

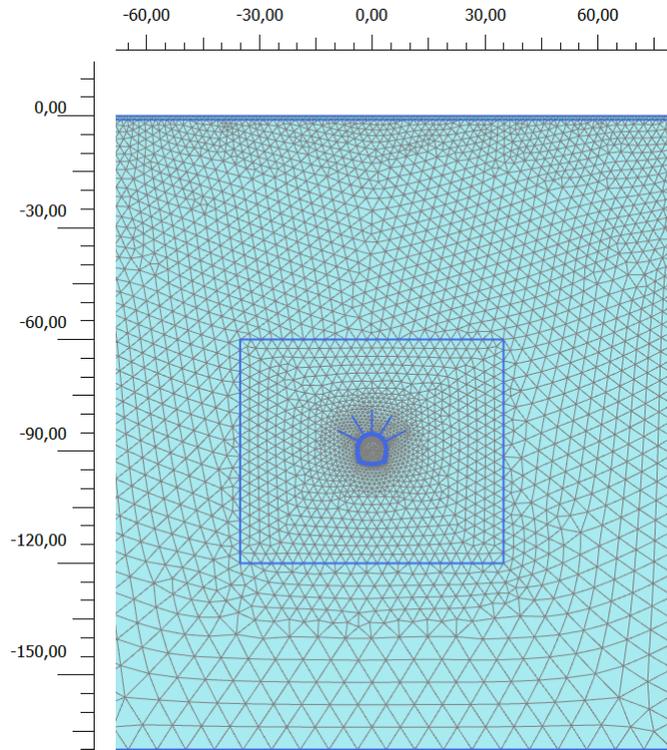


Fig. 105 – Sezione GN05.J, Geometria del modello

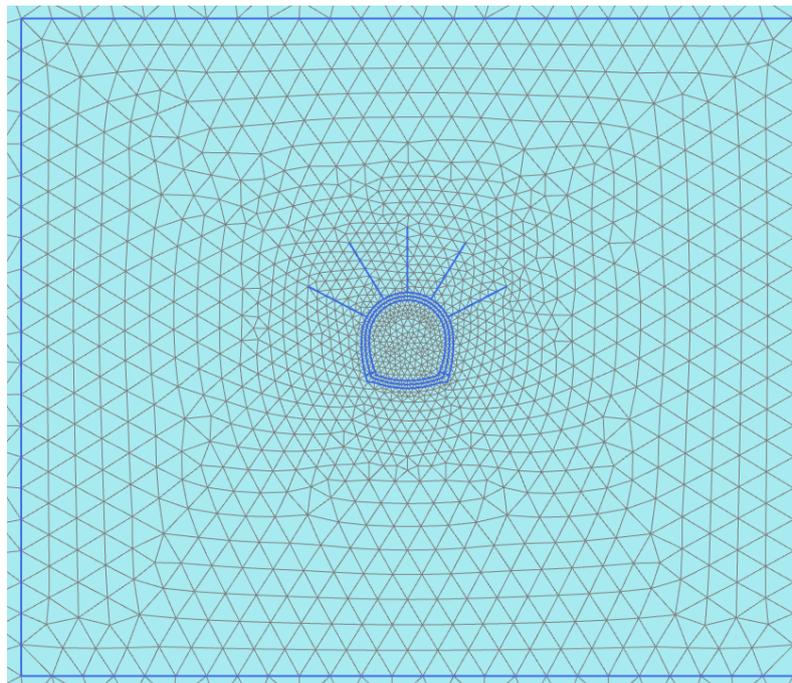


Fig. 106 – Sezione GN05.J, Particolare infittimento mesh in prossimità del tunnel

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 143 di 243

La tabella seguente riassume le diverse fasi dell'analisi numerica e i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per la sezione in esame:

Fase	Sezione GN05J - Fasi di calcolo	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Fase iniziale	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale litostatico – Condizioni k_0 – Modello costitutivo elasto plastico "Mohr Coulomb"	-	-
Fase 1	Fase Nil	-	-
Fase 2	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo	0.0	0.731
Fase 3	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale	2.4	0.933
Fase 4	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale	2.9	0.939
Fase 5	Attivazione dei bulloni Swellex e ulteriore rilascio tensionale	3.6	0.953
Fase 6	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale	Svincolato	1.000
Fase 7	Simulazione del lungo termine con innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, disattivazione dei consolidamenti radiali e del rivestimento di prima fase	-	1.000

Tab. 69 – Sezione GN05.J, Fasi di calcolo e tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le fasi di calcolo sono tutte sequenziali, e verrà precisato in seguito attraverso la rappresentazione degli output a quali di esse si farà riferimento per la verifica degli interventi previsti.

La fase di lungo termine vede l'innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, con disattivazione del rivestimento provvisorio e dei bulloni radiali.

Il rivestimento di prima fase è stato modellato attraverso l'utilizzo di elementi *plate* posizionati all'estradosso del rivestimento definitivo, che viene invece modellato con elementi di volume assegnando un legame costitutivo elastico-lineare. Per ottenere le sollecitazioni su questi ultimi, sono introdotti nel modello degli elementi *plate* in linea d'asse ai rivestimenti caratterizzati da rigidità infinitesima (rigidezze degli elementi *plate* divise per un fattore di scala $F=10^6$). A causa della loro bassa rigidità essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all'interno dell'elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output saranno poi moltiplicate per lo stesso fattore di scala F per ottenere le sollecitazioni di verifica strutturale.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 144 di 243

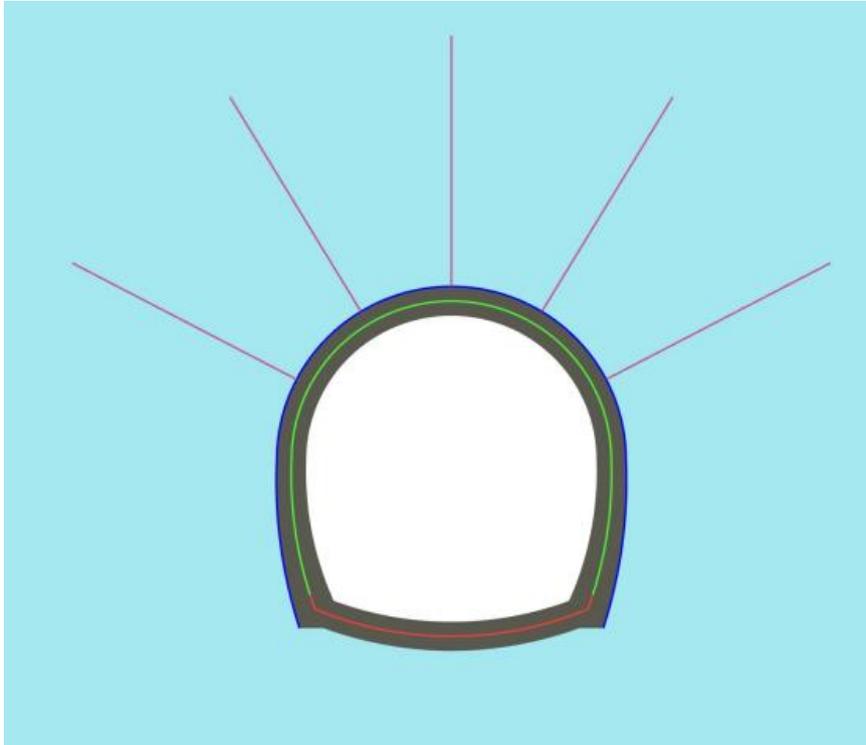


Fig. 107 – Sezione GN05.J, Geometria del rivestimento definitivo con plate ghost element in mezzera e plate di rivestimento provvisorio all'estradosso

Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e definitivi che verranno utilizzate in fase di verifica.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 145 di 243

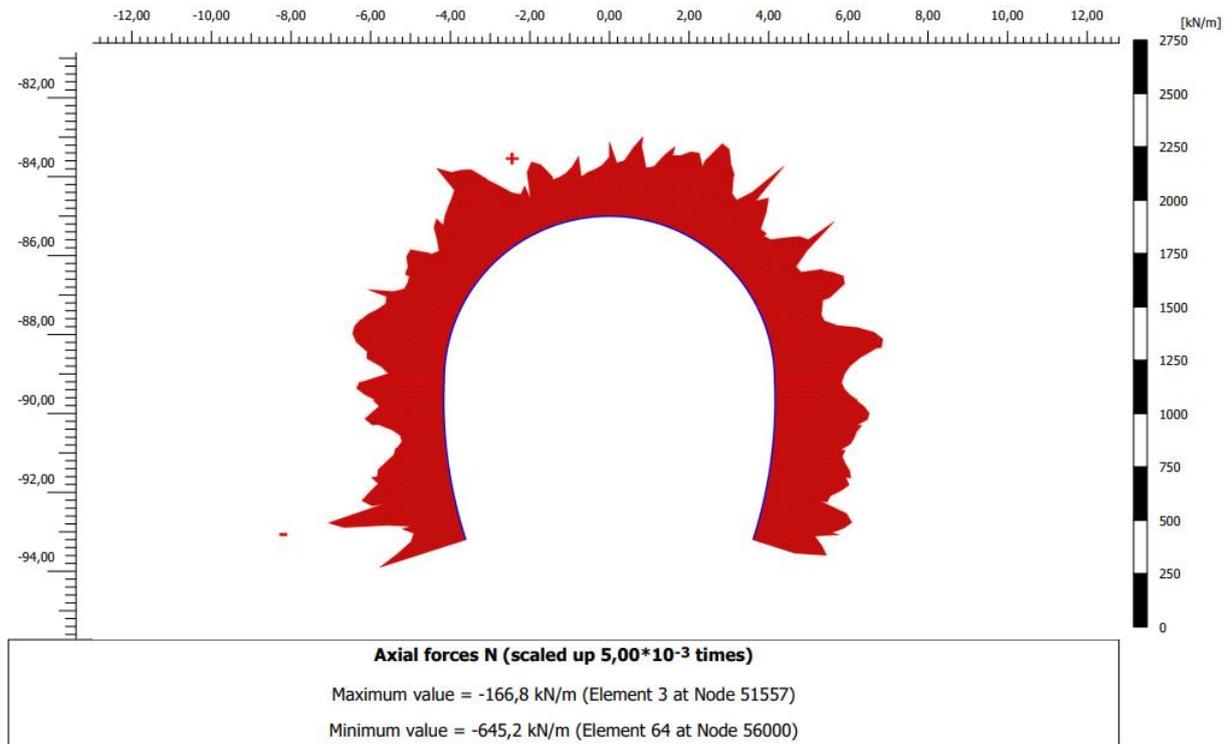


Fig. 108 – Sezione GN05.J, Sforzo normale del rivestimento provvisorio (fase 5)

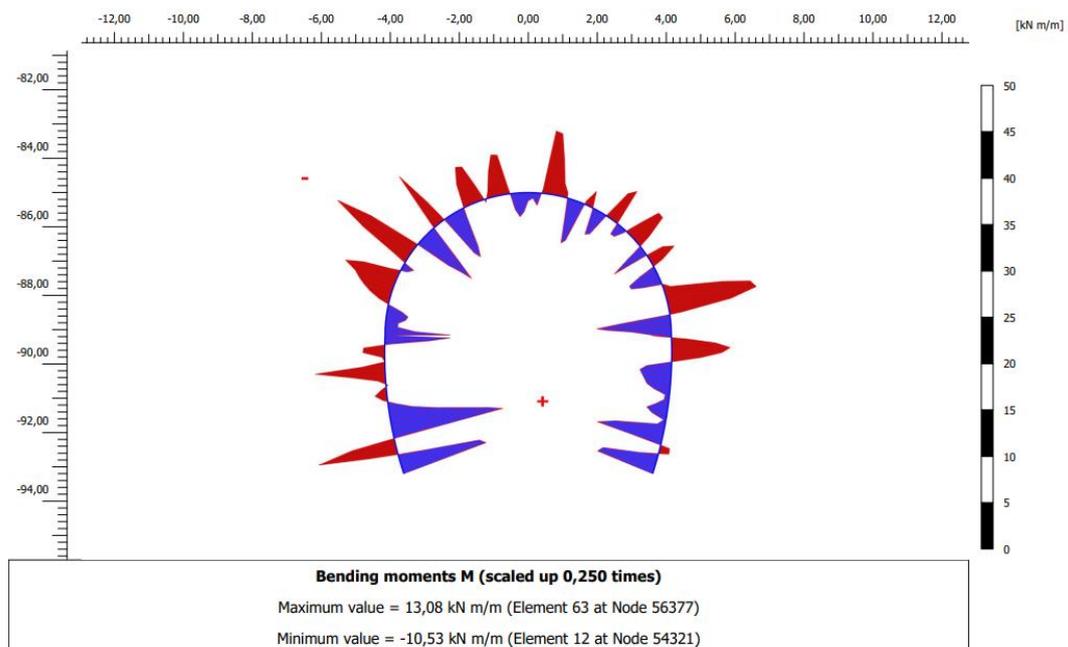


Fig. 109 – Sezione GN05.J, Momento flettente del rivestimento provvisorio (fase 5)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 146 di 243

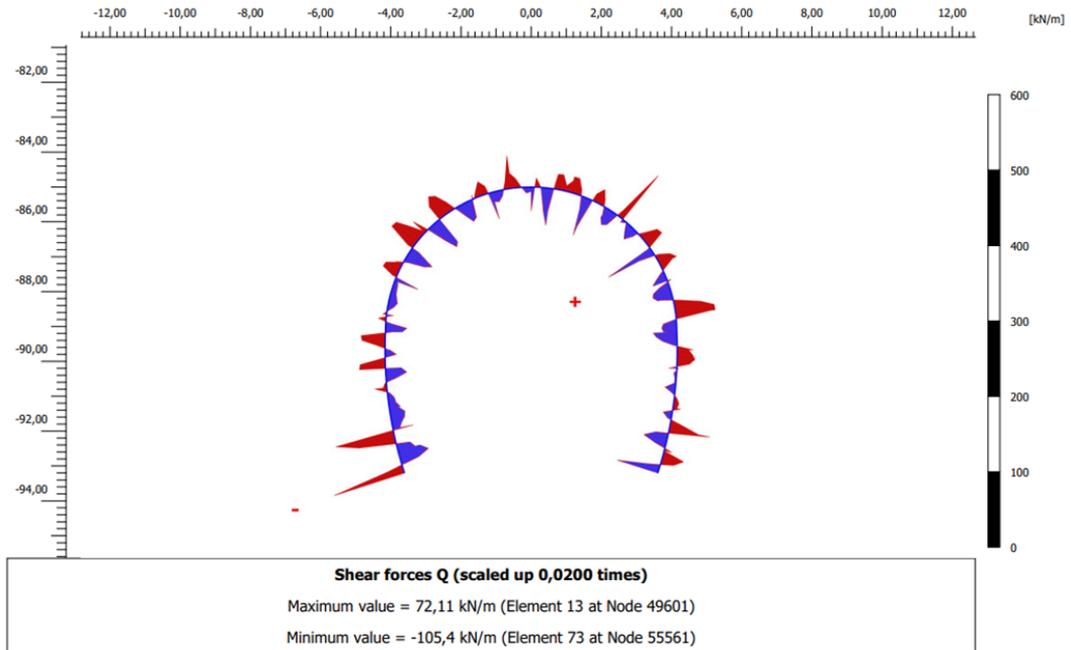


Fig. 110 – Sezione GN05.J, Taglio del rivestimento provvisorio (fase 5)

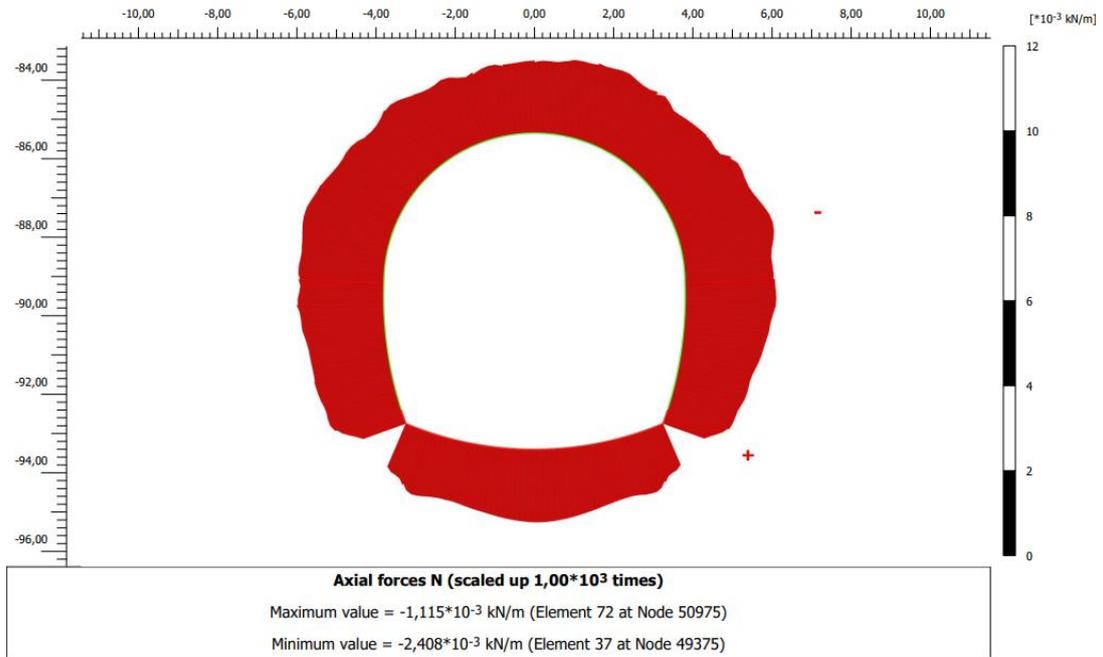


Fig. 111 – Sezione GN05.J, Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 7 – Lungo termine)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 147 di 243

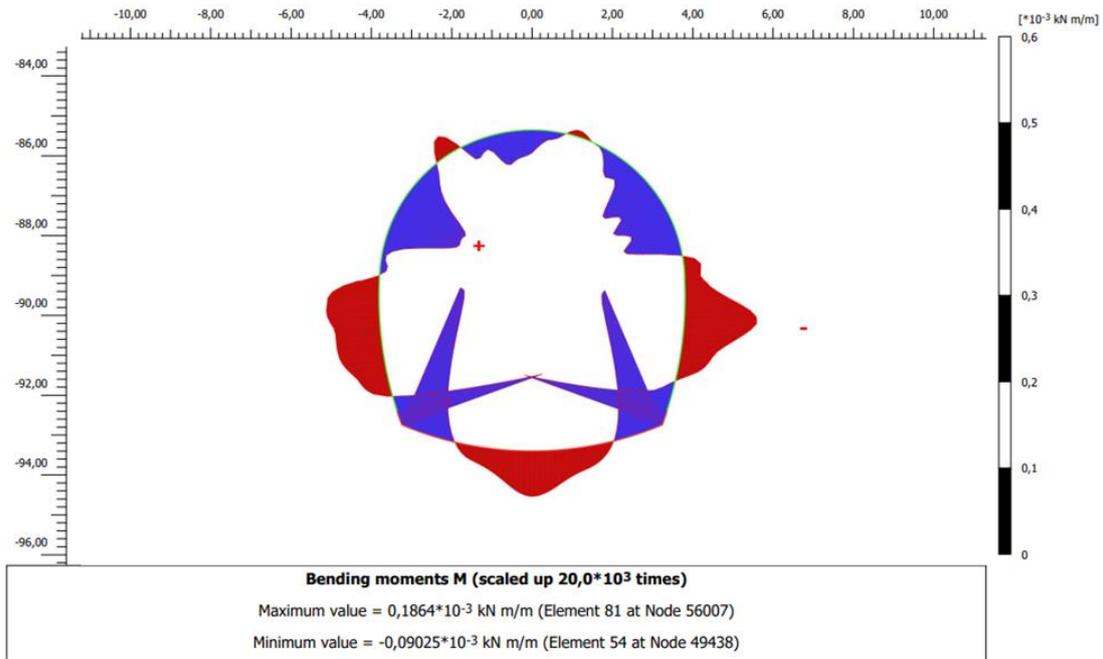


Fig. 112 – Sezione GN05.J, Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 7 – Lungo termine)

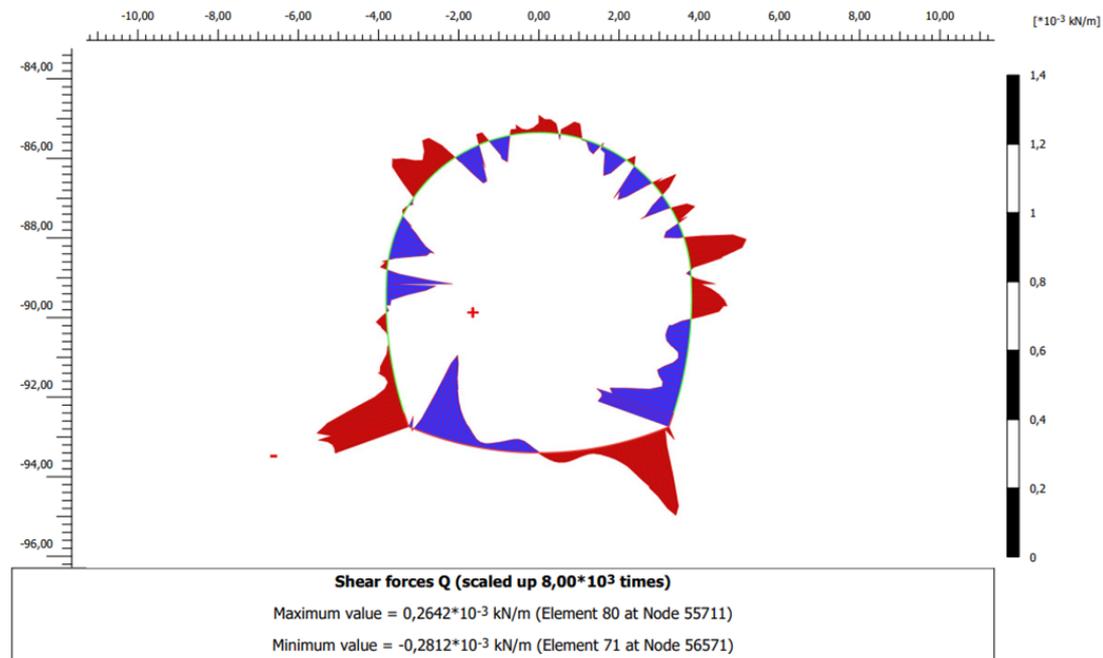


Fig. 113 – Sezione GN05.J, Taglio del rivestimento definitivo (fase 7 – Lungo termine)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>148 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	148 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	148 di 243								

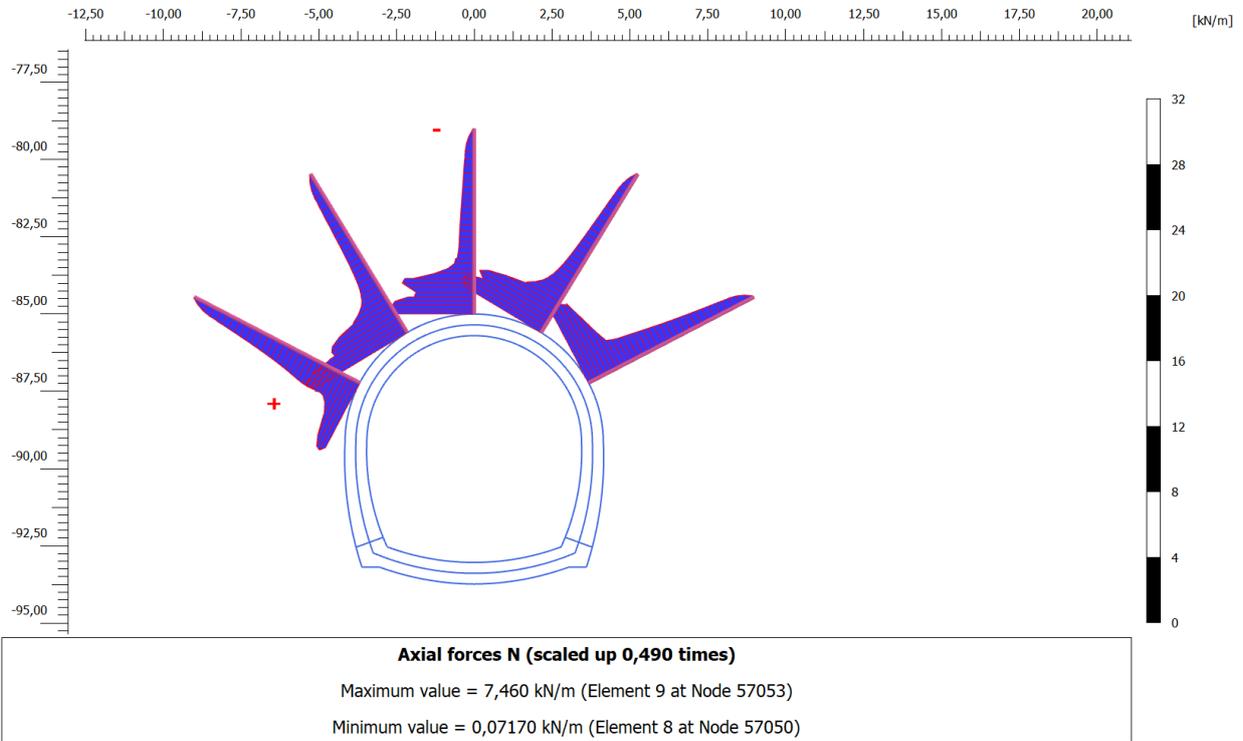


Fig. 114 – Sezione GN05.J, Sforzo assiale nei bulloni Swellex (fase 6 – Installazione del rivestimento definitivo)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 149 di 243

10.3.12 Galleria di innesto - (GN05.C)

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.10

10.3.12.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
Galleria di innesto	6.4	575	15.52	27	1879	31.1	17056

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

Tab. 70 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Parametri per la verifica di stabilità del 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.

Sezione di analisi	u_F [mm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	Criterio 2.1	Criterio 2.2
GN05.C	7.3	0.11	7.98	1.24	A	B

Tab. 71 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Verifica di stabilità del fronte

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: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 150 di 243

10.3.12.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tale curva è stata calcolata con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16.

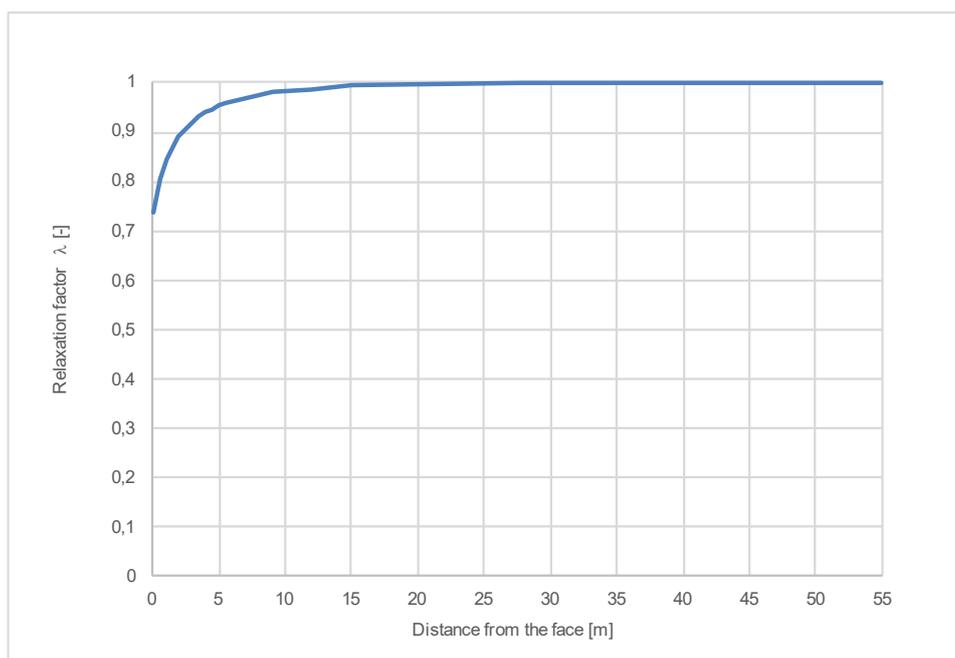


Fig. 115 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Curva caratteristica della sezione

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate nelle seguenti tabelle.

SEZIONE galleria di innesto (GN05.C) – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.30 m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	HEB180/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	65.3 cm ²
Modulo di resistenza del profilato	425.7 cm ³
Momento di inerzia del profilato	3830 cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35820 MPa

Tab. 72 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 151 di 243

SEZIONE galleria di innesto (GN05.C)– CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore calotta	0.90 m
Spessore arco rovescio	1 m
Spessore muretta	1.4 m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 73 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FEM, utilizzando il codice di calcolo PLAXIS V22.

Trovandosi in adiacenza alla galleria di by-pass di collegamento, il modello vede la presenza di entrambe le canne; dunque, verrà utilizzato di seguito per eseguire le analisi anche per la sezione di by-pass di collegamento (GN05.M).

Il reticolo è stato infittito opportunamente nella zona dello scavo per incrementare la precisione dei risultati nella zona in prossimità della galleria. Nella figura successiva viene mostrata la mesh di calcolo adottata nel modello, con focus successivo sulla zona interessata dalle opere. La distanza tra il punto di colmo della calotta e il piano campagna considerata nel modello numerico è pari a 80 m. Essendo la copertura della sezione in oggetto pari a 575m, si tiene conto dei restanti 495m attraverso una striscia di spessore pari a 1m di materiale elastico dotato del modulo di Young dei BSSa e peso di volume pari a 13392 kN/m³, posta sul bordo superiore del modello. Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb" secondo quanto riportato al §10.3.2.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 152 di 243

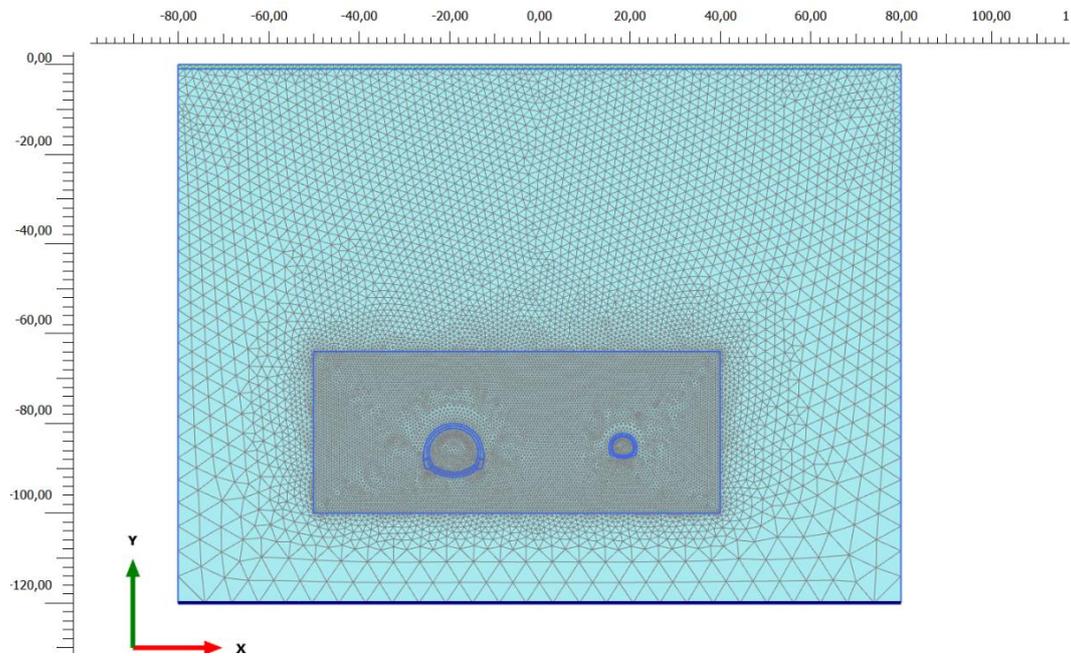


Fig. 116 – Geometria del modello con galleria di innesto (GN05.C) a sinistra e by-pass di collegamento (GN05.M) a destra

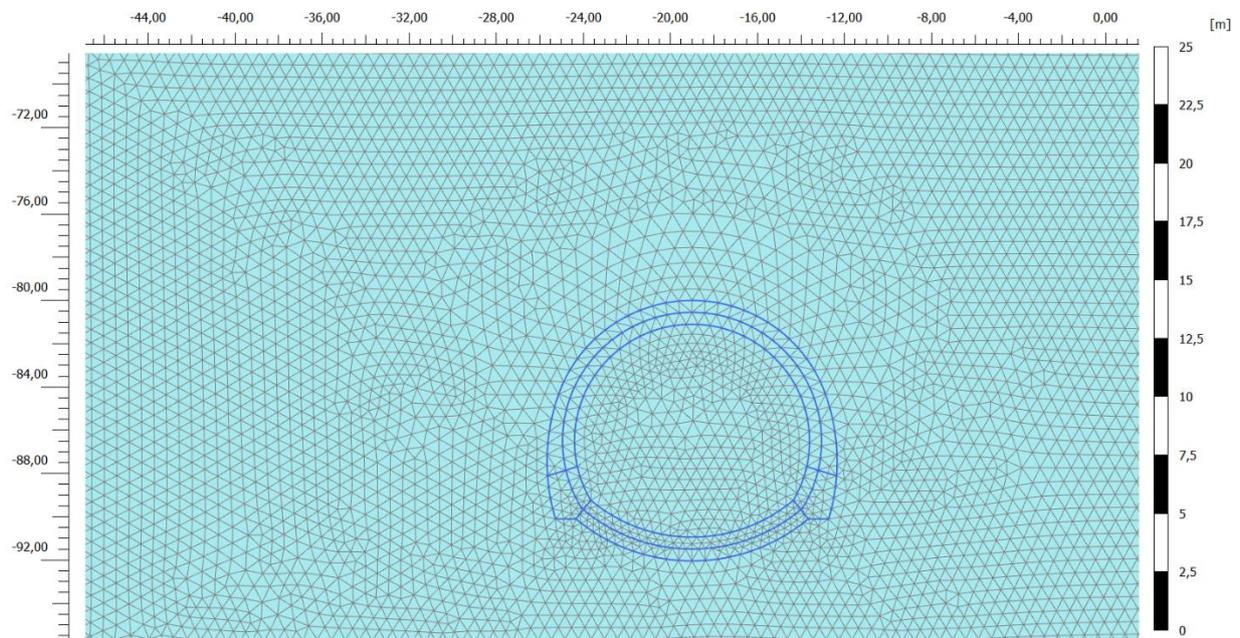


Fig. 117 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Particolare infittimento mesh in prossimità del tunnel

La tabella seguente riassume le diverse fasi dell'analisi numerica e i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per le sezioni in esame:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 153 di 243

Fase	Sezione galleria di innesto (GN05.C)- Fasi di calcolo	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Fase iniziale	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale litostatico – Condizioni k_0 – Modello costitutivo elasto plastico “Mohr Coulomb”	-	-
Fase 1	Fase Nil	-	-
Fase 2	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo – tunnel sinistro (galleria di innesto)	0.0	0.738
Fase 3	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale – tunnel sinistro (galleria di innesto)	1.0	0.845
Fase 4	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale - tunnel sinistro (galleria di innesto)	1.5	0.872
Fase 5	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo – tunnel destro (by -pass di collegamento)	0.0	0.711
Fase 6	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale – tunnel destro (by -pass di collegamento)	1.0	0.892
Fase 7	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale - tunnel destro (by -pass di collegamento)	1.5	0.926
Fase 8	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale - tunnel sinistro (galleria di innesto)	Svincolato	1.000
Fase 9	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale - tunnel destra (by-pass di collegamento)	Svincolato	1.000
Fase 10	Simulazione del lungo termine con innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, disattivazione dei consolidamenti radiali e del rivestimento di prima fase	-	1.000

Tab. 74 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Fasi di calcolo e tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le fasi di calcolo sono tutte sequenziali, e verrà precisato in seguito attraverso la rappresentazione degli output a quali di esse si farà riferimento per la verifica degli interventi previsti.

La fase di lungo termine vede l’innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, con disattivazione del rivestimento provvisorio.

Il rivestimento di prima fase è stato modellato attraverso l’utilizzo di elementi *plate* posizionati all’estradosso del rivestimento definitivo, che viene invece modellato con elementi di volume assegnando un legame costitutivo elastico-lineare. Per ottenere le sollecitazioni su questi ultimi, sono introdotti nel modello degli elementi *plate* in linea d’asse ai rivestimenti caratterizzati da rigidità infinitesima (rigidezze degli elementi

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 154 di 243

plate divise per un fattore di scala $F=10^6$). A causa della loro bassa rigidezza essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all'interno dell'elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output saranno poi moltiplicate per lo stesso fattore di scala F per ottenere le sollecitazioni di verifica strutturale.

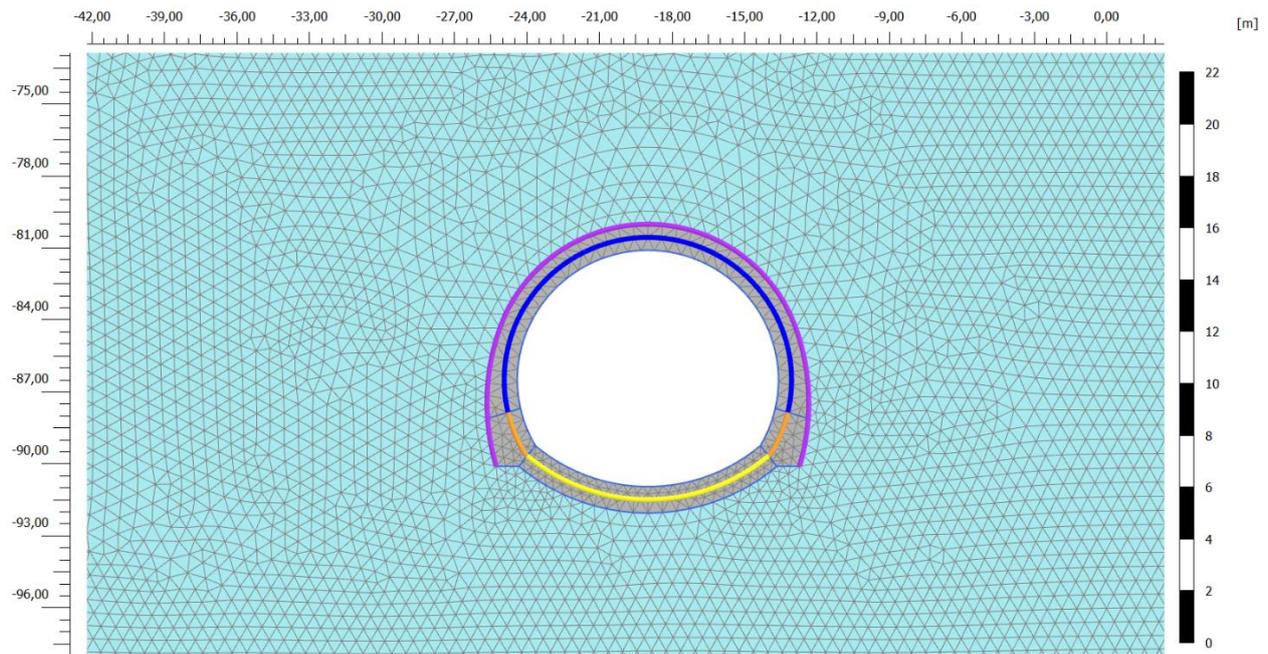


Fig. 118 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Geometria del rivestimento definitivo con plate ghost element in mezzeria e plate di rivestimento provvisorio all'estradosso

Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e definitivi che verranno utilizzate in fase di verifica.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 155 di 243

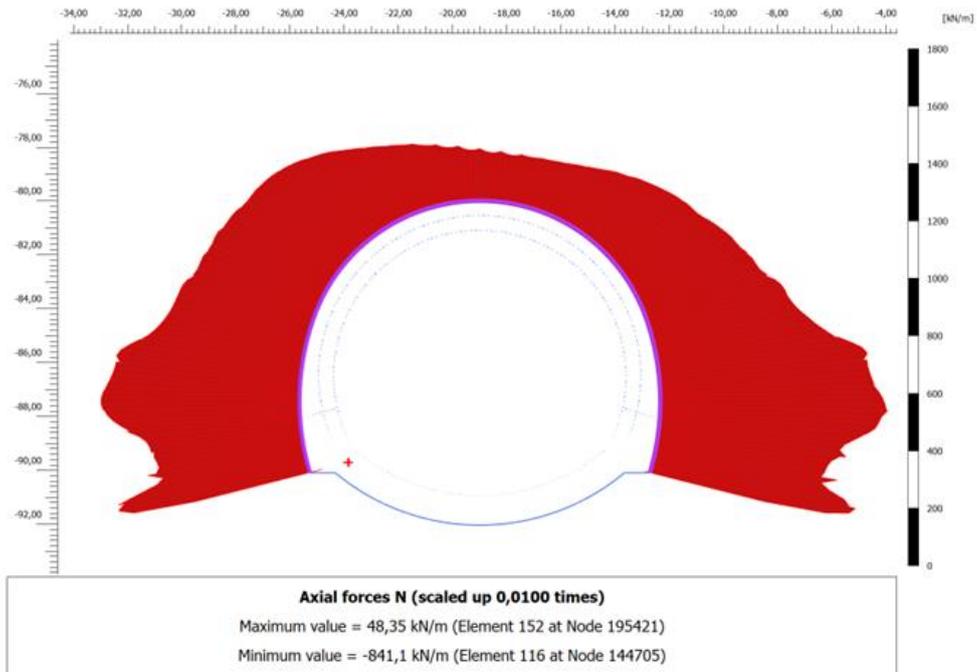


Fig. 119 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Sforzo normale del rivestimento provvisorio (fase 7)

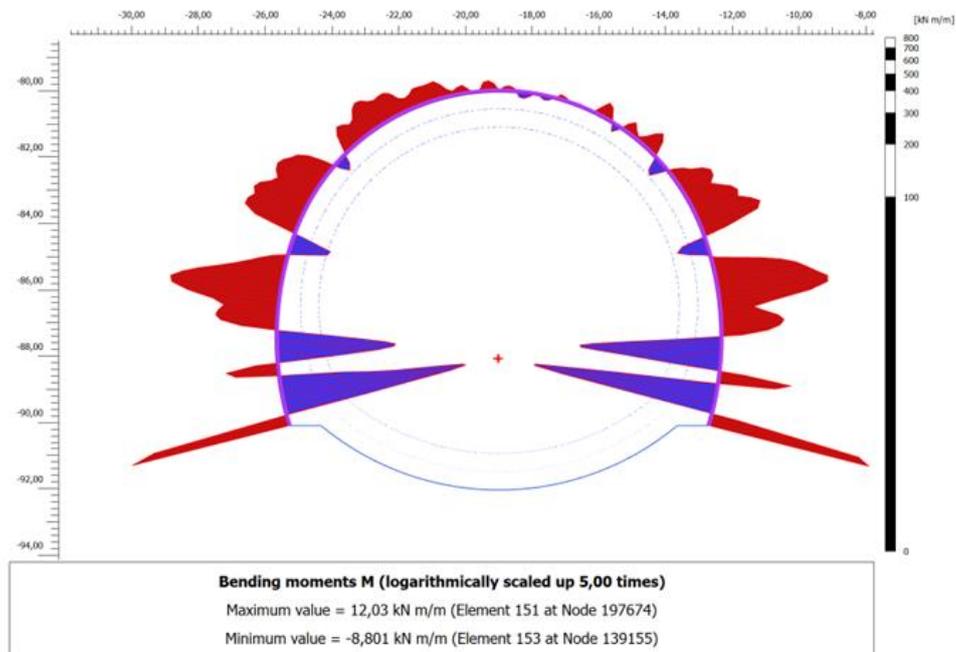


Fig. 120 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Momento flettente del rivestimento provvisorio (fase 7)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 156 di 243

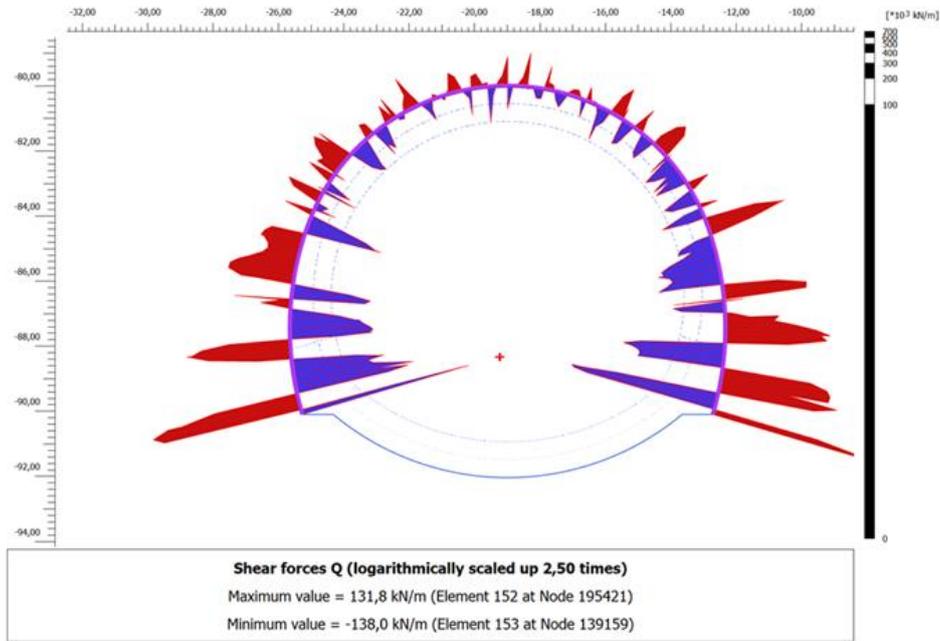


Fig. 121 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Taglio del rivestimento provvisorio (fase 7)

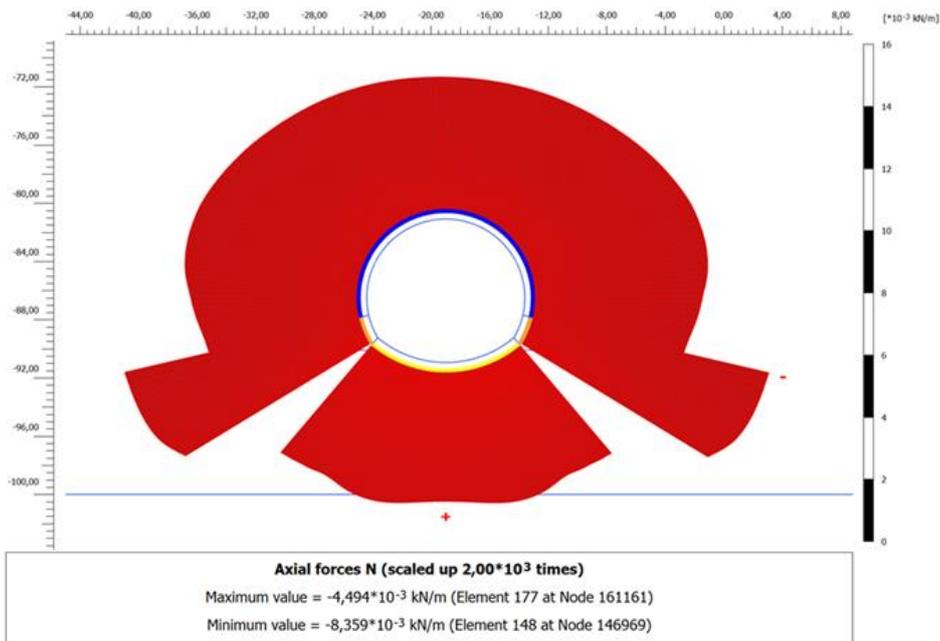


Fig. 122 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 157 di 243

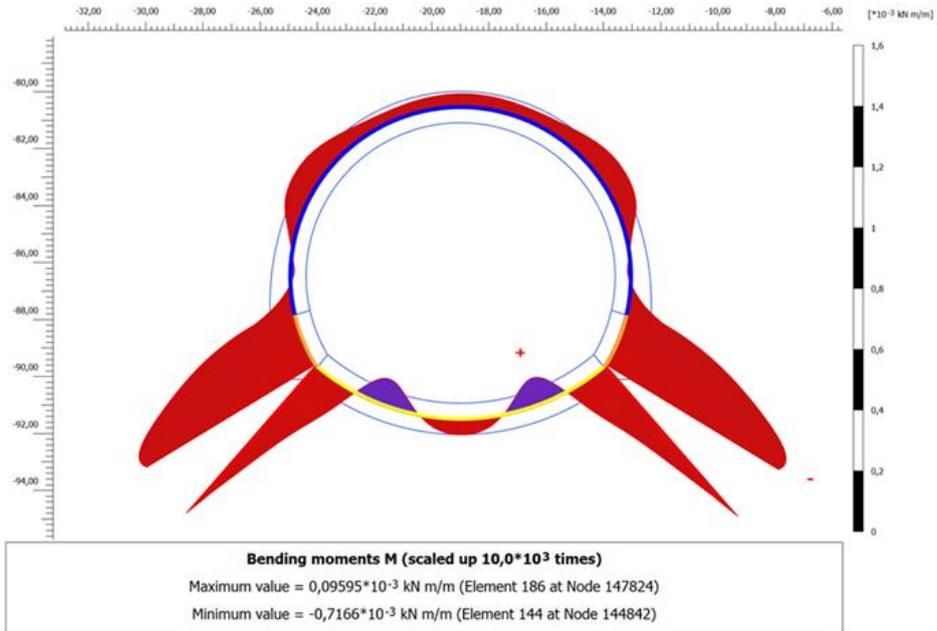


Fig. 123 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

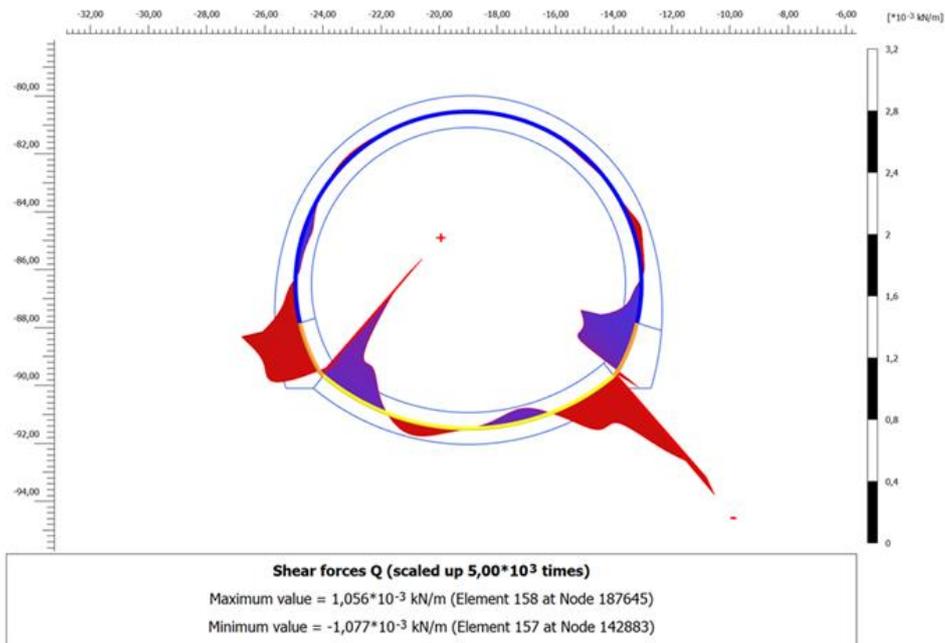


Fig. 124 – Sezione galleria di innesto (GN05.C), Taglio del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 158 di 243

10.3.13 By-pass di collegamento - (GN05.M)

Per la definizione della sezione di analisi si rimanda al §10.1.11.

10.3.13.1. Stabilità del fronte

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

Sezione	R_{eq} [m]	H [m]	S_m [MPa]	γ [kN/m ³]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	E_d [MPa]
By-pass di collegamento	2.98	575	13.39	27	1893	30.9	17056

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

Tab. 75 – Sezione by-pass (GN05.M), Parametri per la verifica di stabilità del 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.

Sezione di analisi	u_F [mm]	u_F/R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF}/R_{eq} [-]	Criterio 2.1	Criterio 2.2
GN05.M	3.3	0.11	3.70	1.24	A	B

Tab. 76 – Sezione by-pass (GN05.M), Verifica di stabilità del fronte

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: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 159 di 243

10.3.13.2. Interazione opera – terreno

Dall'analisi delle curve caratteristiche è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tale curva è stata calcolata con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tab. 16.

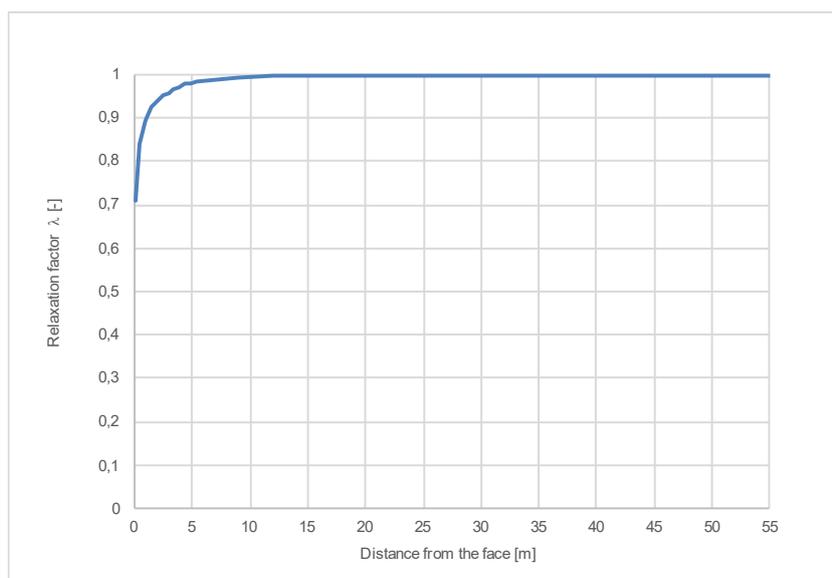


Fig. 125 – Curva caratteristica della sezione della galleria di by-pass

Le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase e definitivo sono riportate nelle seguenti tabelle.

SEZIONE by-pass di collegamento (GN05.M) – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	
Spessore dello spritz	0.25m
Modulo elastico dello spritz	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica dello spritz	30 MPa
Centine	2IPN180/1.0 m
Acciaio centine	S275
Area del profilato	27.9 cm ²
Modulo di resistenza del profilato	161 cm ³
Momento di inerzia del profilato	1450cm ⁴
Modulo elastico equivalente	35436 MPa

Tab. 77 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 160 di 243

SEZIONE by-pass di collegamento (GN05.M) – CARATTERISTICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
Spessore calotta	0.50 m
Spessore arco rovescio	0.50 m
Spessore muretta	0.65 m
Modulo elastico del calcestruzzo	31447 MPa
Resistenza a compressione cubica	30 MPa
Tipologia di acciaio per armatura	B450C
Modulo elastico dell'armatura	210000 MPa

Tab. 78 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Caratteristiche del rivestimento definitivo

L'interazione opera-terreno è stata valutata mediante una analisi FEM, utilizzando il codice di calcolo PLAXIS V22.

Come anticipato, il modello implementato ha tenuto conto della presenza di entrambi i tunnel (galleria di innesto e by-pass di collegamento), pertanto si rimanda al §10.3.12.2 per le caratteristiche del modello.

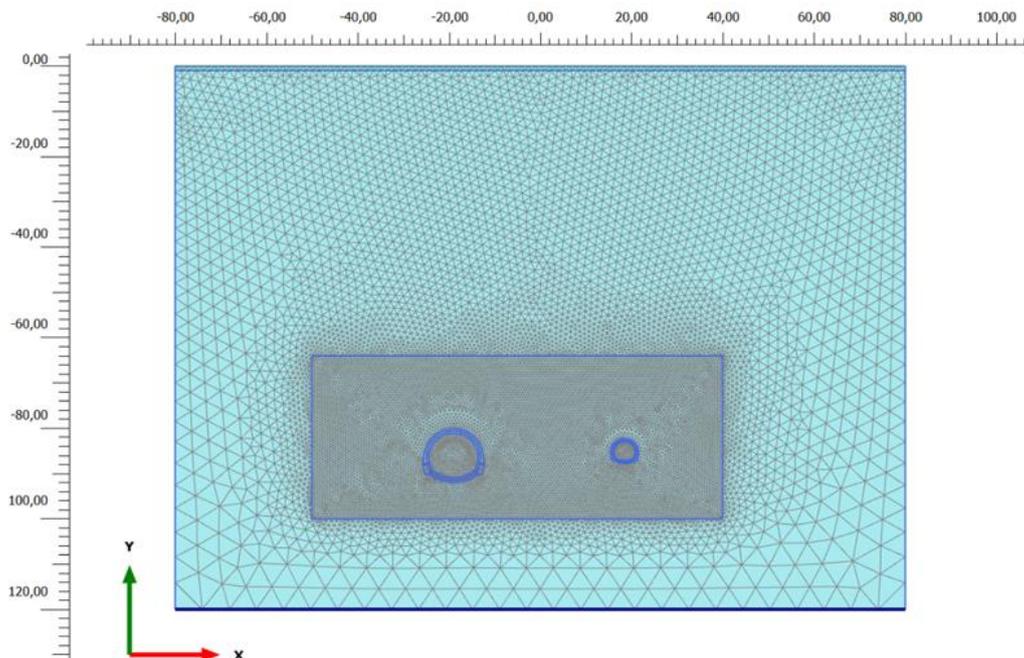


Fig. 126 – Geometria del modello con galleria di innesto (GN05.C) a sinistra e by-pass di collegamento (GN05.M) a destra

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 161 di 243

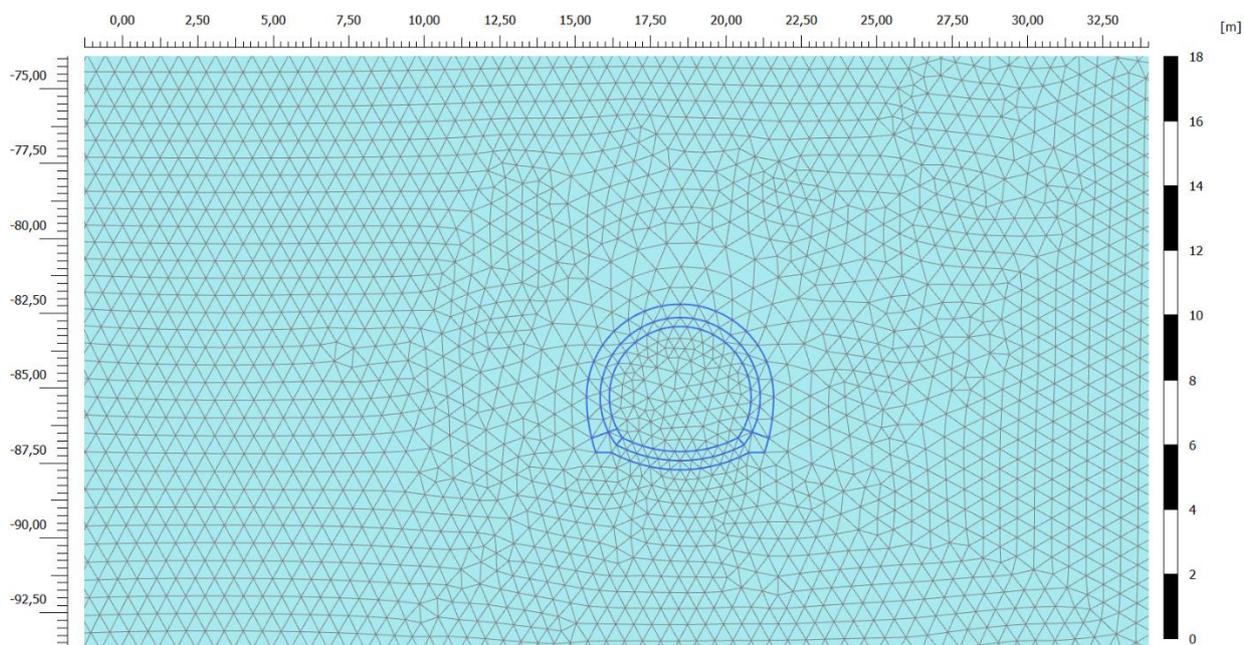


Fig. 127 – Sezione della galleria di by-pass (GN05.M), Particolare infittimento mesh in prossimità del tunnel

La tabella seguente riassume le diverse fasi dell'analisi numerica e i tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche per le sezioni in esame:

Fase	Sezione by-pass di collegamento (GN05.M) - Fasi di calcolo	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Fase iniziale	Inizializzazione dello stato tensionale iniziale litostatico – Condizioni k_0 – Modello costitutivo elasto plastico "Mohr Coulomb"	-	-
Fase 1	Fase Nil	-	-
Fase 2	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo – tunnel sinistro (galleria di innesto)	0.0	0.738
Fase 3	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale – tunnel sinistro (galleria di innesto)	1.0	0.845
Fase 4	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale - tunnel sinistro (galleria di innesto)	1.5	0.872
Fase 5	Preconvergenza (convergenza al fronte) con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo – tunnel destro (by -pass di collegamento)	0.0	0.711

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	162 di 243

Fase 6	Avanzamento del fronte e ulteriore rilascio tensionale – tunnel destro (by-pass di collegamento)	1.0	0.892
Fase 7	Attivazione del rivestimento di prima fase e ulteriore rilascio tensionale - tunnel destro (by-pass di collegamento)	1.5	0.926
Fase 8	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale - tunnel sinistro (galleria di innesto)	Svincolato	1.000
Fase 9	Attivazione del rivestimento definitivo (Arco rovescio, piedritti e calotta) con rilascio totale - tunnel destra (by-pass di collegamento)	Svincolato	1.000
Fase 10	Simulazione del lungo termine con innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, disattivazione dei consolidamenti radiali e del rivestimento di prima fase	-	1.000

Tab. 79 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Fasi di calcolo e tassi di rilascio ottenuti dalle curve caratteristiche

Le fasi di calcolo sono tutte sequenziali, e verrà precisato in seguito attraverso la rappresentazione degli output a quali di esse si farà riferimento per la verifica degli interventi previsti.

La fase di lungo termine vede l'innalzamento del livello di falda fino al livello delle murette, con disattivazione del rivestimento provvisorio.

Il rivestimento di prima fase è stato modellato attraverso l'utilizzo di elementi *plate* posizionati all'estradosso del rivestimento definitivo, che viene invece modellato con elementi di volume assegnando un legame costitutivo elastico-lineare. Per ottenere le sollecitazioni su questi ultimi, sono introdotti nel modello degli elementi *plate* in linea d'asse ai rivestimenti caratterizzati da rigidità infinitesima (rigidezze degli elementi *plate* divise per un fattore di scala $F=10^6$). A causa della loro bassa rigidità essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all'interno dell'elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output saranno poi moltiplicate per lo stesso fattore di scala F per ottenere le sollecitazioni di verifica strutturale.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 163 di 243

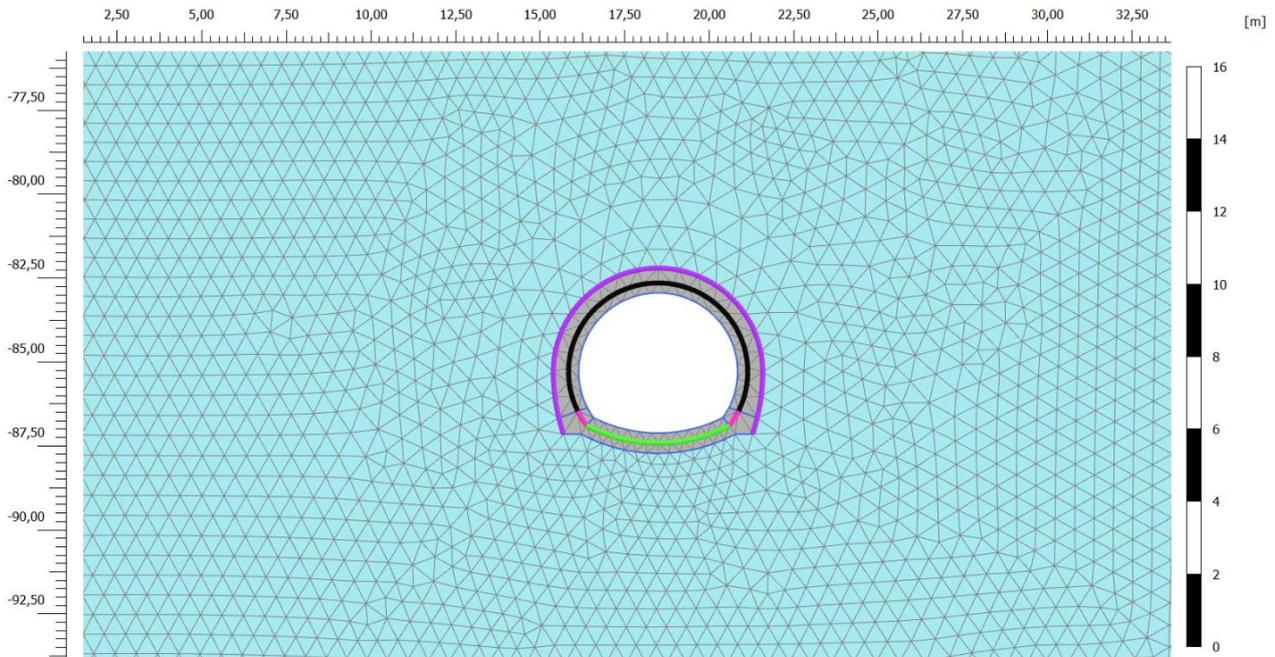


Fig. 128 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Geometria del rivestimento definitivo con plate ghost element in mezzeria e plate di rivestimento provvisorio all'estradosso

Nel seguito si riportano i risultati relativi alle sollecitazioni dei rivestimenti di prima fase e definitivi che verranno utilizzate in fase di verifica.

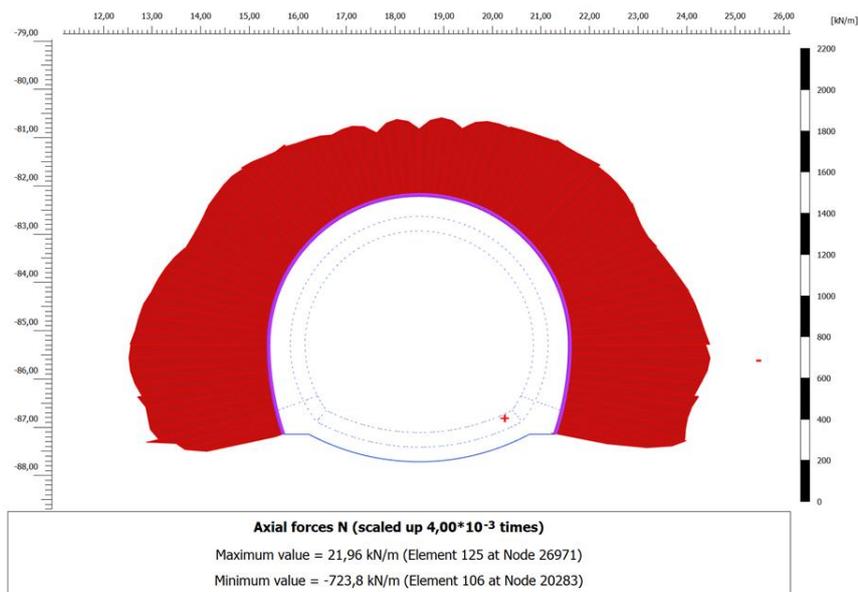


Fig. 129 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Sforzo normale del rivestimento provvisorio (fase 7)

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C FOGLIO. 164 di 243	

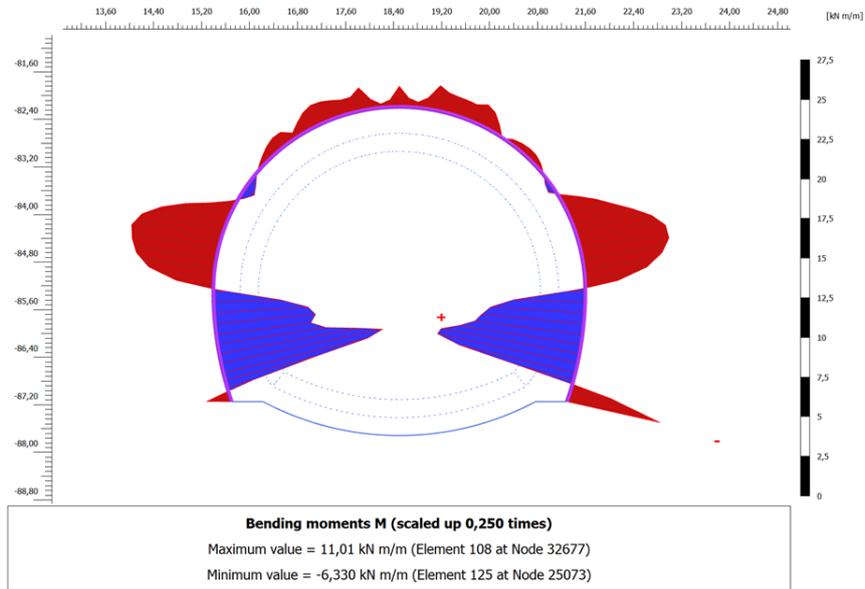


Fig. 130 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Momento flettente del rivestimento provvisorio (fase 7)

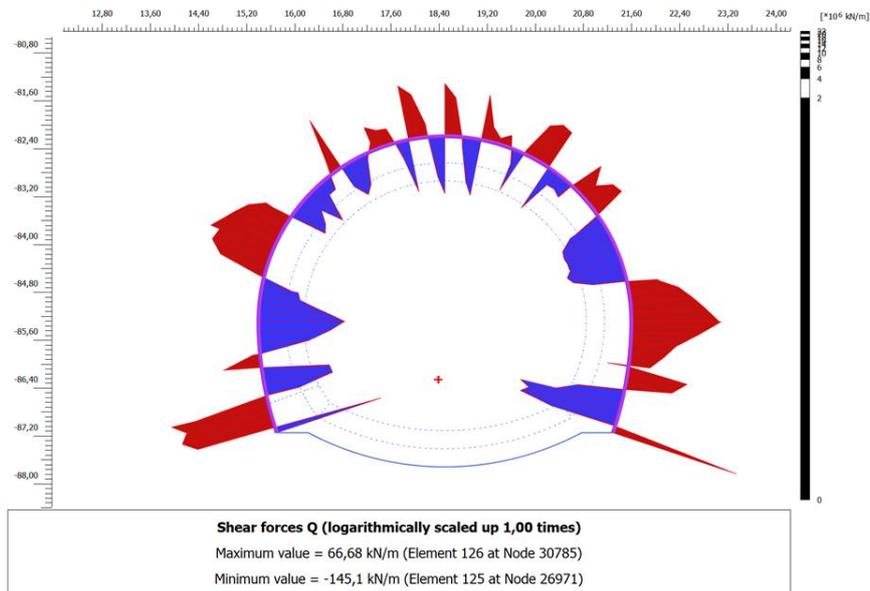


Fig. 131 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Taglio del rivestimento provvisorio (fase 7)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 165 di 243

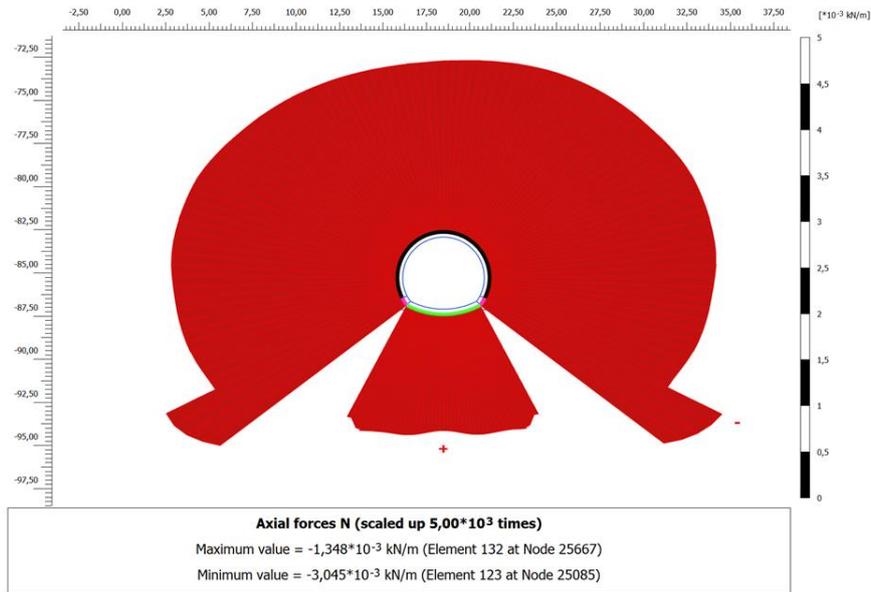


Fig. 132 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Sforzo normale del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

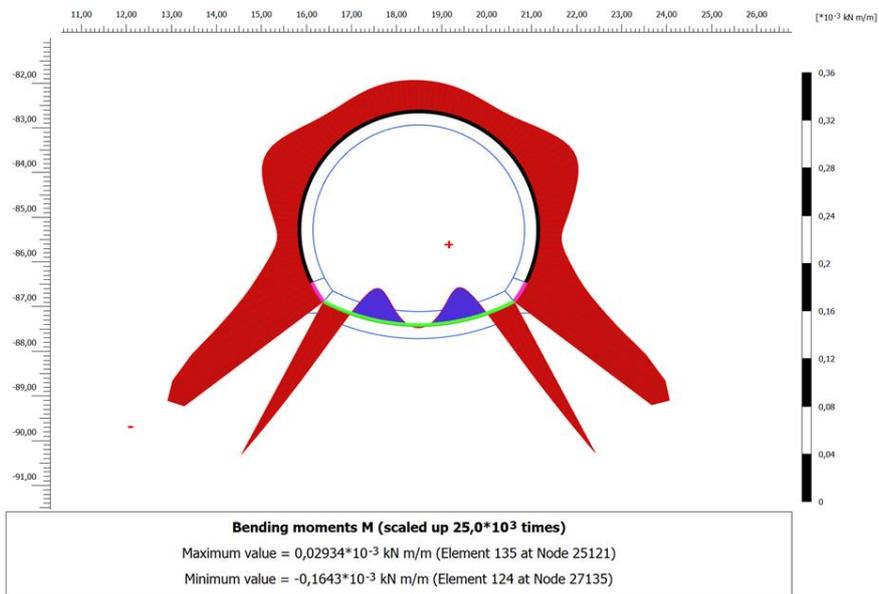


Fig. 133 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Momento flettente del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 166 di 243

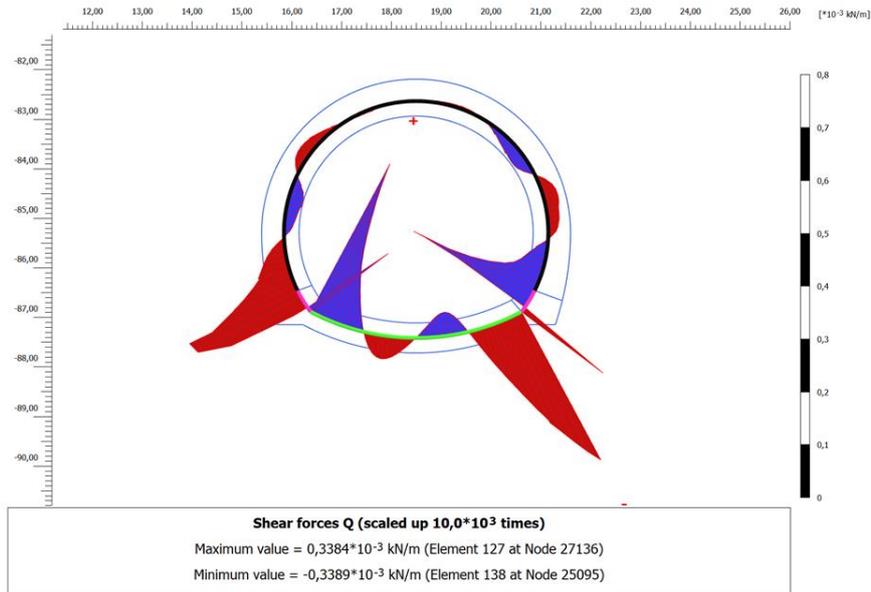


Fig. 134 – Sezione galleria di by-pass (GN05.M), Taglio del rivestimento definitivo (fase 10 – Lungo termine)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 167 di 243

10.4 VERIFICHE INTERVENTI RADIALI

Nel seguito si riportano le verifiche degli interventi di bullonatura radiale secondo l'approccio descritto nel §10.3.1.

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

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

in cui:

f_{yk} = tensione di snervamento dell'acciaio

A = area della barra

γ_s = coefficiente parziale di sicurezza acciaio

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

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

in cui:

L = lunghezza del bullone

τ_{ad} = tensione limite aderenza

D = $\alpha \cdot D_p$ diametro teorico

D_p = diametro di perforazione

α = coefficiente di sbulbamento

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

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

Per la verifica dei bulloni si è adottato un valore della tensione limite di aderenza di $\tau_{ad} = 0.2$ MPa per gli Swellex e $\tau_{ad} = 0.35$ MPa per le barre cementate. Si è assunto inoltre un coefficiente di sbulbamento $\alpha = 1.0$ per gli Swellex e $\alpha = 1.1$ per le barre cementate.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 168 di 243

10.4.1 Sezione A0

Gli interventi radiali della sezione A0 sono costituiti da bulloni tipo Swellex. Le sollecitazioni assiali agenti negli elementi cable sono riportate nell'Allegato 2. Il valore dello sforzo assiale massimo $N=4.5$ kN. Le verifiche della bullonatura radiale sono riportate in Tab. 80 e risultano soddisfatte.

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - LOTTO1 - Sezione A0

CALCOLO DELLA CHIODATURA RADIALE

Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo

Combinazione A1+M1+R3

$$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$$

Sforzo assiale caratteristico	N_k	4.50	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni	γ_F	1.30	[m]
sforzo assiale di calcolo	N_{Ed}	5.85	[kN]

Caratteristiche dei materiali

chiodatura

Barre di tipo Swellex			
diametro della barra	ϕ	36	[mm]
area della barra	A	214	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	468.1	[MPa]
diametro della perforazione	D	38	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	4.5	[m]
tensione di aderenza	τ_{ad}	0.20	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1.0	[-]

Verifica a trazione

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

azione assiale di calcolo	N_d	5.85	[kN]
coefficiente parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1.15	[-]
azione assiale di snervamento	T_d	86.96	[kN]
verifica a trazione		ok	

Verifica a sfilamento

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

tipo bullone		temporanei	
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1.1	[-]
fattore di correlazione	ξ_{3a}	1.6	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	61	[kN]
verifica a sfilamento		ok	
verifica gerarchia		ok	

Tab. 80 – Sezione A0, Verifica della chiodatura radiale

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. 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>GN0500</td> <td>C</td> <td>169 di 243</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	169 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	169 di 243													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo																		

10.4.2 Sezione A2

Gli interventi radiali della sezione A2 sono costituiti da bulloni tipo Swellex. Le sollecitazioni assiali agenti negli elementi cable sono riportate nell'Allegato 2. Il valore dello sforzo assiale massimo $N=3.9$ kN. Le verifiche della bullonatura radiale sono riportate in Tab. 81 e risultano soddisfatte.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 170 di 243

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - LOTTO1 - Sezione A2

CALCOLO DELLA CHIODATURA RADIALE

Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo

Combinazione A1+M1+R3

$$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$$

Sforzo assiale caratteristico	N_k	3.90	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni	γ_F	1.30	[m]
sforzo assiale di calcolo	N_{Ed}	5.07	[kN]

Caratteristiche dei materiali

chiodatura

Barre di tipo Swellex			
diametro della barra	ϕ	36	[mm]
area della barra	A	214	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	468.1	[MPa]
diametro della perforazione	D	38	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	6.0	[m]
tensione di aderenza	τ_{ad}	0.20	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1.0	[-]

Verifica a trazione

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

azione assiale di calcolo	N_d	5.07	[kN]
coefficiente parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1.15	[-]
azione assiale di snervamento	T_d	86.96	[kN]
verifica a trazione		ok	

Verifica a sfilamento

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

tipo bullone		temporanei	
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1.1	[-]
fattore di correlazione	ξ_{a3}	1.6	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	81	[kN]
verifica a sfilamento		ok	
verifica gerarchia		ok	

Tab. 81 – Sezione A2, Verifica della chiodatura radiale

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 171 di 243

10.4.3 Camera di manovra

Gli interventi radiali della Camera di manovra sono costituiti da bulloni metallici ad ancoraggio continuo. Le sollecitazioni assiali agenti negli elementi cable sono riportate nell'Allegato 2. Il valore dello sforzo assiale massimo in fase 6 è $N = 125.7$ kN, mentre in fase 10 è $N = 96.6$ kN. Le verifiche della bullonatura radiale sono riportate in Tab. 82 e Tab. 83 e risultano soddisfatte.

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - LOTTO1 - Camerone			
CALCOLO DELLA CHIODATURA RADIALE PASSIVA			
Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo			
Combinazione A1+M1+R3			
$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$			
Sforzo normale caratteristico	N_k	125.7	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni	γ_F	1.30	[m]
sforzo normale di calcolo	N_{Ed}	163	[kN]
Caratteristiche dei materiali			
malta			
Classe C20/25	R_{ck}	20	[MPa]
chiodatura			
diametro della barra	ϕ	28	[mm]
area della barra	A	616	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]
diametro della perforazione	D	51	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	6.0	[m]
tensione di aderenza malta roccia	τ_{ad}	0.35	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1.1	[-]
Verifica a trazione			
$N_d \leq T_d = \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_S}$			
azione assiale di calcolo	N_d	163	[kN]
coefficiente parziale di sicurezza acciaio	γ_S	1.15	[-]
azione assiale di snervamento	T_d	241	[kN]
verifica a trazione		ok	
Verifica a sfilamento			
$N_d \leq R_{ad} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ad} \cdot L}{\gamma_{Rat} \cdot \xi_{a3}}$			
tipo bullone		temporanei	
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1.1	[-]
fattore di correlazione	ξ_{a3}	1.6	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	218	[kN]
verifica a sfilamento		ok	
verifica gerarchia		ok	

Tab. 82 – Camera di manovra, Verifica della chiodatura radiale (fase 6)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 172 di 243

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - LOTTO1 - Camerone

CALCOLO DELLA CHIODATURA RADIALE PASSIVA

Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo

Combinazione A1+M1+R3

$$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$$

Sforzo normale caratteristico	N_k	96.6	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni	γ_F	1.30	[m]
sforzo assiale di calcolo	N_{Ed}	126	[kN]

Caratteristiche dei materiali

malta

Classe C20/25	R_{ck}	20	[MPa]
---------------	----------	-----------	-------

chiodatura

diametro della barra	ϕ	28	[mm]
area della barra	A	616	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]
diametro della perforazione	D	51	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	6.0	[m]
tensione di aderenza malta roccia	τ_{ad}	0.35	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1.1	[-]

Verifica a trazione

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

azione assiale di calcolo	N_d	126	[kN]
coefficiente parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1.15	[-]
azione assiale di snervamento	T_d	241	[kN]
verifica a trazione		ok	

Verifica a sfilamento

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

tipo bullone		temporanei	
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1.1	[-]
fattore di correlazione	ξ_{a3}	1.6	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	218	[kN]
verifica a sfilamento		ok	
verifica gerarchia		ok	

Tab. 83 - Camera di manovra, Verifica della chiodatura radiale (fase 10)

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 173 di 243

10.4.4 Sezione galleria tecnologica (GN05.J)

Gli interventi radiali della sezione della galleria tecnologica (GN05.J) sono costituiti da bulloni tipo Swellex Pm16.

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

Elemento	D _{per}	L	i _{long}	α	q _s	F _{tk}	F _{yk}	γ _s	γ _a	ξ _a
(-)	(mm)	(m)	(m)	(-)	(kPa)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
5 Swellex (PM16)	50	6	2	1.0	200	160	140	1.15	1.1	1.6

La massima sollecitazione agente sui bulloni è pari a:

$$N_d = N \gamma_g = 7.46 \cdot 1.3 = 9.70 \text{ kN}$$

dove:

N=massimo sforzo normale ottenuto nelle analisi numeriche

γ_g = fattore di amplificazione delle sollecitazioni pari a 1.3

La **resistenza a sfilamento**, valutata come in §10.4, risulta pari a:

$$R_d = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_p \cdot L \cdot q_s}{\gamma_a \cdot \xi_a} = \frac{1.0 \cdot \pi \cdot 0.05 \cdot 6 \cdot 250}{1.1 \cdot 1.6} = 133.9 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=22.88**

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

$$F_{Nd} = \frac{F_{yk}}{\gamma_s} = \frac{140}{1.15} = 121.7 \text{ kN}$$

Si ottiene quindi:

$$N_d \leq R_d$$

Con **FS=12.55**

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 174 di 243

10.5 CRITERI ADOTTATI NELLE VERIFICHE STRUTTURALI

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

- Rivestimento di prima fase (verifiche con combinazione allo SLU – le azioni permanenti sono moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari ad 1.3)
- Rivestimento definitivo (verifiche con combinazione allo SLU – le azioni sono moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari ad 1.3)
- Rivestimento definitivo (verifiche con combinazione allo SLE – le azioni permanenti non sono amplificate)

Le verifiche sono state eseguite verificando il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

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

10.5.1 Verifiche dei rivestimenti di prima fase

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

Le massime sollecitazioni ottenute dall'analisi numerica sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

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

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

- per l'acciaio di carpenteria:
 - le tensioni normali ai lembi delle centine ($\sigma_{max,cent}$ e $\sigma_{min,cent}$)
 - la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ($\tau_{max,cent}$)
 - la tensione ideale massima agente nel profilato ($\sigma_{id,cent}$)
- per il calcestruzzo proiettato:
 - le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ($\sigma_{max,sb}$ e $\sigma_{min,sb}$)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 175 di 243

Per ciascuna sezione si è verificato che la tensione in corrispondenza dei lembi maggiormente sollecitati risulti sempre al di sotto del rispettivo limite di resistenza per entrambi i materiali.

Nella seguente tabella sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali.

Sollecitazioni		Ripartizione		Calcolo	
		centine	spritz	Centine	Spritz
Sforzo normale	N_{tot}	X	X	$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen} / d}{E_{eq} \cdot s_{eq}} \cdot N_{tot} \cdot d$	$N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$
Momento flettente	M_{tot}	X		$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$	
Sforzo di taglio	T_{tot}	X		$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$	
Tensioni				$\sigma_{max, cen} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\sigma_{min, cen} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\tau_{min, cen} = \frac{T_{cen}}{h \cdot a}$ $\sigma_{id, cent} = \sqrt{\sigma_{max, cent}^2 + 3\tau_{max, cent}^2}$	$\sigma_{max, sb} = \frac{N_{sb}}{s}$
E_{cls}	modulo elastico del calcestruzzo proiettato				
s	spessore del calcestruzzo proiettato				
E_{acc}	modulo elastico dell'acciaio				
A_{cen}	area delle centine				
d	interasse tra le centine				
a	spessore dell'anima del profilato				
E_{eq}	modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine				
s_{eq}	spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine				
N_{tot}	sforzo normale agente sul rivestimento equivalente				
N_{cen}	sforzo normale agente sulle centine				
N_{sb}	sforzo normale agente sullo spritz beton				
M_{tot}	momento flettente agente sul rivestimento equivalente				
M_{cent}	momento flettente agente sulle centine				
T_{tot}	sforzo di taglio agente sul rivestimento equivalente				
T_{cent}	sforzo di taglio agente sulle centine				
$\sigma_{max, cent}$	tensione massima nelle centine				
$\sigma_{min, cent}$	tensione minima nelle centine				
$\tau_{max, cent}$	tensione tangenziale massima nelle centine				
$\sigma_{id, cent}$	tensione ideale nelle centine				
$\sigma_{max, sb}$	tensione massima nello spritz beton				
$\sigma_{min, sb}$	tensione minima nello spritz beton				

Tab. 84 – Formulazioni per la verifica del rivestimento di prima fase

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 176 di 243

Nel caso in cui il rivestimento di prima fase sia costituito da solo spritz, senza la presenza di centine, questo è stato verificato facendo riferimento al §12.6 dell'Eurocodice 2.

La resistenza assiale N_{Rd} di una sezione rettangolare avente eccentricità, e , uniassiale in direzione h_w (Fig. 135) può essere calcolata come segue:

$$N_{Rd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_w \cdot (1 - 2 \cdot e/h_w)$$

In cui:

ηf_{cd} è la resistenza a compressione effettiva

b è la lunghezza della sezione

h_w è lo spessore totale della sezione

e è l'eccentricità dello sforzo normale rispetto ad h_w

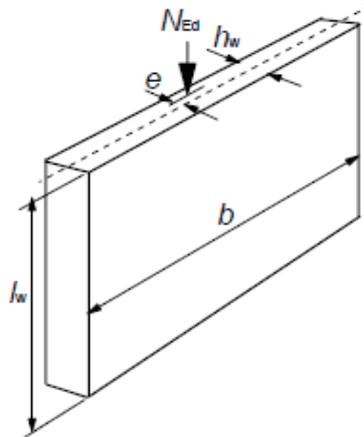


Fig. 135 – Geometria di riferimento

Per una sezione soggetta a taglio, V_{Ed} , e sforzo normale, N_{Ed} , agenti su un'area compressa A_{cc} , il valore assoluto delle componenti degli sforzi di calcolo è ottenuto applicando le seguenti formule:

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_{cc}$$

$$\tau_{cp} = k V_{Ed} / A_{cc} \quad \text{con } \tau_{cp} < f_{cvt}$$

In cui:

se $\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim}$ $f_{cvt} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} f_{ctd}}$

oppure

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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 177 di 243

$$\text{se } \sigma_{cp} > \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp}f_{ctd} - \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{c,lim}}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2\sqrt{f_{cd}(f_{ctd} + f_{cd})}$$

In cui:

f_{cvd} è la resistenza di calcolo del calcestruzzo a compressione e taglio

f_{cd} è la resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo

f_{ctd} è la resistenza a trazione di calcolo del calcestruzzo

10.5.2 Verifiche dei rivestimenti definitivi in calcestruzzo armato

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

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

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

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

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

Per il significato di tutti i termini si rimanda all'equazione 4.1.14 delle NTC 2008.

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

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

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

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

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 178 di 243

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

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

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

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

10.5.3 Verifiche dei rivestimenti definitivi in calcestruzzo non armato

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

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

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

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

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

10.6 VERIFICA DELLE SEZIONI

10.6.1 Sezione A0

Il rivestimento di prima fase della sezione A0 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 5 di calcolo, in cui vengono installati i rivestimenti di prima fase. La Tab. 85 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate in Tab. 86, Tab. 87 e Tab. 88 e risultano tutte soddisfatte.

Fase	Condizione	N _{sk} [kN/m]	T _{sk} [kN/m]	M _{sk} [kNm/m]	N _{sd} [kN/m]	T _{sd} [kN/m]	M _{sd} [kNm/m]
Fase 5	N _{max}	378.8	-2.0	0.3	492.4	-2.6	0.39
	M _{max}	365.6	1.0	2.3	475.3	1.3	2.99
	T _{max}	282.2	12.1	0.5	366.9	15.8	0.65

Tab. 85 – Sezione A0, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO 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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 179 di 243

Fase	Condizione	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	e [m]	e<H/6 [-]	ζ [m]	N _{Rd} [kN/m]	Verifica [-]
Fase 5	N _{max}	492.4	0.39	0.001	Compresso	0.13	3314.9	OK
	M _{max}	475.3	2.99	0.006	Compresso	0.14	3164.6	OK
	T _{max}	366.9	0.65	0.002	Compresso	0.13	3287.6	OK

Tab. 86 – Sezione A0, Verifica a flessione e sforzo normale

Fase	Condizione	N _{Sd} [kN/m]	T _{Sd} [kN/m]	σ _{cp} [MPa]	τ _{cp} [MPa]	σ _{c,lim} [MPa]	f _{cvd} [MPa]	Verifica [-]
Fase 5	N _{max}	492.4	-2.6	2.0	-0.02	5.93	1.67	OK
	M _{max}	475.3	1.3	1.9	0.01	5.93	1.65	OK
	T _{max}	366.9	15.8	1.5	0.09	5.93	1.52	OK

Tab. 87 – Sezione A0, Verifica a taglio e sforzo normale

Fase	Condizione	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	σ _{max} [MPa]	σ _{min} [MPa]	σ _{min,min} [MPa]	f _{ctd} [MPa]	Verifica [-]
Fase 5	N _{max}	378.8	0.3	1.5	1.49	1.49	0.96	OK
	M _{max}	365.6	2.3	1.7	1.24	1.24	0.96	OK
	T _{max}	282.2	0.5	1.2	1.08	1.08	0.96	OK

Tab. 88 – Sezione A0, Verifica allo stato limite di esercizio

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali del rivestimento definitivo è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo le prescrizioni per le sezioni in calcestruzzo non armato.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 180 di 243

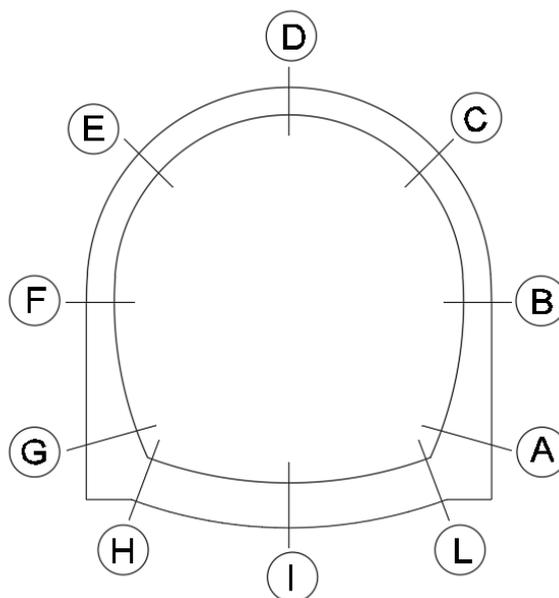


Fig. 136 – Sezione A0, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 89 riporta le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo.

Tab. 90 riporta le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte.

Fase	Sezione	H [cm]	N_{Sk} (kN/m)	T_{Sk} (kN/m)	M_{Sk} (kNm/m)	N_{Sd} (kN/m)	T_{Sd} (kN/m)	M_{Sd} (kNm/m)
Fase 6	A	86.0	481.2	-57.4	-4.2	625.6	-74.6	-5.4
	B	50.0	561.3	13.6	-0.9	729.7	17.7	-1.1
	C	50.0	534.3	-2.1	2.2	694.6	-2.8	2.9
	D	50.0	227.1	-5.5	3.6	295.2	-7.1	4.6
	E	50.0	533.0	1.3	2.2	692.9	1.7	2.8
	F	50.0	562.1	-13.8	-0.9	730.7	-17.9	-1.2
	G	86.0	482.8	57.5	-4.2	627.6	74.8	-5.5
	H	50.0	196.8	98.6	-18.3	255.8	128.2	-23.8
	I	50.0	121.8	-3.8	-4.7	158.3	-5.0	-6.1
	L	90.0	197.7	-98.4	-18.2	257.0	-128.0	-23.7

Tab. 89 – Sezione A0, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 181 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)	σ _{cls} (MPa)		σ _{cls,max} (-)	τ _{cls} (-)
Fase 6	A	86.0	625.6	-74.6	-5.4	0.77	0.68	SI	SI
	B	50.0	729.7	17.7	-1.1	1.49	1.43	SI	SI
	C	50.0	694.6	-2.8	2.9	1.46	1.32	SI	SI
	D	50.0	295.2	-7.1	4.6	0.70	0.48	SI	SI
	E	50.0	692.9	1.7	2.8	1.45	1.32	SI	SI
	F	50.0	730.7	-17.9	-1.2	1.49	1.43	SI	SI
	G	86.0	627.6	74.8	-5.5	0.77	0.69	SI	SI
	H	50.0	255.8	128.2	-23.8	1.09	0.00	SI	SI
	I	50.0	158.3	-5.0	-6.1	0.46	0.17	SI	SI
	L	90.0	257.0	-128.0	-23.7	1.09	0.00	SI	SI

Tab. 90 – Sezione A0, Verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo dei rivestimenti definitivi

10.6.2 Sezione A1

Il rivestimento di prima fase della sezione A1 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m e centine accoppiate 2IPN160 a passo 1.4 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 5 di calcolo, in cui vengono installati i rivestimenti di prima fase. La Tab. 85 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate in Tab. 93 e risultano tutte soddisfatte.

Fase	Condizione	N _{Sk} [kN/m]	T _{Sk} [kN/m]	M _{Sk} [kNm/m]	N _{Sd} [kN/m]	T _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]
Fase 5	M _{max}	508.8	-36.8	8.1	661.4	-47.8	10.5
	N _{max}	910.6	-9.6	1.0	1183.8	-12.53	1.3
	T _{max}	510.2	37.0	8.0	663.3	48.1	10.5

Tab. 91 – Sezione A1, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 182 di 243

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra Chiusa - Sezione A1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

MATERIALI

Spritz Beton			
Classe	C25/30		<i>Classe dello spritz beton</i>
R_{ck}	30	[MPa]	<i>Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton</i>
γ_c	1.5	[-]	<i>Coefficiente parziale resistenza</i>
f_{ck}	24.90	[MPa]	<i>Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton</i>
f_{cd}	14.11	[MPa]	<i>Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton</i>
f_{ctm}	-1.19	[MPa]	<i>Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton</i>
B	100	[cm]	<i>Base della sezione di spritz beton</i>
s	25	[cm]	<i>Altezza della sezione di spritz beton</i>
A_{sb}	2500	[cm ²]	<i>Area della sezione di spritz beton</i>
I_{sb}	130208	[cm ⁴]	<i>Momento di inerzia della sezione di spritz beton</i>
W_{sb}	10417	[cm ³]	<i>Momento resistente della sezione di spritz beton</i>
E_{sb}	31447	[MPa]	<i>Modulo di elasticità dello spritz beton</i>

Centine			
Tipo	S275		<i>Tipologia acciaio</i>
Profilato	IPN160		<i>Tipologia centine</i>
γ_s	1.05	[-]	<i>Coefficiente parziale resistenza</i>
N.	2	[-]	<i>Numero centine</i>
f_y	275	[MPa]	<i>Tensione di snervamento dell'acciaio</i>
f_{yd}	261.9	[MPa]	<i>Massima tensione nell'acciaio</i>
A_{cent}	22.8	[cm ²]	<i>Area del profilato</i>
I_{cent}	934	[cm ⁴]	<i>Momento di inerzia del profilato</i>
W_{cent}	117	[cm ³]	<i>Momento resistente del profilato</i>
h_{cent}	160	[mm]	<i>Altezza profilato</i>
a	6.3	[mm]	<i>Spessore dell'anima del profilato</i>
d	1.4	[m]	<i>Interasse longitudinale tra le centine</i>
E_{cent}	210000	[MPa]	<i>Modulo di elasticità dell'acciaio</i>

Rivestimento equivalente			
s_{eq}	25	[cm]	<i>Spessore equivalente</i>
E_{eq}	34025	[MPa]	<i>Modulo di elasticità equivalente</i>

Tab. 92 – Sezione A1, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE: webuild  	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. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 183 di 243

VERIFICHE

N_{cent} [kN]	$ T_{cent} $ [kN]	M_{cent} [kNm]	$\sigma_{max,cent}$ [MPa]	$\sigma_{min,cent}$ [MPa]	τ_{cent} [MPa]	σ_{id} [MPa]	Verifica	$SF_{(\sigma_{id}, f_{yd})}$ [-]
75.0	66.92	14.74	79.5	-46.6	33.2	98.1	OK	2.7
134.3	17.54	1.80	37.2	21.7	8.7	40.1	OK	6.5
75.2	67.34	14.65	79.1	-46.1	33.4	98.0	OK	2.7

N_{spritz} [kN]	$\sigma_{max,sb}$ [MPa]	Verifica	$SF_{(\sigma_{max,sb}, f_{cd})}$ [-]
608	2.43	OK	5.8
1088	4.35	OK	3.2
610	2.44	OK	5.8

ESITO VERIFICHE

Verifica presso-flessione		Verifica taglio	Verifica σ_{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 93 – Sezione A1, Verifica del rivestimento di prima fase

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali del rivestimento definitivo è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo le prescrizioni per le sezioni in calcestruzzo non armato.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 184 di 243

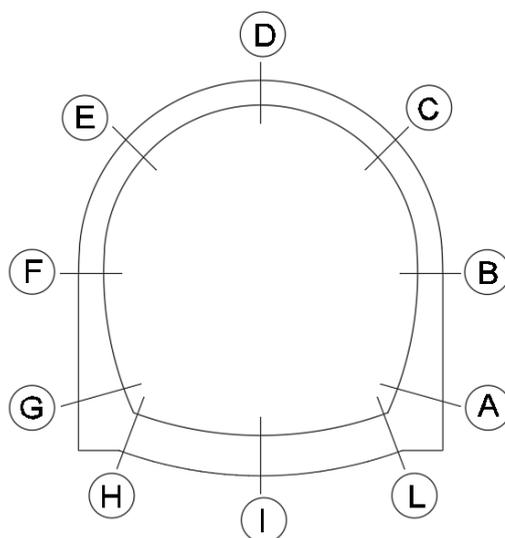


Fig. 137 – Sezione A1, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 94 riporta le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo.

Tab. 95 riporta le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte.

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sk} (kN/m)	T _{Sk} (kN/m)	M _{Sk} (kNm/m)	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)
Fase 6	A	102.0	1134.0	-180.7	-23.2	1474.2	-234.9	-30.2
	B	65.0	1283.0	42.3	-4.7	1667.9	55.0	-6.1
	C	60.0	1329.0	-35.8	22.0	1727.7	-46.5	28.5
	D	60.0	708.7	-2.5	22.8	921.3	-3.3	29.6
	E	60.0	1334.0	33.7	21.8	1734.2	43.8	28.3
	F	65.0	1283.0	-42.4	-4.7	1667.9	-55.1	-6.1
	G	102.0	1133.0	180.4	-23.5	1472.9	234.5	-30.5
	H	60.0	520.2	183.7	-74.3	676.3	238.8	-96.6
	I	60.0	357.7	-6.6	-9.3	465.0	-8.6	-12.1
	L	60.0	519.1	-182.5	-74.8	674.8	-237.3	-97.2

Tab. 94 – Sezione A1, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 185 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)	σ _{cls} (MPa)		σ _{cls,max} (-)	τ _{cls} (-)
Fase 6	A	102.0	1474.2	-234.9	-30.2	1.62	1.27	SI	SI
	B	65.0	1667.9	55.0	-6.1	2.88	2.68	SI	SI
	C	60.0	1727.7	-46.5	28.5	3.36	2.40	SI	SI
	D	60.0	921.3	-3.3	29.6	2.03	1.04	SI	SI
	E	60.0	1734.2	43.8	28.3	3.36	2.42	SI	SI
	F	65.0	1667.9	-55.1	-6.1	2.65	2.48	SI	SI
	G	102.0	1472.9	234.5	-30.5	1.62	1.27	SI	SI
	H	60.0	676.3	238.8	-96.6	2.87	0.00	SI	SI
	I	60.0	465.0	-8.6	-12.1	0.98	0.57	SI	SI
	L	60.0	674.8	-237.3	-97.2	2.88	0.00	SI	SI

Tab. 95 – Sezione A1, Verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo dei rivestimenti definitivi

10.6.3 Sezione A2

Il rivestimento di prima fase della sezione A2 è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.2 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alle fasi 5 e 6 di calcolo, in cui vengono installati i rivestimenti di prima fase e, successivamente, la chiodatura radiale. La Tab. 96 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate in Tab. 98 e in Tab. 99 e risultano tutte soddisfatte.

Fase	Condizione	N _{Sk} [kN/m]	T _{Sk} [kN/m]	M _{Sk} [kNm/m]	N _{Sd} [kN/m]	T _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]
Fase 5	M _{max}	477.5	-3.486	4.471	620.8	-4.5	5.8
	N _{max}	483.6	5.067	1.409	628.7	6.6	1.8
	T _{max}	371.3	9.293	4.154	482.7	12.1	5.4
Fase 6	M _{max}	872.3	-6.413	8.288	1134.0	-8.3	10.8
	N _{max}	893.8	8.934	3.105	1161.9	11.6	4.0
	T _{max}	731.7	10.48	4.021	951.2	13.6	5.2

Tab. 96 – Sezione A2, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 186 di 243

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra CHIUSA - Sezione A2
FASE:	Fase_05 E 06: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R_{ck}	30	[MPa]
γ_c	1.5	[-]
f_{ck}	24.90	[MPa]
f_{cd}	14.11	[MPa]
f_{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	30	[cm]
A_{sb}	3000	[cm ²]
I_{sb}	225000	[cm ⁴]
W_{sb}	15000	[cm ³]
E_{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton

Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton

Coefficiente parziale resistenza

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton

Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton

Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton

Base della sezione di spritz beton

Altezza della sezione di spritz beton

Area della sezione di spritz beton

Momento di inerzia della sezione di spritz beton

Momento resistente della sezione di spritz beton

Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN180	
γ_s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f_y	275	[MPa]
f_{yd}	261.9	[MPa]
A_{cent}	27.9	[cm ²]
I_{cent}	1444	[cm ⁴]
W_{cent}	161	[cm ³]
h_{cent}	180	[mm]
a	6.9	[mm]
d	1.2	[m]
E_{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio

Tipologia centine

Coefficiente parziale resistenza

Numero centine

Tensione di snervamento dell'acciaio

Massima tensione nell'acciaio

Area del profilato

Momento di inerzia del profilato

Momento resistente del profilato

Altezza profilato

Spessore dell'anima del profilato

Interasse longitudinale tra le centine

Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s_{eq}	30	[cm]
E_{eq}	34652	[MPa]

Spessore equivalente

Modulo di elasticità equivalente

Tab. 97 – Sezione A2, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>187 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	187 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	187 di 243								

VERIFICHE

Verifica centine								Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]			
70.9	5.44	6.97	34.4	-9.0	2.2	34.6	OK	7.6	
71.8	7.90	2.20	19.7	6.0	3.2	20.4	OK	12.8	
55.1	14.50	6.48	30.0	-10.2	5.8	31.7	OK	8.3	

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
562	1.87	OK	7.5
569	1.90	OK	7.4
437	1.46	OK	9.7

ESITO VERIFICHE

Verifica presso- flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 98 Sezione A2, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 5)

VERIFICHE

Verifica centine								Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]			
129.5	10.00	12.93	63.4	-17.0	4.0	63.7	OK	4.1	
132.6	13.94	4.84	38.8	8.7	5.6	40.0	OK	6.5	
108.6	16.35	6.27	38.9	0.0	6.6	40.6	OK	6.5	

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
1026	3.42	OK	4.1
1051	3.50	OK	4.0
861	2.87	OK	4.9

ESITO VERIFICHE

Verifica presso- flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 99 – Sezione A2, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 6)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 188 di 243

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali del rivestimento definitivo è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo le prescrizioni per le sezioni in calcestruzzo non armato.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

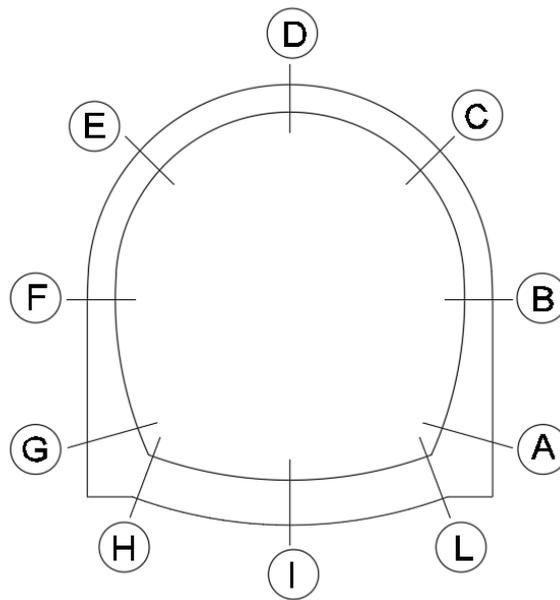


Fig. 138 – Sezione A2, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 100 riporta le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo.

Tab. 101 riporta le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	189 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sk} (kN/m)	T _{Sk} (kN/m)	M _{Sk} (kNm/m)	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)
Fase 7	A	82.0	1483.0	-182.6	-51.0	1927.9	-237.4	-66.2
	B	64.0	1489.0	16.8	-1.7	1935.7	21.9	-2.2
	C	60.0	1267.0	9.8	10.6	1647.1	12.7	13.8
	D	60.0	647.9	2.5	36.6	842.3	3.3	47.6
	E	60.0	1268.0	-9.8	10.6	1648.4	-12.8	13.8
	F	64.0	1490.0	-16.6	-1.7	1937.0	-21.6	-2.3
	G	82.0	1485.0	179.6	-51.0	1930.5	233.5	-66.2
	H	70.0	562.8	54.4	-89.6	731.6	70.7	-116.5
	I	70.0	404.0	-2.6	-20.1	525.2	-3.4	-26.1
	L	70.0	561.6	-61.9	-90.1	730.1	-80.5	-117.2

Tab. 100 – Sezione A2, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)	σ _{cls} (MPa)		σ _{cls,max} (-)	τ _{cls} (-)
Fase 7	A	82.0	1927.9	-237.4	-66.2	2.94	1.76	SI	SI
	B	64.0	1935.7	21.9	-2.2	3.06	2.99	SI	SI
	C	60.0	1647.1	12.7	13.8	2.98	2.51	SI	SI
	D	60.0	842.3	3.3	47.6	2.20	0.61	SI	SI
	E	60.0	1648.4	-12.8	13.8	2.98	2.52	SI	SI
	F	64.0	1937.0	-21.6	-2.3	3.06	2.99	SI	SI
	G	82.0	1930.5	233.5	-66.2	2.95	1.76	SI	SI
	H	70.0	731.6	70.7	-116.5	2.56	0.00	SI	SI
	I	70.0	525.2	-3.4	-26.1	1.07	0.43	SI	SI
	L	70.0	730.1	-80.5	-117.2	2.57	0.00	SI	SI

Tab. 101 – Sezione A2, Verifiche strutturali allo Stato Limite Ultimo dei rivestimenti definitivi

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 190 di 243

10.6.4 Sezione B1*

Il rivestimento di prima fase della Sezione B1* è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 6 di calcolo. La Tab. 102 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate in Tab. 104 e risultano tutte soddisfatte.

Fase	H [m]	Condizione	N _{Sk} (kN/m)	T _{Sk} (kN/m)	M _{Sk} (kNm/m)	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)
Fase 6	50	M _{max}	757.90	1.01	20.21	985.27	1.3143	26.27
		N _{max}	757.90	1.01	20.21	985.27	1.3143	26.27
		T _{max}	753.30	13.92	19.80	979.29	18.096	25.74
Fase 7	420	M _{max}	2635.00	-14.22	-39.29	3425.5	-18.486	-51.08
		N _{max}	2974.00	-7.99	32.12	3866.2	-10.3818	41.76
		T _{max}	2636.00	-69.17	-33.34	3426.8	-89.921	-43.34

Tab. 102 – Sezione B1*, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 191 di 243

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra Chiusa - Sezione B1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R_{ck}	30	[MPa]
γ_c	1.5	[-]
f_{ck}	24.90	[MPa]
f_{cd}	14.11	[MPa]
f_{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	30	[cm]
A_{sb}	3000	[cm ²]
I_{sb}	225000	[cm ⁴]
W_{sb}	15000	[cm ³]
E_{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton

Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton

Coefficiente parziale resistenza

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton

Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton

Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton

Base della sezione di spritz beton

Altezza della sezione di spritz beton

Area della sezione di spritz beton

Momento di inerzia della sezione di spritz beton

Momento resistente della sezione di spritz beton

Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S275	
Profilato	IPN180	
γ_s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f_y	275	[MPa]
f_{yd}	261.9	[MPa]
A_{cent}	27.9	[cm ²]
I_{cent}	1444	[cm ⁴]
W_{cent}	161	[cm ³]
h_{cent}	180	[mm]
a	6.9	[mm]
d	1.00	[m]
E_{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio

Tipologia centine

Coefficiente parziale resistenza

Numero centine

Tensione di snervamento dell'acciaio

Massima tensione nell'acciaio

Area del profilato

Momento di inerzia del profilato

Momento resistente del profilato

Altezza profilato

Spessore dell'anima del profilato

Interasse longitudinale tra le centine

Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
s_{eq}	30	[cm]
E_{eq}	35294	[MPa]

Spessore equivalente

Modulo di elasticità equivalente

Tab. 103 – Sezione B1*, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE: webuild  	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												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>192 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	192 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	192 di 243								

VERIFICHE

Verifica centine								
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd})
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[-]
110.7	1.31	26.27	101.4	-61.8	0.5	101.4	OK	2.6
110.7	1.31	26.27	101.4	-61.8	0.5	101.4	OK	2.6
110.0	18.10	25.74	99.7	-60.2	7.3	100.4	OK	2.6

Verifica spritz beton			
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd})
[kN]	[MPa]		[-]
875	2.92	OK	4.840
875	2.92	OK	4.840
869	2.90	OK	4.870

ESITO VERIFICHE

Verifica		Verifica	Verifica
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 104 – Sezione B1*, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 6) – H=50 m

VERIFICHE

Verifica centine								
N _{cent}	T _{cent}	M _{cent}	σ _{max,cent}	σ _{min,cent}	τ _{cent}	σ _{id}	Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd})
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[-]
384.8	18.49	-51.08	227.6	-89.7	7.4	228.0	OK	1.1
434.3	10.38	41.76	207.5	-51.8	4.2	207.6	OK	1.3
385.0	89.92	-43.34	203.6	-65.6	36.2	213.0	OK	1.2

Verifica spritz beton			
N _{spritz}	σ _{max,sb}	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd})
[kN]	[MPa]		[-]
3041	10.14	OK	1.392
3432	11.44	OK	1.233
3042	10.14	OK	1.392

ESITO VERIFICHE

Verifica		Verifica	Verifica
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 105 – Sezione B1*, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 7) – H=420 m

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 193 di 243

La verifica dei rivestimenti definitivi è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma = 1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio, nelle sezioni caratteristiche del rivestimento.

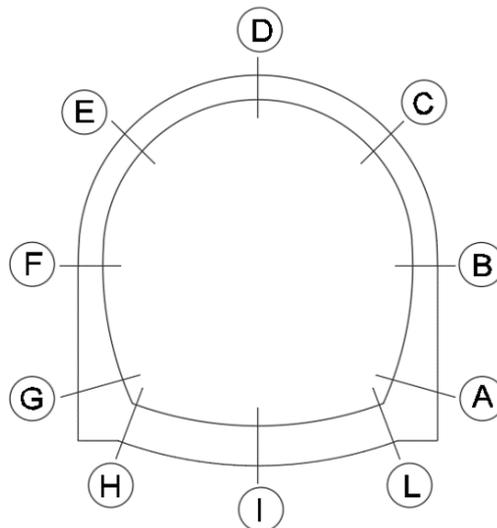


Fig. 139 – Sezione B1*, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 106 e Tab. 110 riportano le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo per copertura di 50 m e copertura di 420 m rispettivamente.

Le verifiche strutturali sono state condotte considerando un copriferro di 5.0 cm.

Tab. 107, Tab. 108, Tab. 109 riportano le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo per copertura di 50 m e

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N [kN]	M [kNm]	W _k [mm]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]
Fase 8	A	114	1φ20/20	1φ20/20	2241.00	24.33	-	-2	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	2688.00	-37.36	-	-3	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	2391.00	-54.77	-	-3	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	1361.00	67.51	-	-2	-

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 194 di 243

	E	80	1φ20/20	1φ20/20	2390.00	-53.72	-	-3	-
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	2674.00	-37.35	-	-3	-
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	2250.00	26.00	-	-2	-
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	-36.24	41.12	-	-1	49
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	149.00	5.52	-	0	-
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	-32.69	50.87	-	-1	57
Fase 9	A	114	1φ20/20	1φ20/20	3915.00	330.40	-	-5	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	3978.00	-298.10	-	-6	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	3694.00	-37.81	-	-5	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	3164.00	193.90	-	-5	-
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	3693.00	-35.34	-	-5	-
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	3954.00	-303.60	-	-6	-
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	3928.00	337.80	-	-5	-
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	7.46	135.10	-	-2	123
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	1546.00	-135.00	-	-3	-
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	21.97	165.40	-	-3	146

Tab. 111, Tab. 112, Tab. 113 per copertura di 420 m; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte. Nelle verifiche agli SLE ove non indicata/calcolata la w_k significa che non si verifica fessurazione.

Per quanto concerne le verifiche a taglio si è indicato:

V_{sd} taglio sollecitante

V_{Rdc} taglio resistente lato calcestruzzo dell'elemento armato

V_{Rds} taglio resistente lato acciaio dell'elemento armato

Fase	Sezione	H [cm]	N_{Sk} (kN/m)	T_{Sk} (kN/m)	M_{Sk} (kNm/m)	N_{Sd} (kN/m)	T_{Sd} (kN/m)	M_{Sd} (kNm/m)
Fase 7	A	114	552.10	2.27	-1.98	717.73	2.96	-2.57
	B	87	657.00	-4.22	1.77	854.10	-5.49	2.30
	C	80	518.00	-1.22	0.87	673.40	-1.58	1.13
	D	80	316.10	-0.72	5.58	410.93	-0.94	7.25
	E	80	518.10	1.15	-0.96	673.53	1.50	-1.25
	F	87	656.70	4.23	3.62	853.71	5.50	4.70
	G	114	552.20	-3.54	1.33	717.86	-4.60	1.73
	H	80	-11.84	21.63	-7.49	-15.39	28.12	-9.74
	I	80	18.40	1.29	5.09	23.92	1.68	6.62

APPALTATORE: webuild  		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				
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C FOGLIO. 195 di 243

Fase 8	L	80	-11.50	-21.13	-11.10	-14.95	-27.47	-14.43
	A	114	2183.00	-617.10	-513.60	2837.90	-802.23	-667.68
	B	87	2076.00	-122.10	-342.60	2698.80	-158.73	-445.38
	C	80	2025.00	111.50	76.84	2632.50	144.95	99.89
	D	80	2102.00	2.22	-113.10	2732.60	2.89	-147.03
	E	80	2029.00	-110.20	-79.48	2637.70	-143.26	-103.32
	F	87	2079.00	122.40	346.40	2702.70	159.12	450.32
	G	114	2189.00	615.50	512.90	2845.70	800.15	666.77
	H	80	201.90	167.30	-122.90	262.47	217.49	-159.77
	I	80	1862.00	-21.05	228.40	2420.60	-27.37	296.92
L	80	204.50	-167.00	-151.80	265.85	-217.10	-197.34	

Tab. 106 – Sezione B1*, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo – H=50 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N [kN]	M [kNm]	w _k [mm]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]
Fase 7	A	114	1φ20/20	1φ20/20	552.10	-1.98	-	0	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	657.00	1.77	-	-1	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	518.00	0.87	-	-1	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	316.10	5.58	-	0	-
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	518.10	-0.96	-	-1	-
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	656.70	3.62	-	-1	-
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	552.20	1.33	-	0	-
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	-11.84	-7.49	-	0	-
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	18.40	5.09	-	0	0.59
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	-11.50	-11.10	-	0	-
Fase 8	A	114	1φ20/20	1φ20/20	2183.00	-513.60	-	-4	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	2076.00	-342.60	-	-5	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	2025.00	76.84	-	-3	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	2102.00	-113.10	-	-3	-
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	2029.00	-79.48	-	-3	-
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	2079.00	346.40	-	-5	-
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	2189.00	512.90	-	-4	2
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	201.90	-122.90	-	-2	-
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	1862.00	228.40	-	-4	-

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 196 di 243

L	80	1φ20/20	1φ20/20	204.50	-151.80	-	-2	-
---	----	---------	---------	--------	---------	---	----	---

Tab. 107 – Sezione B1*, Verifiche allo Stato Limite di Esercizio dei rivestimenti definitivi (S.L.E) – H=50 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	M _{Rd} [kNm/m]	M _{Rd} /M _{Sd} [-]
Fase 7	A	114	1φ20/20	1φ20/20	717.73	-2.57	-1017	396
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	854.10	2.30	804	349
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	673.40	1.13	671	591
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	410.93	7.25	583	80
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	673.53	-1.25	-671	538
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	853.71	4.70	804	171
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	717.86	1.73	1017	587
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	-15.39	-9.74	-436	45
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	23.92	6.62	450	68
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	-14.95	-14.43	-437	30
Fase 8	A	114	1φ20/20	1φ20/20	2837.90	-667.68	-1953	3
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	2698.80	-445.38	-1371	3
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	2632.50	99.89	1220	12
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	2732.60	-147.03	-1240	8
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	2637.70	-103.32	-1221	12
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	2702.70	450.32	1372	3
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	2845.70	666.77	1955	3
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	262.47	-159.77	-532	3
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	2420.60	296.92	1174	4
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	265.85	-197.34	-533	3

Tab. 108 – Sezione B1*, Verifiche strutturali a presso-flessione dei rivestimenti definitivi (S.L.U) – H=50 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	V _{Sd} [kN/m]	V _{Rdc} [kN/m]	V _{Rds} [kN/m]	A _{st}	Min(V _{Rds} , V _{Rdc})/V _{Sd} [-]
Fase 7	A	114	1φ20/20	2.96	3079	921	φ12/20x40	312
	B	87	1φ20/20	-5.49	2355	344	φ12/40x40	63
	C	80	1φ20/20	-1.58	2129	314	φ12/40x40	199
	D	80	1φ20/20	-0.94	2082	314	φ12/40x40	335

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. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C FOGLIO. 197 di 243	

	E	80	1φ20/20	1.50	2129	314	φ12/40x40	210
	F	87	1φ20/20	5.50	2355	344	φ12/40x40	63
	G	114	1φ20/20	-4.60	3079	921	φ12/20x40	200
	H	80	1φ20/20	28.12	5031	628	φ12/20x40	22
	I	80	1φ20/20	1.68	2014	314	φ12/40x40	187
	L	80	1φ20/20	-27.47	5031	628	φ12/20x40	23
Fase 8	A	114	1φ20/20	-802.23	3466	921	φ12/20x40	1
	B	87	1φ20/20	-158.73	2685	344	φ12/40x40	2
	C	80	1φ20/20	144.95	2476	314	φ12/40x40	2
	D	80	1φ20/20	2.89	2494	314	φ12/40x40	109
	E	80	1φ20/20	-143.26	2477	314	φ12/40x40	2
	F	87	1φ20/20	159.12	2686	344	φ12/40x40	2
	G	114	1φ20/20	800.15	3468	921	φ12/20x40	1
	H	80	1φ20/20	217.49	2056	628	φ12/20x40	3
	I	80	1φ20/20	-27.37	2439	314	φ12/40x40	11
	L	80	1φ20/20	-217.10	2057	627.79	φ12/20x40	3

Tab. 109 – Sezione B1*, Verifiche strutturali a taglio dei rivestimenti definitivi (S.L.U) – H=50 m

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sk} (kN/m)	T _{Sk} (kN/m)	M _{Sk} (kNm/m)	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)
Fase 8	A	114	2241.00	-61.16	24.33	2913.30	-79.51	31.63
	B	87	2688.00	16.06	-37.36	3494.40	20.88	-48.57
	C	80	2391.00	-57.85	-54.77	3108.30	-75.21	-71.20
	D	80	1361.00	-9.47	67.51	1769.30	-12.32	87.76
	E	80	2390.00	56.45	-53.72	3107.00	73.39	-69.84
	F	87	2674.00	-13.17	-37.35	3476.20	-17.12	-48.56

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	198 di 243

Fase 9	G	114	2250.00	58.61	26.00	2925.00	76.19	33.80
	H	80	-36.24	67.00	41.12	-47.11	87.10	53.46
	I	80	149.00	0.40	5.52	193.70	0.53	7.18
	L	80	-32.69	-63.81	50.87	-42.50	-82.95	66.13
	A	114	3915.00	-578.90	330.40	5089.50	-752.57	429.52
	B	87	3978.00	11.42	-298.10	5171.40	14.85	-387.53
	C	80	3694.00	-12.19	-37.81	4802.20	-15.85	-49.15
	D	80	3164.00	-26.05	193.90	4113.20	-33.87	252.07
	E	80	3693.00	9.71	-35.34	4800.90	12.63	-45.94
	F	87	3954.00	-7.96	-303.60	5140.20	-10.34	-394.68
	G	114	3928.00	582.30	337.80	5106.40	756.99	439.14
	H	80	7.46	203.60	135.10	9.70	264.68	175.63
	I	80	1546.00	-12.82	-135.00	2009.80	-16.67	-175.50
	L	80	21.97	-199.60	165.40	28.56	-259.48	215.02

Tab. 110 – Sezione B1*, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo – H=420 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N [kN]	M [kNm]	w _k [mm]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]
Fase 8	A	114	1φ20/20	1φ20/20	2241.00	24.33	-	-2	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	2688.00	-37.36	-	-3	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	2391.00	-54.77	-	-3	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	1361.00	67.51	-	-2	-
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	2390.00	-53.72	-	-3	-
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	2674.00	-37.35	-	-3	-
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	2250.00	26.00	-	-2	-
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	-36.24	41.12	-	-1	49
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	149.00	5.52	-	0	-
Fase 9	L	80	1φ20/20	1φ20/20	-32.69	50.87	-	-1	57
	A	114	1φ20/20	1φ20/20	3915.00	330.40	-	-5	-
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	3978.00	-298.10	-	-6	-
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	3694.00	-37.81	-	-5	-
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	3164.00	193.90	-	-5	-
E	80	1φ20/20	1φ20/20	3693.00	-35.34	-	-5	-	

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					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 199 di 243

F	87	1φ20/20	1φ20/20	3954.00	-303.60	-	-6	-
G	114	1φ20/20	1φ20/20	3928.00	337.80	-	-5	-
H	80	1φ20/20	1φ20/20	7.46	135.10	-	-2	123
I	80	1φ20/20	1φ20/20	1546.00	-135.00	-	-3	-
L	80	1φ20/20	1φ20/20	21.97	165.40	-	-3	146

Tab. 111 – Sezione B1*, Verifiche allo Stato Limite di Esercizio dei rivestimenti definitivi (S.L.E) – H=420 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	M _{Rd} [kNm/m]	M _{Rd} /M _{Sd} [-]
Fase 8	A	114	1φ20/20	1φ20/20	2913.30	31.63	1980	63
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	3494.40	-48.57	-1538	32
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	3108.30	-71.20	-1311	18
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	1769.30	87.76	1012	12
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	3107.00	-69.84	-1311	19
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	3476.20	-48.56	-1535	32
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	2925.00	33.80	1984	59
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	-47.11	53.46	426	8
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	193.70	7.18	508	71
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	-42.50	66.13	427	6
Fase 9	A	114	1φ20/20	1φ20/20	5089.50	429.52	2589	6
	B	87	1φ20/20	1φ20/20	5171.40	-387.53	-1741	4
	C	80	1φ20/20	1φ20/20	4802.20	-49.15	-1503	31
	D	80	1φ20/20	1φ20/20	4113.20	252.07	1450	6
	E	80	1φ20/20	1φ20/20	4800.90	-45.94	-1503	33
	F	87	1φ20/20	1φ20/20	5140.20	-394.68	-1739	4
	G	114	1φ20/20	1φ20/20	5106.40	439.14	2592	6
	H	80	1φ20/20	1φ20/20	9.70	175.63	445	3
	I	80	1φ20/20	1φ20/20	2009.80	-175.50	-1075	6
	L	80	1φ20/20	1φ20/20	28.56	215.02	452	2

Tab. 112 – Sezione B1*, Verifiche strutturali a presso-flessione dei rivestimenti definitivi (S.L.U) – H=420 m

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	V _{Sd} [kN/m]	V _{Rdc} [kN/m]	V _{Rds} [kN/m]	A _{st}	Min(V _{Rds} , V _{Rdc})/V _{Sd} [-]
------	---------	--------	-----------	------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------	---

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 200 di 243

Fase 8	A	114	1φ20/20	-79.51	3480	921	φ12/20x40	12
	B	87	1φ20/20	20.88	2754	344	φ12/40x40	16
	C	80	1φ20/20	-75.21	2512	314	φ12/40x40	4
	D	80	1φ20/20	-12.32	2323	314	φ12/40x40	25
	E	80	1φ20/20	73.39	2512	314	φ12/40x40	4
	F	87	1φ20/20	-17.12	2754	344	φ12/40x40	20
	G	114	1φ20/20	76.19	3482	921	φ12/20x40	12
	H	80	1φ20/20	87.10	5045	628	φ12/20x40	7
	I	80	1φ20/20	0.53	2044	314	φ12/40x40	598
L	80	1φ20/20	-82.95	5043	628	φ12/20x40	8	
Fase 9	A	114	1φ20/20	-752.57	3685	921	φ12/20x40	1
	B	87	1φ20/20	14.85	2754	344	φ12/40x40	23
	C	80	1φ20/20	-15.85	2512	314	φ12/40x40	20
	D	80	1φ20/20	-33.87	2512	314	φ12/40x40	9
	E	80	1φ20/20	12.63	2512	314	φ12/40x40	25
	F	87	1φ20/20	-10.34	2754	344	φ12/40x40	33
	G	114	1φ20/20	756.99	3685	921	φ12/20x40	1
	H	80	1φ20/20	264.68	2011	628	φ12/20x40	2
	I	80	1φ20/20	-16.67	2366	314	φ12/40x40	19
L	80	1φ20/20	-259.48	2015	627.79	φ12/20x40	2	

Tab. 113 – Sezione B1*, Verifiche strutturali a taglio dei rivestimenti definitivi (S.L.U) – H=420 m

10.6.5 Sezione C2*

Il rivestimento di prima fase della Sezione C2* è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine HEB220 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 6 di calcolo. Tab. 114 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate in Tab. 116 e risultano tutte soddisfatte.

Fase	Condizione	N_{Sk} (kN/m)	T_{Sk} (kN/m)	M_{Sk} (kNm/m)	N_{Sd} (kN/m)	T_{Sd} (kN/m)	M_{Sd} (kNm/m)
Fase 7	M_{max}	3237.00	17.76	40.93	4208.1	23.088	53.209

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												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>201 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	201 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	201 di 243								

N_{max}	3391.00	43.24	32.32	4408.3	56.212	42.016
T_{max}	3359.00	-74.58	-9.69	4366.7	-96.954	-12.591

Tab. 114 – Sezione C2*, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra Chiusa - Sezione B1
FASE:	Fase_05: Prerivestimento

MATERIALI

Spritz Beton		
Classe	C25/30	
R_{ck}	30	[MPa]
γ_c	1.5	[-]
f_{ck}	24.90	[MPa]
f_{cd}	14.11	[MPa]
f_{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	30	[cm]
A_{sb}	3000	[cm ²]
I_{sb}	225000	[cm ⁴]
W_{sb}	15000	[cm ³]
E_{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton

Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton

Coefficiente parziale resistenza

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton

Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton

Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton

Base della sezione di spritz beton

Altezza della sezione di spritz beton

Area della sezione di spritz beton

Momento di inerzia della sezione di spritz beton

Momento resistente della sezione di spritz beton

Modulo di elasticità dello spritz beton

Centine		
Tipo	S275	
Profilato	HEB220	
γ_s	1.05	[-]
N.	1	[-]
f_y	275	[MPa]
f_{yd}	261.9	[MPa]
A_{cent}	91	[cm ²]
I_{cent}	8091	[cm ⁴]
W_{cent}	736	[cm ³]
h_{cent}	220	[mm]
a	9.5	[mm]
d	1.00	[m]
E_{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio

Tipologia centine

Coefficiente parziale resistenza

Numero centine

Tensione di snervamento dell'acciaio

Massima tensione nell'acciaio

Area del profilato

Momento di inerzia del profilato

Momento resistente del profilato

Altezza profilato

Spessore dell'anima del profilato

Interasse longitudinale tra le centine

Modulo di elasticità dell'acciaio

Rivestimento equivalente		
s_{eq}	30	[cm]
E_{eq}	36371	[MPa]

Spessore equivalente

Modulo di elasticità equivalente

Tab. 115 – Sezione C2*, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 202 di 243

VERIFICHE

Verifica centine							Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]		
727.2	23.09	53.21	152.2	7.6	11.0	153.4	OK	1.7
761.8	56.21	42.02	140.8	26.6	26.9	148.3	OK	1.8
754.6	96.95	-12.59	100.0	65.8	46.4	128.3	OK	2.0

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
3481	11.60	OK	1.216
3647	12.16	OK	1.161
3612	12.04	OK	1.172

ESITO VERIFICHE

Verifica		Verifica	Verifica
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 116 – Sezione C2*, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 7)

La verifica dei rivestimenti definitivi è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma = 1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E = 1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio, nelle sezioni caratteristiche del rivestimento.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 203 di 243

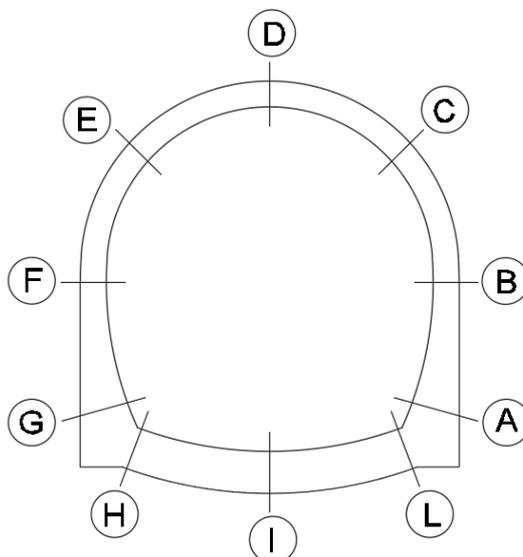


Fig. 140 – Sezione C2*, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 117 riporta le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo.

Le verifiche strutturali sono state condotte considerando un copriferro di 5.0 cm.

Tab. 118, Tab. 119 e Tab. 120 riportano le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte.

Nelle verifiche agli SLE ove non indicata/calcolata la w_k significa che non si verifica fessurazione.

Per quanto concerne le verifiche a taglio si è indicato:

V_{sd} taglio sollecitante

V_{Rdc} taglio resistente lato calcestruzzo dell'elemento armato

V_{Rds} taglio resistente lato acciaio dell'elemento armato

Fase	Sezione	H [cm]	N_{Sk} (kN/m)	T_{Sk} (kN/m)	M_{Sk} (kNm/m)	N_{Sd} (kN/m)	T_{Sd} (kN/m)	M_{Sd} (kNm/m)
Fase 8	A	123.00	1934.00	-66.98	-40.25	2514.20	-87.07	-52.33
	B	92.00	2960.00	25.68	59.52	3848.00	33.38	77.38
	C	90.00	2146.00	13.37	65.44	2789.80	17.38	85.07

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C FOGLIO. 204 di 243	

Fase 9	D	90.00	539.60	-1.66	-41.92	701.48	-2.16	-54.50
	E	90.00	2138.00	-16.17	-65.79	2779.40	-21.02	-85.53
	F	92.00	2922.00	13.89	56.91	3798.60	18.06	73.98
	G	123.00	1910.00	63.29	38.43	2483.00	82.28	49.96
	H	90.00	180.50	-6.13	-16.34	234.65	-7.97	-21.24
	I	90.00	184.80	2.75	-16.26	240.24	3.57	-21.14
	L	90.00	181.50	7.74	17.92	235.95	10.06	23.30
	A	123.00	3227.00	-644.30	-566.00	4195.10	-837.59	-735.80
	B	92.00	3870.00	37.65	277.50	5031.00	48.95	360.75
	C	90.00	3369.00	27.70	-61.90	4379.70	36.01	-80.47
	D	90.00	2113.00	-30.83	-177.20	2746.90	-40.08	-230.36
	E	90.00	3361.00	-29.64	61.53	4369.30	-38.53	79.99
	F	92.00	3832.00	17.63	278.00	4981.60	22.92	361.40
	G	123.00	3204.00	643.10	565.30	4165.20	836.03	734.89
H	90.00	1676.00	-307.00	-270.00	2178.80	-399.10	-351.00	
I	90.00	1684.00	-19.10	-185.40	2189.20	-24.83	-241.02	
L	90.00	1677.00	307.30	265.20	2180.10	399.49	344.76	

Tab. 117 – Sezione C2*, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N [kN]	M [kNm]	w _k [mm]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]
Fase 8	A	123.00	1φ20/20	1φ20/20	1934.00	-40.25	-	-2	-
	B	92.00	1φ20/20	1φ20/20	2960.00	59.52	-	-3	-
	C	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2146.00	65.44	-	-3	-
	D	90.00	1φ20/20	1φ20/20	539.60	-41.92	-	-1	-
	E	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2138.00	-65.79	-	-3	-
	F	92.00	1φ20/20	1φ20/20	2922.00	56.91	-	-3	-
	G	123.00	1φ20/20	1φ20/20	1910.00	38.43	-	-2	-
	H	90.00	1φ20/20	1φ20/20	180.50	-16.34	-	0	-
	I	90.00	1φ20/20	1φ20/20	184.80	-16.26	-	0	-
	L	90.00	1φ20/20	1φ20/20	181.50	17.92	-	0	-
Fase 9	A	123.00	1φ20/20	1φ20/20	3227.00	-566.00	-	-5	-
	B	92.00	1φ20/20	1φ20/20	3870.00	277.50	-	-6	-
	C	90.00	1φ20/20	1φ20/20	3369.00	-61.90	-	-4	-
	D	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2113.00	-177.20	-	-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: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 205 di 243

E	90.00	1φ20/20	1φ20/20	3361.00	61.53	-	-4	-
F	92.00	1φ20/20	1φ20/20	3832.00	278.00	-	-6	-
G	123.00	1φ20/20	1φ20/20	3204.00	565.30	-	-5	-
H	90.00	1φ20/20	1φ20/20	1676.00	-270.00	-	-4	-
I	90.00	1φ20/20	1φ20/20	1684.00	-185.40	-	-3	-
L	90.00	1φ20/20	1φ20/20	1677.00	265.20	-	-4	-

Tab. 118 – Sezione C2*, Verifiche allo Stato Limite di Esercizio dei rivestimenti definitivi (S.L.E)

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	M _{Rd} [kNm/m]	M _{Rd} /M _{Sd} [-]
Fase 8	A	123.00	1φ20/20	1φ20/20	2514.20	-52.33	-1999	38
	B	92.00	1φ20/20	1φ20/20	3848.00	77.38	1725	22
	C	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2789.80	85.07	1453	17
	D	90.00	1φ20/20	1φ20/20	701.48	-54.50	-777	14
	E	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2779.40	-85.53	-1450	17
	F	92.00	1φ20/20	1φ20/20	3798.60	73.98	1716	23
	G	123.00	1φ20/20	1φ20/20	2483.00	49.96	1986	40
	H	90.00	1φ20/20	1φ20/20	234.65	-21.24	-596	28
	I	90.00	1φ20/20	1φ20/20	240.24	-21.14	-598	28
	L	90.00	1φ20/20	1φ20/20	235.95	23.30	596	26
Fase 9	A	123.00	1φ20/20	1φ20/20	4195.10	-735.80	-2624	4
	B	92.00	1φ20/20	1φ20/20	5031.00	360.75	1888	5
	C	90.00	1φ20/20	1φ20/20	4379.70	-80.47	-1755	22
	D	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2746.90	-230.36	-1442	6
	E	90.00	1φ20/20	1φ20/20	4369.30	79.99	1754	22
	F	92.00	1φ20/20	1φ20/20	4981.60	361.40	1884	5
	G	123.00	1φ20/20	1φ20/20	4165.20	734.89	2615	4
	H	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2178.80	-351.00	-1288	4
	I	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2189.20	-241.02	-1291	5
	L	90.00	1φ20/20	1φ20/20	2180.10	344.76	1288	4

Tab. 119 – Sezione C2*, Verifiche strutturali a presso-flessione dei rivestimenti definitivi (S.L.U)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 206 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	V _{Sd} [kN/m]	V _{Rdc} [kN/m]	V _{Rds} [kN/m]	A _{st}	Min(V _{Rds} , V _{Rdc})/V _{Sd} [-]
Fase 8	A	123.00	1φ20/20	-87.07	3658	2718	φ14/20x20	31
	B	92.00	1φ20/20	33.38	2926	498	φ12/40x40	15
	C	90.00	1φ20/20	17.38	2786	486	φ12/40x40	28
	D	90.00	1φ20/20	-2.16	2411	486	φ12/40x40	225
	E	90.00	1φ20/20	-21.02	2784	486	φ12/40x40	23
	F	92.00	1φ20/20	18.06	2926	498	φ12/40x40	28
	G	123.00	1φ20/20	82.28	3652	2718	φ14/20x20	33
	H	90.00	1φ20/20	-7.97	2328	972	φ12/20x40	122
	I	90.00	1φ20/20	3.57	2329	486	φ12/40x40	136
	L	90.00	1φ20/20	10.06	2328	972	φ12/20x40	97
Fase 9	A	123.00	1φ20/20	-837.59	3966	2718	φ14/20x20	3
	B	92.00	1φ20/20	48.95	2926	498	φ12/40x40	10
	C	90.00	1φ20/20	36.01	2857	486	φ12/40x40	13
	D	90.00	1φ20/20	-40.08	2778	486	φ12/40x40	12
	E	90.00	1φ20/20	-38.53	2857	486	φ12/40x40	13
	F	92.00	1φ20/20	22.92	2926	498	φ12/40x40	22
	G	123.00	1φ20/20	836.03	3961	2718	φ14/20x20	3
	H	90.00	1φ20/20	-399.10	2676	972	φ12/20x40	2
	I	90.00	1φ20/20	-24.83	2678	486	φ12/40x40	20
	L	90.00	1φ20/20	399.49	2676	971.86	φ12/20x40	2

Tab. 120. Sezione C2*, Verifiche strutturali a taglio dei rivestimenti definitivi (S.L.U)

10.6.6 Sezione C1bis*

Il rivestimento di prima fase della sezione C1bis* è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine accoppiate ZIPN200 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 4 di calcolo, in cui si registra il massimo avanzamento del fronte prima dell'installazione del rivestimento definitivo.

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

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 207 di 243

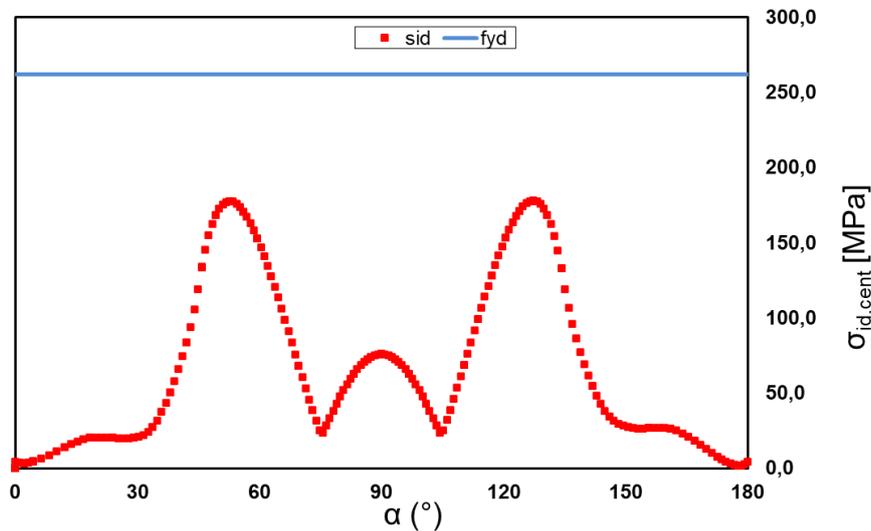


Fig. 141 – Verifica tensionale *centine* – Fase 4

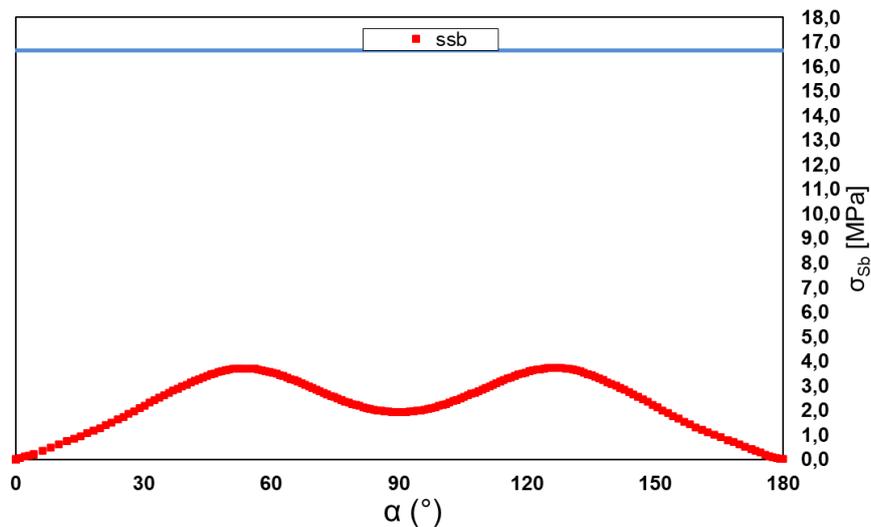


Fig. 142 – Verifica tensionale *spritz beton* – Fase 4

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §10.5.2 e §10.5.3 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

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

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 208 di 243

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio (Spilli)
Calotta	25/30	0.95 m	Φ16/20	Φ16/20	Φ10/20x40
Murette	25/30	1.20 m	Φ20/10	Φ20/10	Φ10/20x40
Arco rovescio	25/30	0.90 m	Φ20/10	Φ20/10	Φ10/20x40

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 6 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di fattore di sicurezza, calcolato al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento come rapporto tra azione e resistenza. Ad un FS=1 corrisponde il raggiungimento della resistenza tagliante dell'elemento. Si è scelta questa rappresentazione delle verifiche perché permette anche di effettuare paragoni tra le riserve a taglio possedute dalle diverse porzioni 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.

Per gli elementi non armati, come specificato in §10.5.3, vanno eseguite verifiche ai sensi delle NTC 2008, i cui risultati sono riportati sempre al variare di α , come confronto tra tensioni sollecitanti e i limiti tensionali imposti alla tensione normale e quella tangenziale.

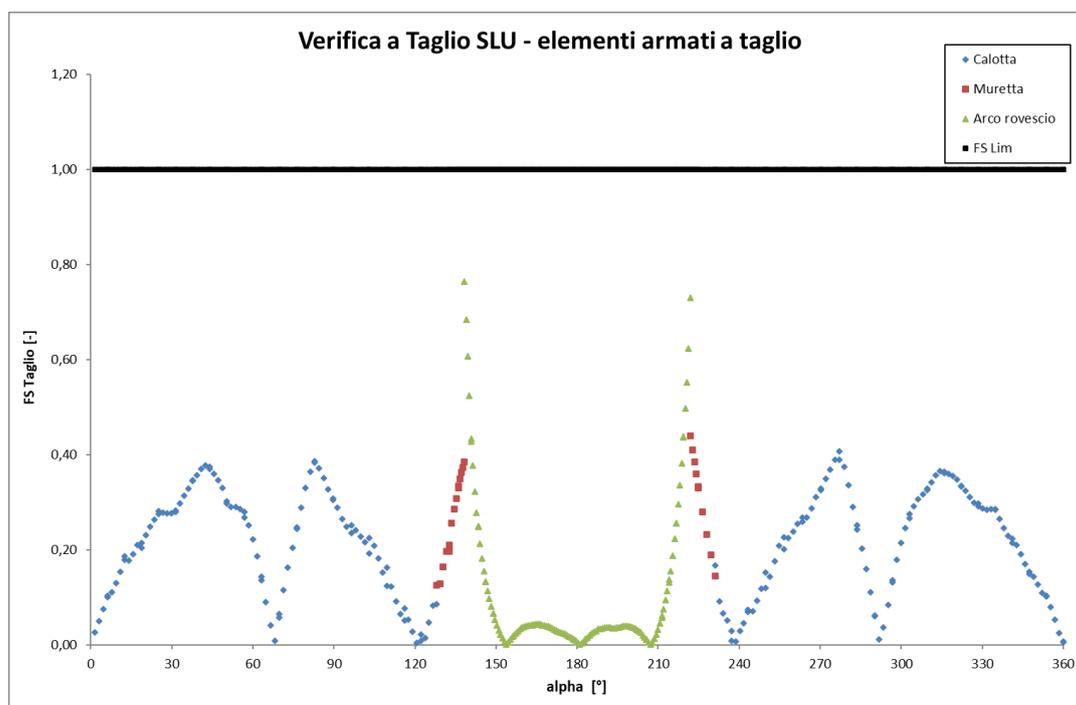


Fig. 143 – Verifica a taglio rivestimento definitive (verifica per elementi dotati di specifica armature a taglio) – Fase 6

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO		
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C FOGLIO. 209 di 243

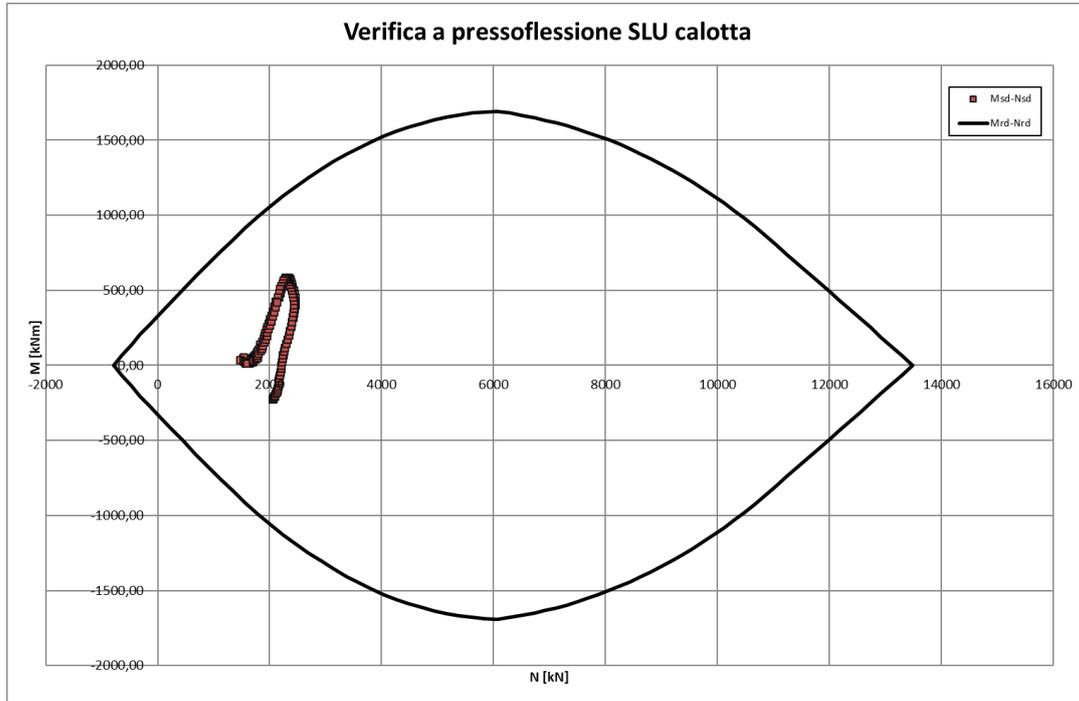


Fig. 144 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) Fase 6

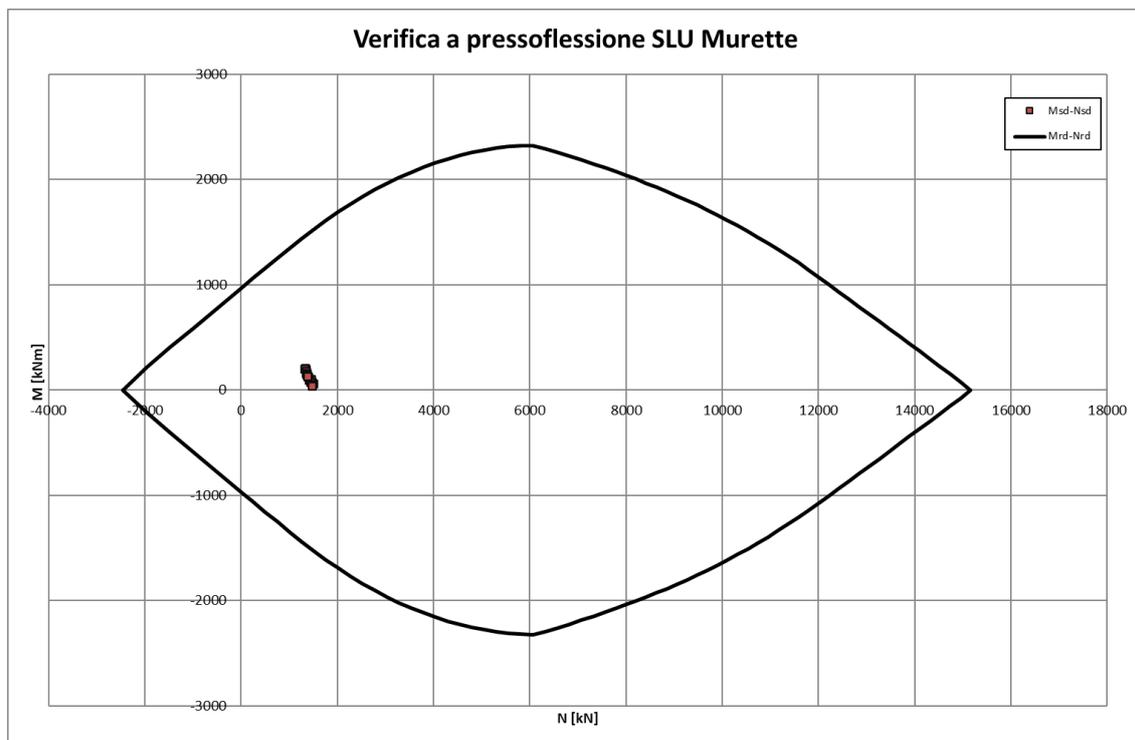


Fig. 145 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette – Coppie (M;N) Fase 6

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 210 di 243

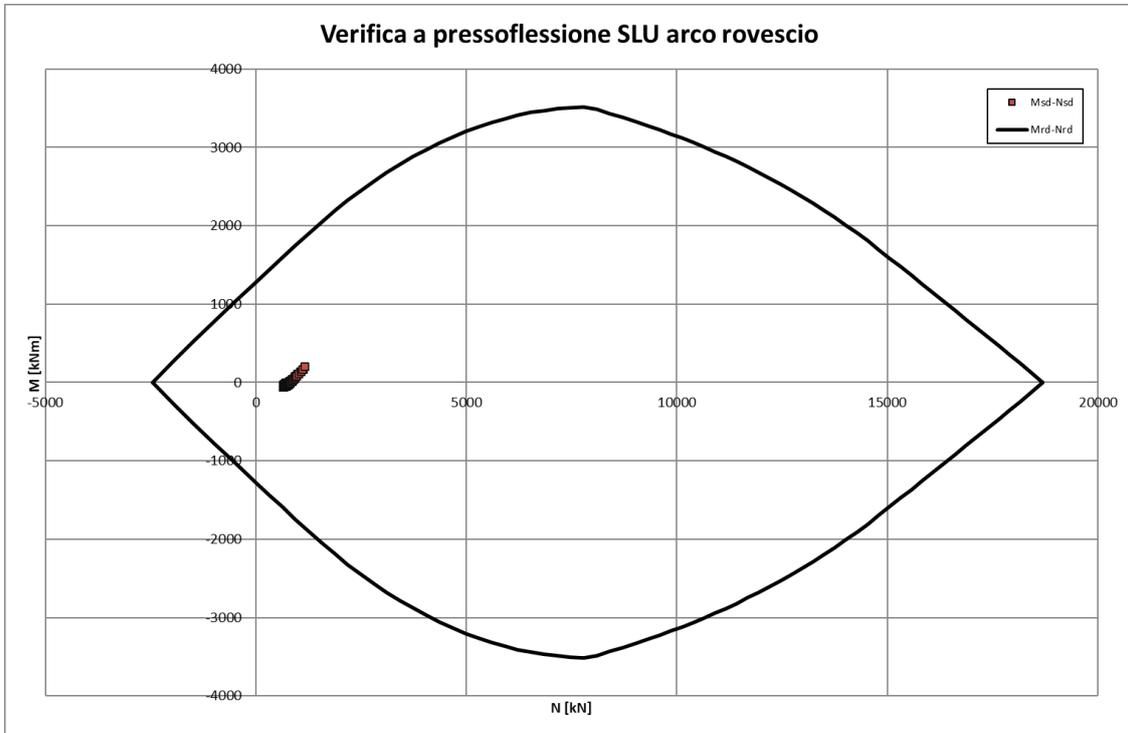


Fig. 146 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) Fase 6

Si riportano inoltre di seguito, come specificato in §10.5.2, le verifiche agli SLE eseguite sul rivestimento definitivo, sia tensionali che a fessurazione, in forma cartesiana al variare dell'angolo α .

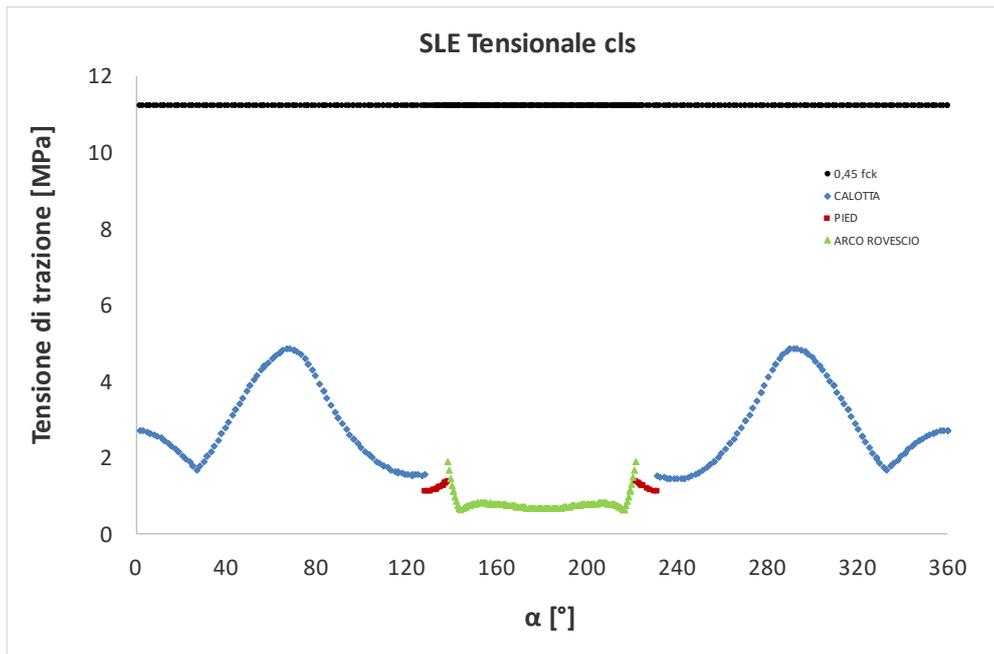


Fig. 147 – Verifica tensioni calcestruzzo - Fase 6

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:	PROGETTO ESECUTIVO													
Mandataria:	Mandanti:	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>211 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	211 di 243
COMMESSA	LOTTO		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	211 di 243									
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo														

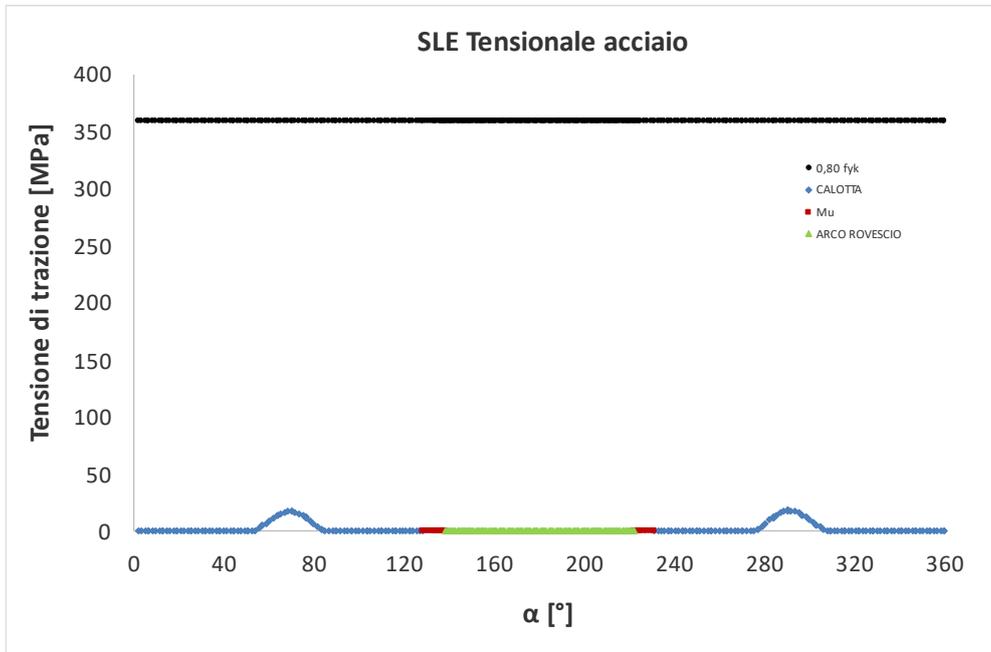


Fig. 148 – Verifica tensioni acciaio – Fase 6

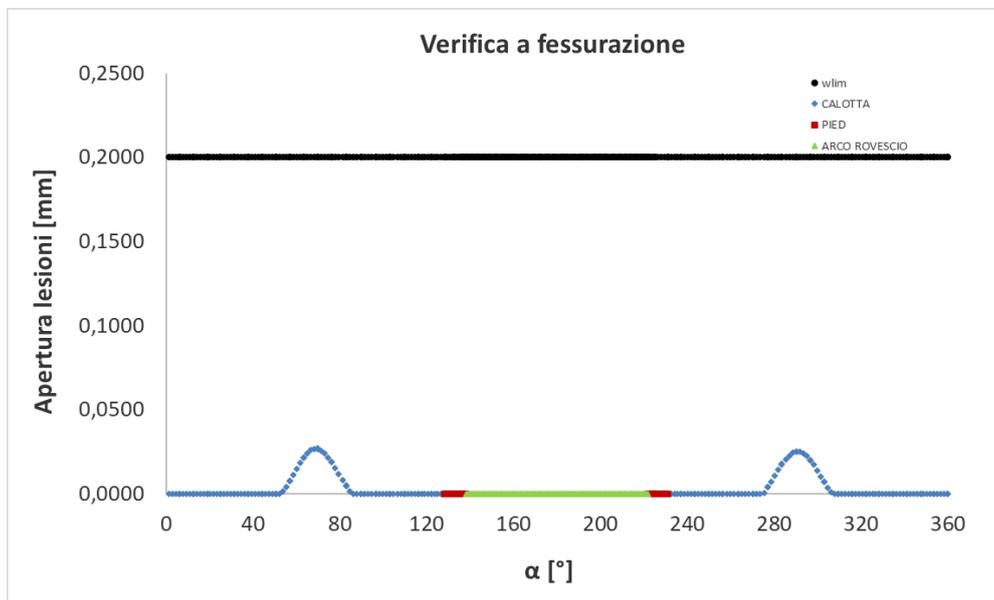


Fig. 149 – Verifica a fessurazione - Fase 6

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 212 di 243

10.6.7 Camera di manovra

Il rivestimento di prima fase della Camera di manovra è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine accoppiate 2IPN200 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alle fasi 5, 6 9 e 10 di calcolo. La Tab. 121 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate nelle tabelle seguenti (da Tab. 123 a Tab. 126) e risultano tutte soddisfatte.

Fase	Condizione	N_{Sk} [kN/m]	T_{Sk} [kN/m]	M_{Sk} [kNm/m]	N_{Sd} [kN/m]	T_{Sd} [kN/m]	M_{Sd} [kNm/m]
Fase 5	M_{max}	387.8	9.753	13.72	504.1	12.7	17.8
	N_{max}	418.5	9.321	1.709	544.1	12.1	2.2
	T_{max}	340.4	17.57	5.683	442.5	22.8	7.4
Fase 6	M_{max}	510.2	17.66	33.03	663.3	23.0	42.9
	N_{max}	805.7	6.106	-23.12	1047.4	7.9	-30.1
	T_{max}	741.8	55.63	31.6	964.3	72.3	41.1
Fase 9	M_{max}	433.2	65.36	73.76	563.2	85.0	95.9
	N_{max}	687.4	7.927	0.3371	893.6	10.3	0.4
	T_{max}	528.5	71.57	13.35	687.1	93.0	17.4
Fase 10	M_{max}	681.0	80.9	96.2	885.3	105.2	125.1
	N_{max}	1106.0	13.6	2.7	1437.8	17.7	3.5
	T_{max}	837.7	105.3	18.3	1089.0	136.9	23.7

Tab. 121 – Camera di manovra, Sollecitazioni rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 213 di 243

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra Chiusa - Camerone
FASE:	Fase_SM_05 - 06 -10 -11

MATERIALI

<i>Spritz Beton</i>		
Classe	C25/30	
R _{ck}	30	[MPa]
γ _c	1.5	[-]
f _{ck}	24.90	[MPa]
f _{cd}	14.11	[MPa]
f _{ctm}	-1.19	[MPa]
B	100	[cm]
s	30	[cm]
A _{sb}	3000	[cm ²]
I _{sb}	225000	[cm ⁴]
W _{sb}	15000	[cm ³]
E _{sb}	31447	[MPa]

Classe dello spritz beton

Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton

Coefficiente parziale resistenza

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton

Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton

Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton

Base della sezione di spritz beton

Altezza della sezione di spritz beton

Area della sezione di spritz beton

Momento di inerzia della sezione di spritz beton

Momento resistente della sezione di spritz beton

Modulo di elasticità dello spritz beton

<i>Centine</i>		
Tipo	S355	
Profilato	IPN200	
γ _s	1.05	[-]
N.	2	[-]
f _y	355	[MPa]
f _{yd}	338.1	[MPa]
A _{cent}	33.4	[cm ²]
I _{cent}	2138	[cm ⁴]
W _{cent}	214	[cm ³]
h _{cent}	200	[mm]
a	7.5	[mm]
d	1.0	[m]
E _{cent}	210000	[MPa]

Tipologia acciaio

Tipologia centine

Coefficiente parziale resistenza

Numero centine

Tensione di snervamento dell'acciaio

Massima tensione nell'acciaio

Area del profilato

Momento di inerzia del profilato

Momento resistente del profilato

Altezza profilato

Spessore dell'anima del profilato

Interasse longitudinale tra le centine

Modulo di elasticità dell'acciaio

<i>Rivestimento equivalente</i>		
S _{eq}	30	[cm]
E _{eq}	35718	[MPa]

Spessore equivalente

Modulo di elasticità equivalente

Tab. 122 – Camera di manovra, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>214 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	214 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	214 di 243								

Verifica centine								
N_{cent}	$ T_{cent} $	M_{cent}	$\sigma_{max,cent}$	$\sigma_{min,cent}$	τ_{cent}	σ_{id}	Verifica	$SF_{(\sigma_{id}, f_{yd})}$
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		
66.5	12.68	-17.84	51.6	-31.7	4.2	52.2	OK	6.5
71.8	12.12	2.22	15.9	5.6	4.0	17.4	OK	19.4
58.4	22.84	-7.39	26.0	-8.5	7.6	29.2	OK	11.6

Verifica spritz beton			
N_{spritz}	$\sigma_{max,sb}$	Verifica	$SF_{(\sigma_{max,sb}, f_{cd})}$
[kN]	[MPa]		
438	1.46	OK	9.7
472	1.57	OK	9.0
384	1.28	OK	11.0

ESITO VERIFICHE

Verifica pressoflessione		Verifica taglio	Verifica σ_{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 123 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 5)

Verifica centine								
N_{cent}	$ T_{cent} $	M_{cent}	$\sigma_{max,cent}$	$\sigma_{min,cent}$	τ_{cent}	σ_{id}	Verifica	$SF_{(\sigma_{id}, f_{yd})}$
[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		
87.6	22.96	42.94	113.4	-87.2	7.7	114.2	OK	3.0
138.3	7.94	-30.06	90.9	-49.5	2.6	91.0	OK	3.7
127.3	72.32	-41.08	115.0	-76.9	24.1	122.4	OK	2.8

Verifica spritz beton			
N_{spritz}	$\sigma_{max,sb}$	Verifica	$SF_{(\sigma_{max,sb}, f_{cd})}$
[kN]	[MPa]		
576	1.92	OK	7.4
909	3.03	OK	4.7
837	2.79	OK	5.1

ESITO VERIFICHE

Verifica pressoflessione		Verifica taglio	Verifica σ_{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 124 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 6)

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	215 di 243

Verifica centine								Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]			
74.3	84.97	-95.89	235.2	-212.9	28.3	240.2	OK	1.4	
118.0	10.31	-0.44	18.7	16.6	3.4	19.6	OK	17.2	
90.7	93.04	-17.36	54.1	-27.0	31.0	76.3	OK	4.4	

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
489	1.63	OK	8.7
776	2.59	OK	5.5
596	1.99	OK	7.1

ESITO VERIFICHE

Verifica presso-flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 125 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 9)

Verifica centine								Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]			
116.9	105.20	-125.06	309.7	-274.7	35.1	315.6	OK	1.1	
189.8	17.71	-3.52	36.6	20.2	5.9	38.0	OK	8.9	
143.8	136.89	-23.74	77.0	-33.9	45.6	110.3	OK	3.1	

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
768	2.56	OK	5.5
1248	4.16	OK	3.4
945	3.15	OK	4.5

ESITO VERIFICHE

Verifica presso-flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 126 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 10)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 216 di 243

La verifica dei rivestimenti definitivi è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Le azioni di calcolo per le verifiche S.L.U. sono definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1.0$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E = 1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa vigente).

Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio, nelle sezioni caratteristiche del rivestimento.

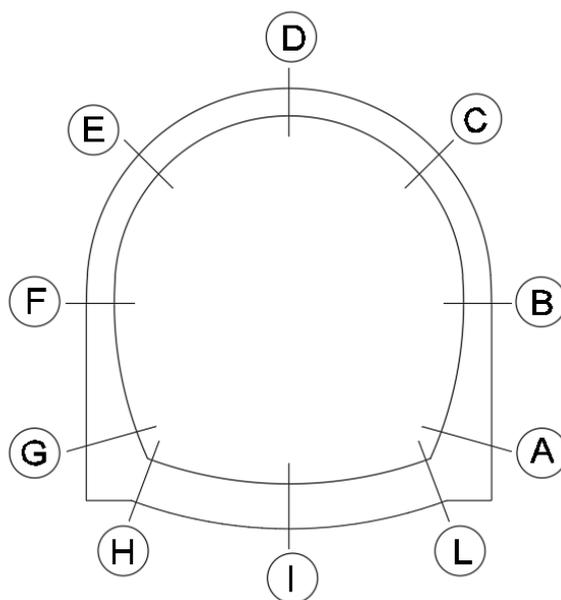


Fig. 150 – Camera di manovra, Sezioni di verifica del rivestimento definitivo

Tab. 127 riporta le sollecitazioni di caratteristiche ottenute dall'analisi numerica e quelle di calcolo adottate nelle verifiche strutturali del rivestimento definitivo.

Le verifiche strutturali sono state condotte considerando un copriferro di 5.0 cm.

Tab. 128, Tab. 129 e Tab. 130 riportano le verifiche strutturali condotte per il rivestimento definitivo; come si può osservare queste risultano tutte soddisfatte.

Nelle verifiche agli SLE ove non indicata/calcolata la w_k significa che non si verifica fessurazione.

Per quanto concerne le verifiche a taglio si è indicato:

V_{sd} taglio sollecitante

V_{Rdc} taglio resistente lato calcestruzzo dell'elemento armato

V_{Rds} taglio resistente lato acciaio dell'elemento armato

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 217 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	N _{Sk} (kN/m)	T _{Sk} (kN/m)	M _{Sk} (kNm/m)	N _{Sd} (kN/m)	T _{Sd} (kN/m)	M _{Sd} (kNm/m)
Fase 11	A	128.0	6247.0	-2086.0	-1331.0	8121.1	-2711.8	-1730.3
	B	110.0	5862.0	-130.4	-133.3	7620.6	-169.5	-173.3
	C	110.0	3533.0	63.1	26.1	4592.9	82.1	33.9
	D	110.0	1490.0	5.1	169.4	1937.0	6.6	220.2
	E	110.0	3863.0	-32.0	72.3	5021.9	-41.6	94.0
	F	110.0	5837.0	131.3	-129.4	7588.1	170.7	-168.2
	G	128.0	6216.0	2081.0	-1325.0	8080.8	2705.3	-1722.5
	H	120.0	2124.0	258.8	-726.3	2761.2	336.4	-944.2
	I	120.0	927.9	-1.3	-53.2	1206.3	-1.7	-69.1
	L	120.0	2128.0	-267.2	-729.3	2766.4	-347.4	-948.1

Tab. 127 – Camera di manovra, Sollecitazioni di caratteristiche e di calcolo

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N [kN]	M [kNm]	w _k [mm]	σ _{cls} [MPa]	σ _s [MPa]
Fase 11	A	128.0	1φ16/10	1φ16/20	6247.0	-1331.0	-	-9.4	-9.4
	B	110.0	1φ16/10	1φ16/20	5862.0	-133.3	-	-5.9	-67.1
	C	110.0	1φ16/10	1φ16/20	3533.0	26.1	-	-3.3	-43.6
	D	110.0	1φ16/10	1φ16/20	1490.0	169.4	-	-2.1	-9.1
	E	110.0	1φ16/10	1φ16/20	3863.0	72.3	-	-3.8	-45.1
	F	110.0	1φ16/10	1φ16/20	5837.0	-129.4	-	-5.9	-67.0
	G	128.0	1φ16/10	1φ16/20	6216.0	-1325.0	-	-9.4	-9.3
	H	120.0	1φ16/10	1φ16/20	2124.0	-726.3	-	-4.9	24.1
	I	120.0	1φ16/10	1φ16/20	927.9	-53.2	-	-1.0	-8.2
	L	120.0	1φ16/10	1φ16/20	2128.0	-729.3	-	-5.0	24.4

Tab. 128 – Camera di manovra, Verifiche allo Stato Limite di Esercizio dei rivestimenti definitivi (S.L.E)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 218 di 243

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	A's (compr)	N _{Sd} [kN/m]	M _{Sd} [kNm/m]	M _{Rd} [kNm/m]	M _{Rd} /M _{Sd} [-]
Fase 11	A	128.0	1φ16/10	1φ16/20	8121.1	-1730.3	3463.7	2.0
	B	110.0	1φ16/10	1φ16/20	7620.6	-173.3	2589.5	14.9
	C	110.0	1φ16/10	1φ16/20	4592.9	33.9	2401.6	70.9
	D	110.0	1φ16/10	1φ16/20	1937.0	220.2	1644.1	7.5
	E	110.0	1φ16/10	1φ16/20	5021.9	94.0	2468.2	26.3
	F	110.0	1φ16/10	1φ16/20	7588.1	-168.2	2593.5	15.4
	G	128.0	1φ16/10	1φ16/20	8080.8	-1722.5	3461.3	2.0
	H	120.0	1φ16/10	1φ16/20	2761.2	-944.2	2141.6	2.3
	I	120.0	1φ16/10	1φ16/20	1206.3	-69.1	1489.9	21.6
	L	120.0	1φ16/10	1φ16/20	2766.4	-948.1	2143.4	2.3

Tab. 129 – Camera di manovra, Verifiche strutturali a presso-flessione dei rivestimenti definitivi (S.L.U)

Fase	Sezione	H [cm]	As (tesa)	V _{Sd} [kN/m]	V _{Rdc} [kN/m]	V _{Rds} [kN/m]	A _{st}	Min (V _{Rdc} , V _{Rds})/V _{Sd} [-]
Fase 11	A	128.0	1φ16/10	-2711.8	3594.5	2840.5	φ14/20x20	1.05
	B	110.0	1φ16/10	-169.5	3059.8	444.1	φ12/40x40	2.62
	C	110.0	1φ16/10	82.1	3059.8	444.1	φ12/40x40	5.41
	D	110.0	1φ16/10	6.6	3059.8	444.1	φ12/40x40	67.43
	E	110.0	1φ16/10	-41.6	3059.8	444.1	φ12/40x40	10.68
	F	110.0	1φ16/10	170.7	3059.8	444.1	φ12/40x40	2.60
	G	128.0	1φ16/10	2705.3	3594.5	2840.5	φ14/20x20	1.05
	H	120.0	1φ16/10	336.4	3356.9	974.4	φ12/20x40	2.90
	I	120.0	1φ16/10	-1.7	3356.9	974.4	φ12/20x40	585.15
	L	120.0	1φ16/10	-347.4	3356.9	974.4	φ12/20x40	2.81

Tab. 130 – Camera di manovra, Verifiche strutturali a taglio dei rivestimenti definitivi (S.L.U)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>219 di 243</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	219 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	219 di 243								

10.6.8 Camera di allargo al Camerone di Manovra

Il rivestimento di prima fase dell'allargo alla Camera di manovra è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine HEB180 a passo 1.4 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte considerando le medesime sollecitazioni ottenute dall'analisi numerica relativa al Camerone di Manovra, che corrisponde alla dimensione massima della camera di allargo, con riferimento alle fasi 9 e 10 di calcolo. La Tab. 121 riporta le sollecitazioni massime ottenute dall'analisi numerica e le sollecitazioni di verifica, amplificate per il coefficiente parziale $\gamma_E = 1.3$.

Le verifiche strutturali del rivestimento di prima fase sono riportate Tab. 132 e Tab. 133 e risultano tutte soddisfatte.

VERIFICA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE NORMATIVA DI RIFERIMENTO: DM 2008

LAVORO:	Linea Fortezza - Ponte Gardena
Galleria:	Finestra Chiusa - Allargo
FASE:	Fase 09 e 10

MATERIALI

Spritz Beton			
Classe	C25/30		Classe dello spritz beton
R_{ck}	30	[MPa]	Resistenza a compressione cubica caratteristica dello spritz beton
γ_c	1.5	[-]	Coefficiente parziale resistenza
f_{ck}	24.90	[MPa]	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica dello spritz beton
f_{cd}	14.11	[MPa]	Resistenza di calcolo a compressione dello spritz beton
f_{ctm}	-1.19	[MPa]	Resistenza di calcolo a trazione dello spritz beton
B	100	[cm]	Base della sezione di spritz beton
s	30	[cm]	Altezza della sezione di spritz beton
A_{sb}	3000	[cm ²]	Area della sezione di spritz beton
I_{sb}	225000	[cm ⁴]	Momento di inerzia della sezione di spritz beton
W_{sb}	15000	[cm ³]	Momento resistente della sezione di spritz beton
E_{sb}	31447	[MPa]	Modulo di elasticità dello spritz beton

Centine			
Tipo	S355		Tipologia acciaio
Profilato	HEB180		Tipologia centine
γ_s	1.05	[-]	Coefficiente parziale resistenza
N.	2	[-]	Numero centine
f_y	355	[MPa]	Tensione di snervamento dell'acciaio
f_{yd}	338.1	[MPa]	Massima tensione nell'acciaio
A_{cent}	65.3	[cm ²]	Area del profilato
I_{cent}	3831	[cm ⁴]	Momento di inerzia del profilato
W_{cent}	426	[cm ³]	Momento resistente del profilato
h_{cent}	180	[mm]	Altezza profilato
a	8.5	[mm]	Spessore dell'anima del profilato
d	1.4	[m]	Intersasse longitudinale tra le centine
E_{cent}	210000	[MPa]	Modulo di elasticità dell'acciaio

Rivestimento equivalente			
s_{eq}	30	[cm]	Spessore equivalente
E_{eq}	37619	[MPa]	Modulo di elasticità equivalente

Tab. 131 – Camera di manovra, Caratteristiche del rivestimento di prima fase

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 220 di 243

VERIFICHE

Verifica centine							Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]		
139.1	118.96	-134.24	168.2	-146.9	38.9	181.2	OK	1.4
220.8	14.43	-0.61	17.6	16.2	4.7	19.4	OK	13.5
169.8	130.26	-24.30	41.5	-15.5	42.6	84.6	OK	3.1

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
464	1.55	OK	9.1
736	2.45	OK	5.8
566	1.89	OK	7.5

ESITO VERIFICHE

Verifica presso-flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 132 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 9)

VERIFICHE

Verifica centine							Verifica	SF _(σ_{id}, f_{yd}) [-]
N _{cent} [kN]	T _{cent} [kN]	M _{cent} [kNm]	σ _{max,cent} [MPa]	σ _{min,cent} [MPa]	τ _{cent} [MPa]	σ _{id} [MPa]		
218.7	147.27	-175.08	222.2	-188.7	48.1	237.4	OK	1.1
355.3	24.79	-4.92	33.0	21.4	8.1	35.8	OK	7.3
269.1	191.65	-33.23	59.6	-18.4	62.6	123.8	OK	2.1

Verifica spritz beton			
N _{spritz} [kN]	σ _{max,sb} [MPa]	Verifica	SF _(σ_{max,sb}, f_{cd}) [-]
729	2.43	OK	5.8
1184	3.95	OK	3.6
897	2.99	OK	4.7

ESITO VERIFICHE

Verifica presso-flessione		Verifica taglio	Verifica σ _{id}
centine	spritz	centine	centine
si	si	si	si
si	si	si	si
si	si	si	si

Tab. 133 – Camera di manovra, Verifica del rivestimento di prima fase (fase 10)

Per la verifica dei rivestimenti definitivi si rimanda a quanto ottenuto sulla Camera di Manovra, che corrisponde alla dimensione massima della camera di allargo.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 221 di 243

10.6.9 Galleria tecnologica (GN05.J)

Il rivestimento di prima fase della sezione GN05.J è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.2 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 5 di calcolo, in cui vengono installati i bulloni radiali e si registra il massimo avanzamento del fronte prima dell'installazione del rivestimento definitivo.

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

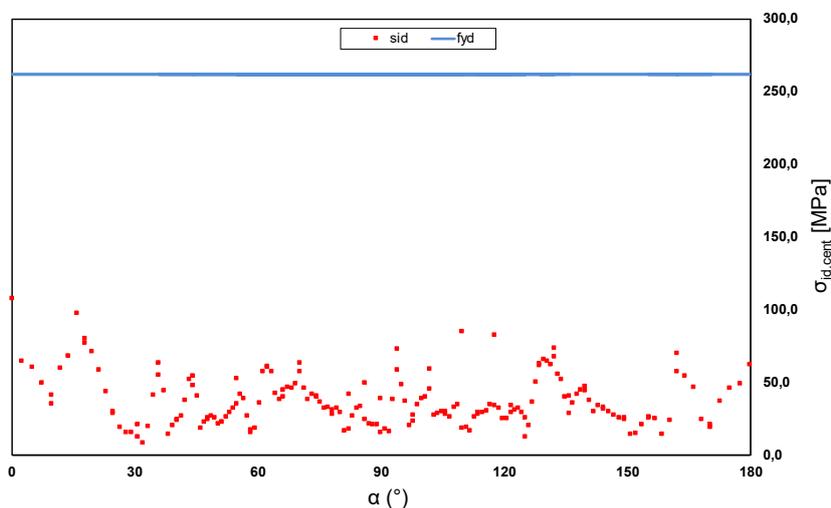


Fig. 151 – Verifica tensionale *centine* – Fase 5

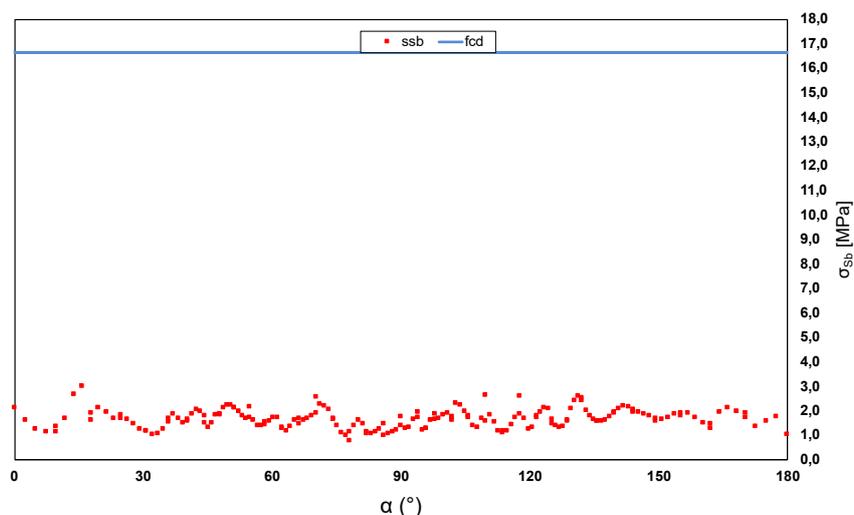


Fig. 152 – Verifica tensionale *spritz beton* – Fase 5

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 222 di 243

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §10.5.2 §10.5.3 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

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

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

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 8 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di fattore di sicurezza, calcolato al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento come rapporto tra azione e resistenza. Ad un FS=1 corrisponde il raggiungimento della resistenza tagliante dell'elemento. Si è scelta questa rappresentazione delle verifiche perché permette anche di effettuare paragoni tra le riserve a taglio possedute dalle diverse porzioni 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: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 223 di 243

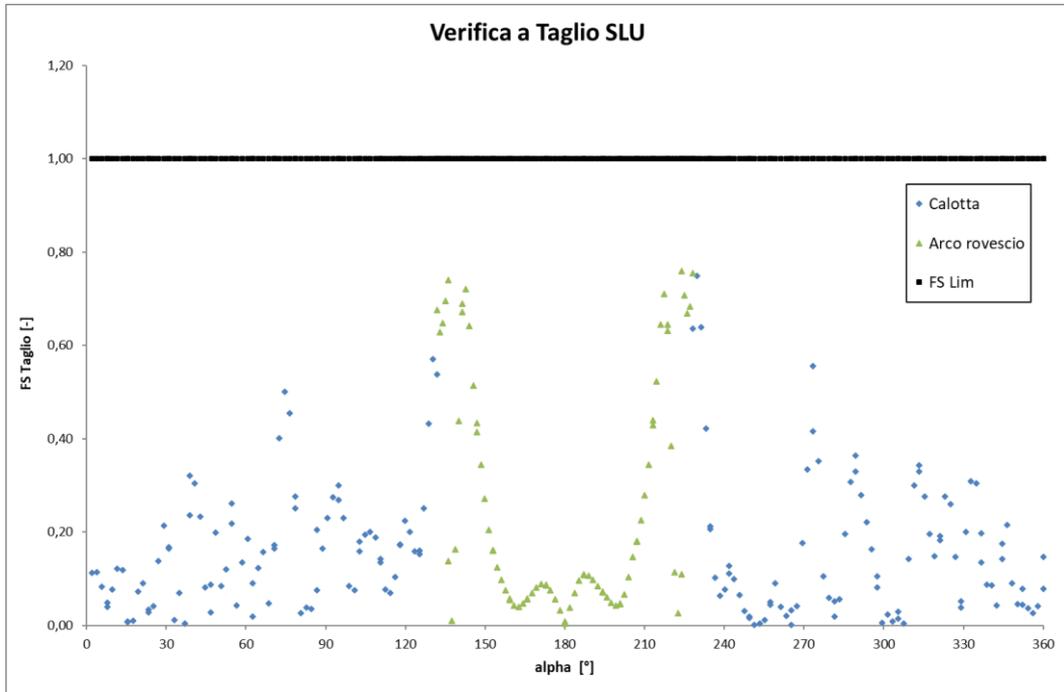


Fig. 153 – Verifica a taglio rivestimento definitivo (verifica per elementi non armati) – Fase 7

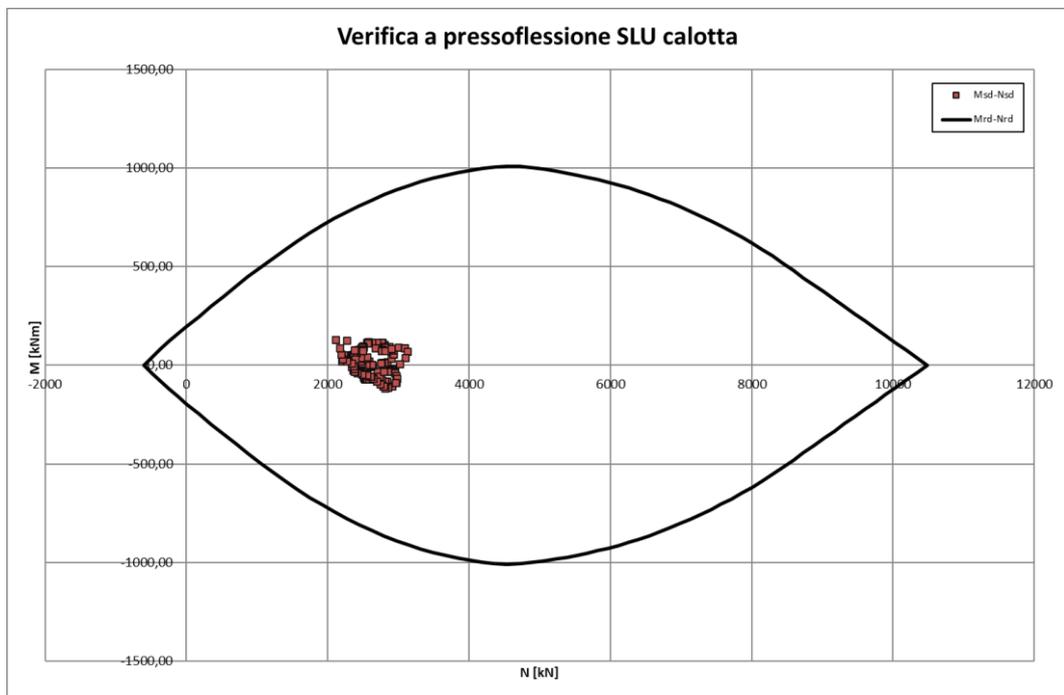


Fig. 154 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) Fase 7

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>224 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	224 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	224 di 243								

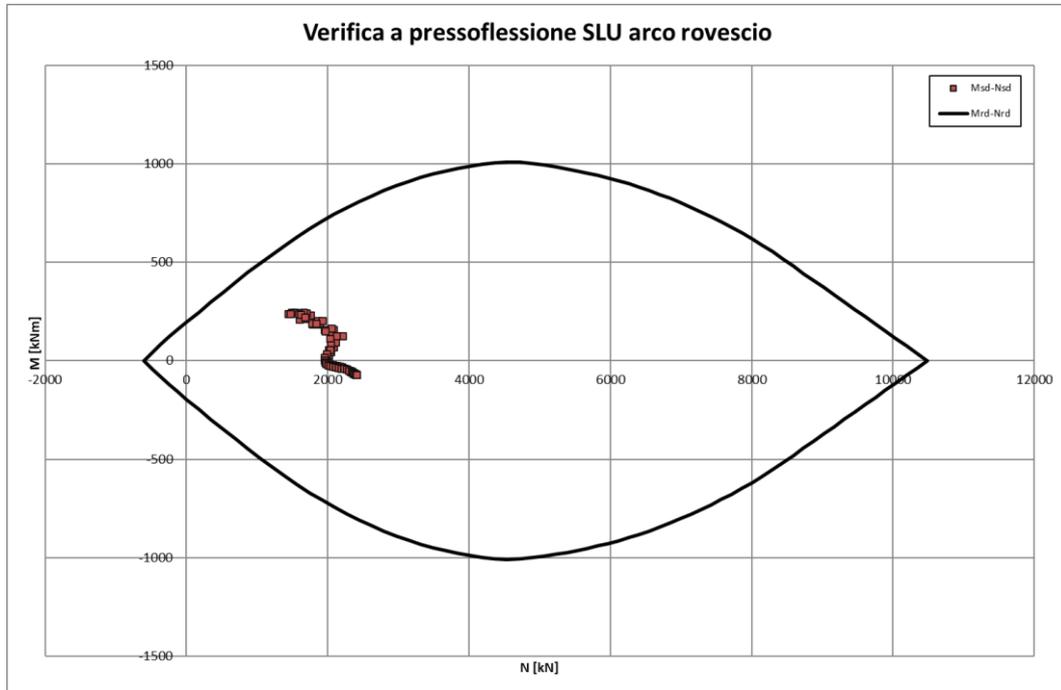


Fig. 155 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) Fase 7

Si riportano inoltre di seguito, come specificato in §10.5.2, le verifiche agli SLE eseguite sul rivestimento definitivo, sia tensionali che a fessurazione, in forma cartesiana al variare dell'angolo α .

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 225 di 243

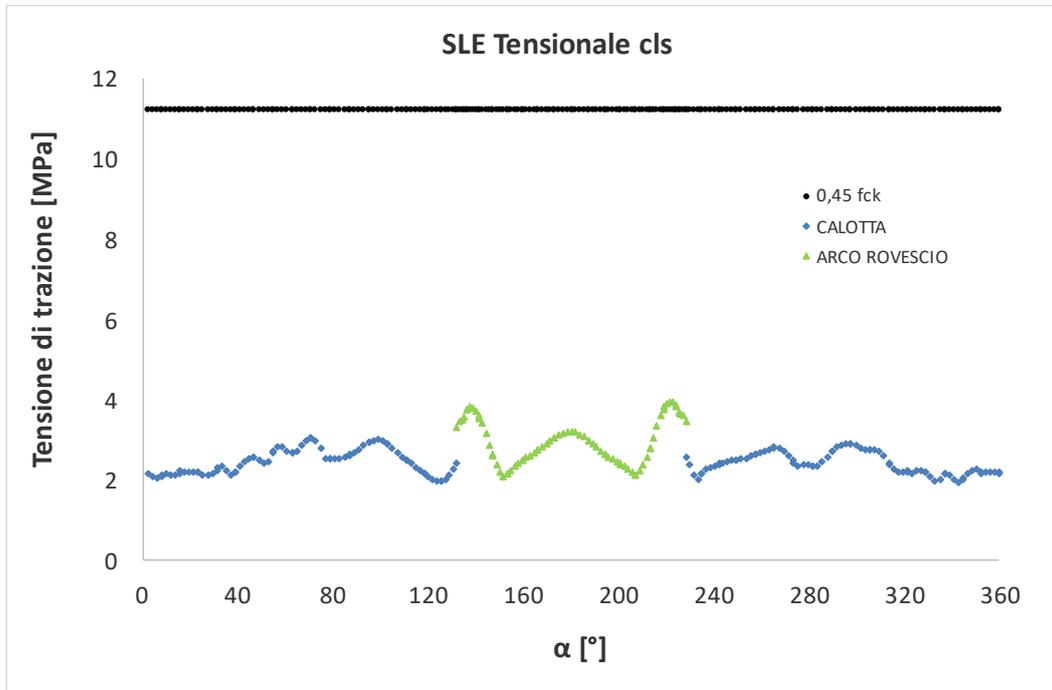


Fig. 156 – Verifica tensioni calcestruzzo - Fase 7

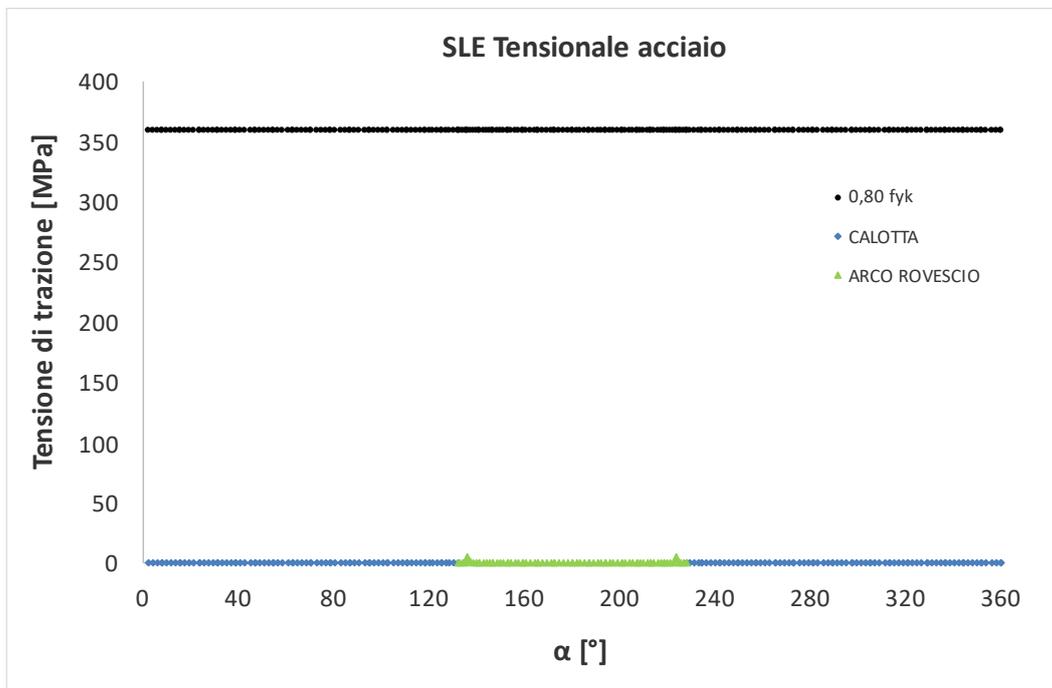


Fig. 157 – Verifica tensioni acciaio - Fase 7

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>226 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	226 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	226 di 243								

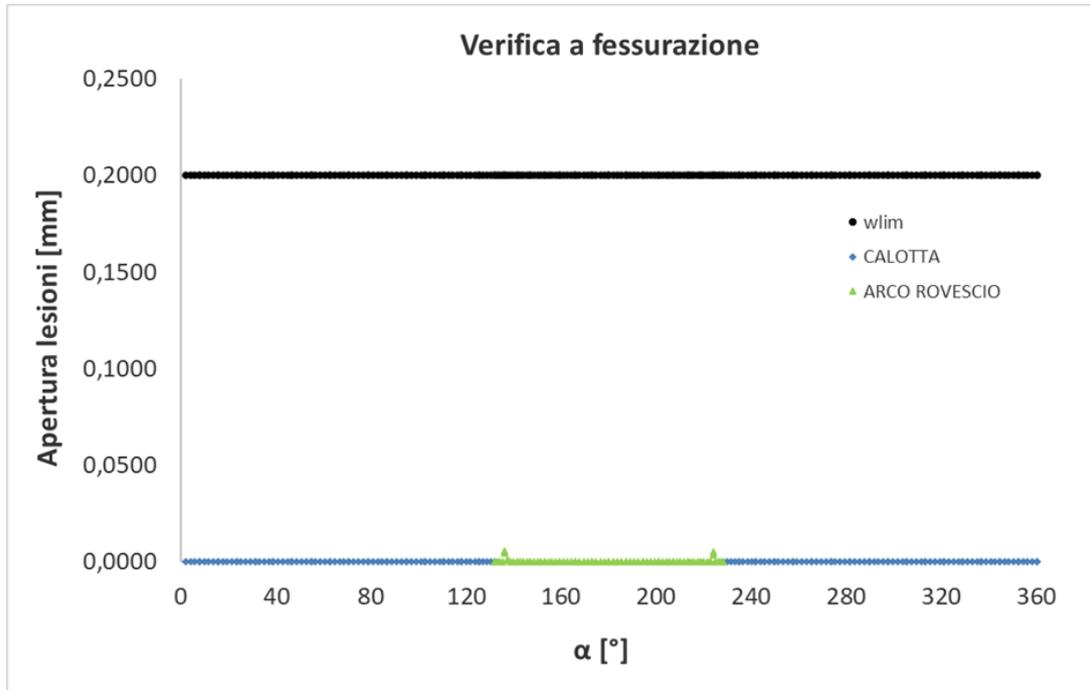


Fig. 158 – Verifica a fessurazione - Fase 7

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 227 di 243

10.6.10 Galleria di innesto (GN05.C)

Il rivestimento di prima fase della galleria di innesto (GN05.C) è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.30 m e centine accoppiate HEB180 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 7 di calcolo, in cui si registra il massimo avanzamento del fronte prima dell'installazione del rivestimento definitivo.

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

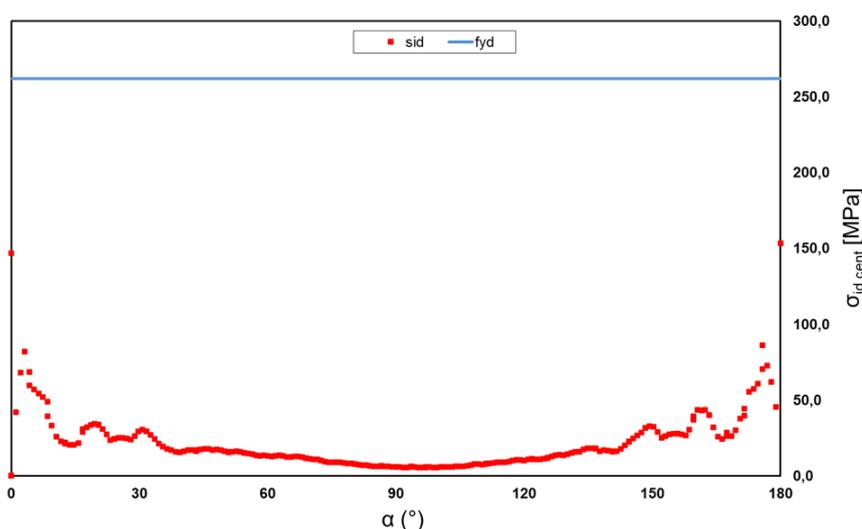


Fig. 159 – Verifica tensionale *centine* – Fase 7

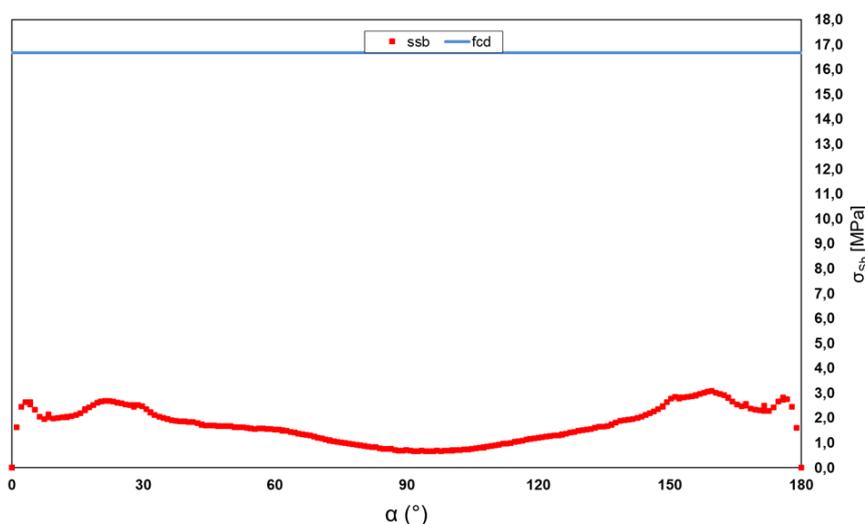


Fig. 160 – Verifica tensionale *spritz beton* – Fase 7

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 228 di 243

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §10.5.2 e §10.5.3 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

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

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio (Spilli)
Calotta	25/30	0.9 m	Φ14/20	Φ14/20	-
Murette	25/30	1.4 m	Φ14/20	Φ14/20	Φ10/20x30
Arco rovescio	25/30	1 m	Φ14/20	Φ14/20	Φ10/20x30

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 10 (Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di fattore di sicurezza, calcolato al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento come rapporto tra azione e resistenza. Ad un FS=1 corrisponde il raggiungimento della resistenza tagliante dell'elemento. Si è scelta questa rappresentazione delle verifiche perché permette anche di effettuare paragoni tra le riserve a taglio possedute dalle diverse porzioni del rivestimento.

In questo caso, vista l'assenza di armatura a taglio in calotta e la presenza della stessa in arco rovescio e murette, le verifiche saranno riportati su due diagrammi distinti: nel primo si valuta la resistenza a taglio per elementi senza specifica armatura a taglio; nel secondo, vista la necessità di predisporre armatura a taglio in alcuni punti, saranno riportate le verifiche con riferimento a sezioni armate a taglio.

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: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>229 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	229 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	229 di 243								

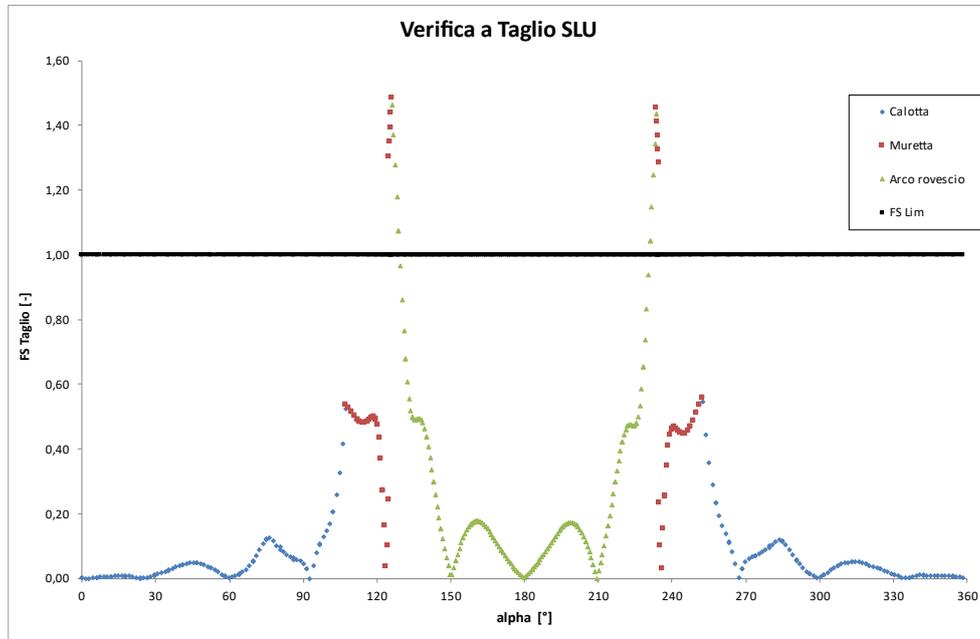


Fig. 161 – Verifica a taglio rivestimento definitiva (verifica per elementi non armati) – Fase 10

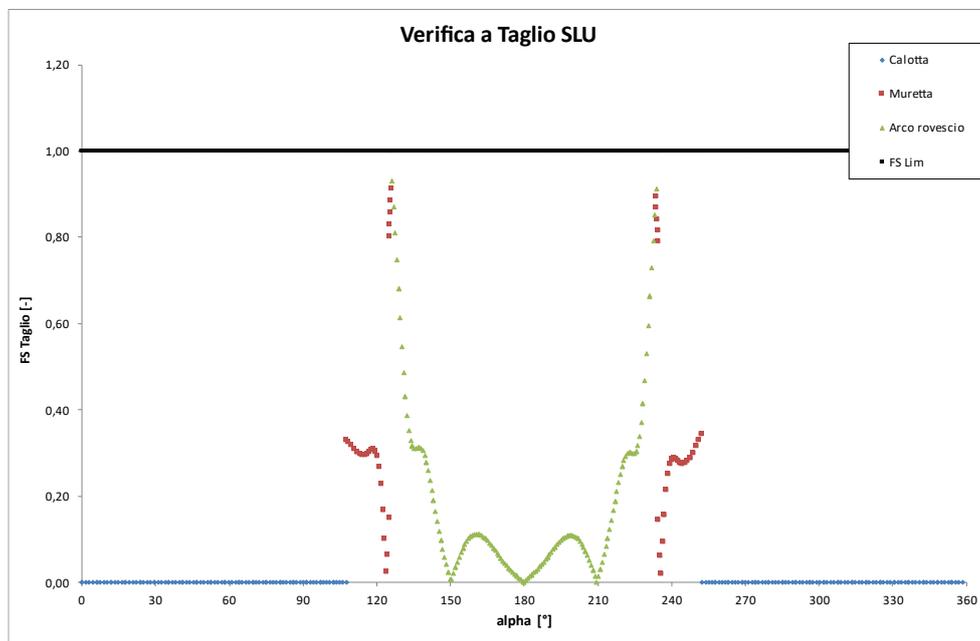


Fig. 162 – Verifica a taglio rivestimento definitiva (verifica per elementi dotati di specifica armature a taglio) – Fase 10

Si vuole precisare che, in questo diagramma, il fattore di sicurezza dei punti che costituiscono la calotta è sempre nullo in quanto, essendo stato valutato per sezioni armate a taglio, al denominatore del rapporto compare il taglio resistente lato acciaio, che in questo caso è sempre zero.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 230 di 243

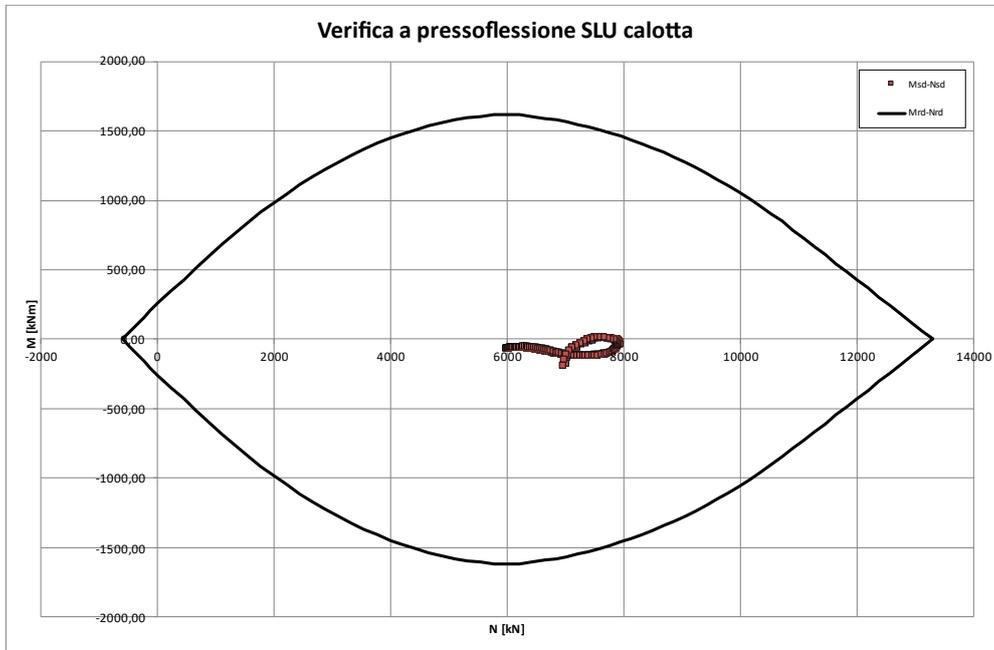


Fig. 163 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) Fase 10

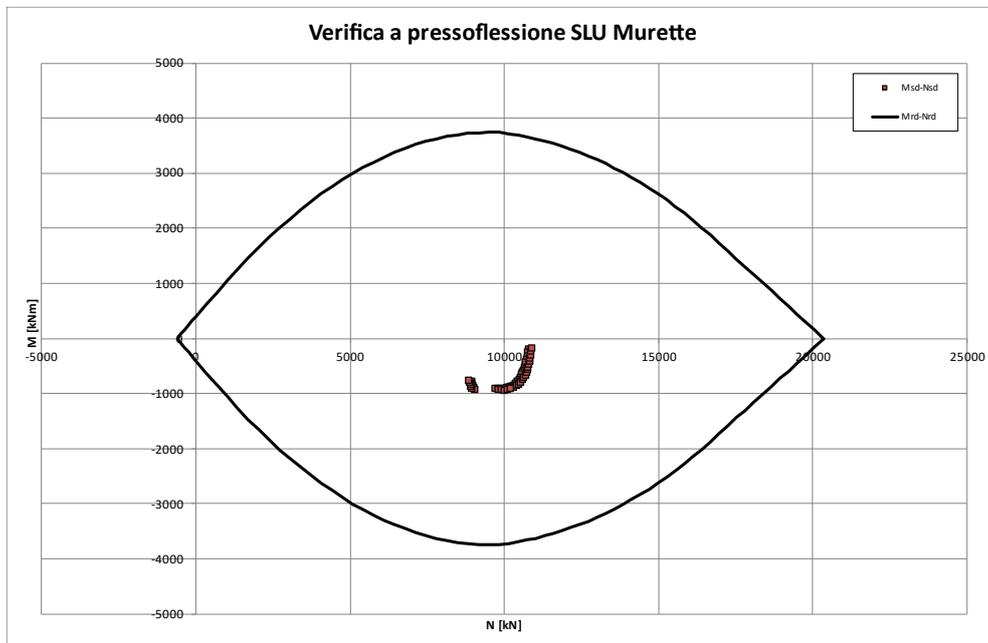


Fig. 164 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette – Coppie (M;N) Fase 10

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <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>GN0500</td> <td>C</td> <td>231 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	231 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	231 di 243								
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo													

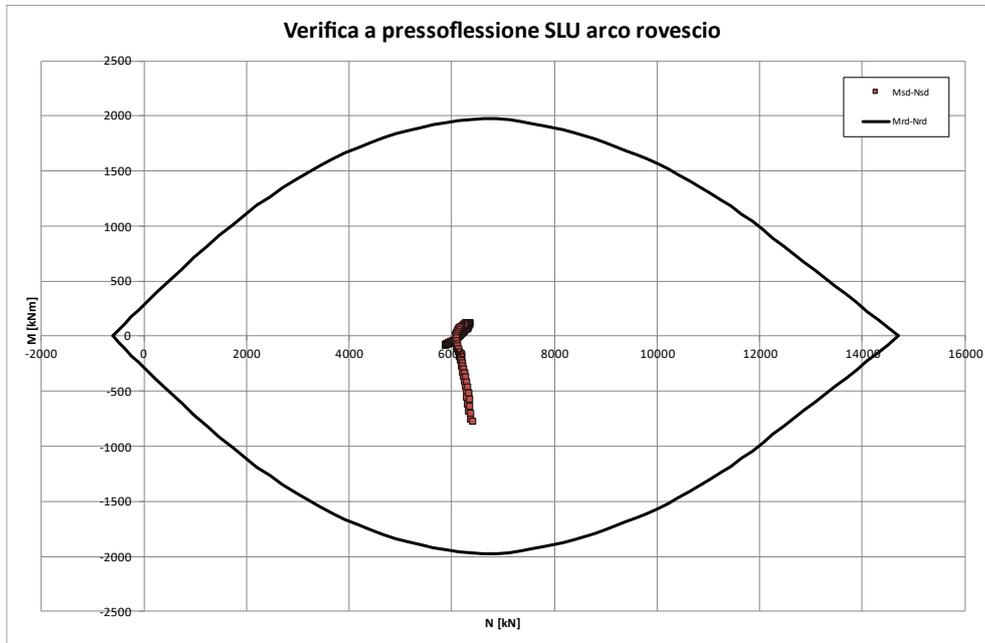


Fig. 165 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) Fase 10

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	232 di 243

Si riportano inoltre di seguito, come specificato in §10.5.2, le verifiche agli SLE eseguite sul rivestimento definitivo, sia tensionali che a fessurazione, in forma cartesiana al variare dell'angolo α .

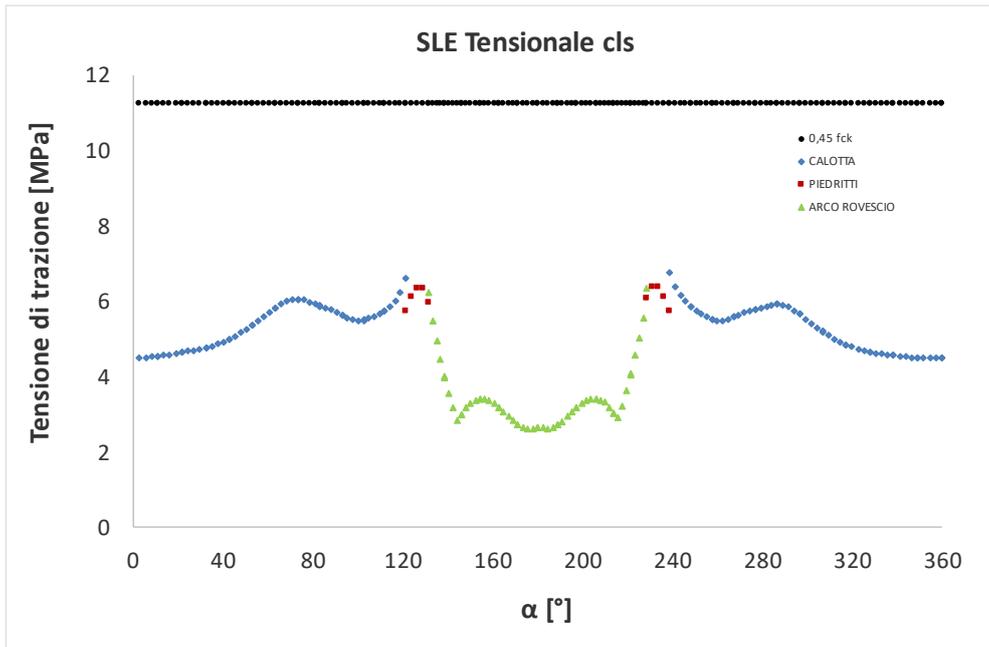


Fig. 166 – Verifica tensioni calcestruzzo - Fase 10

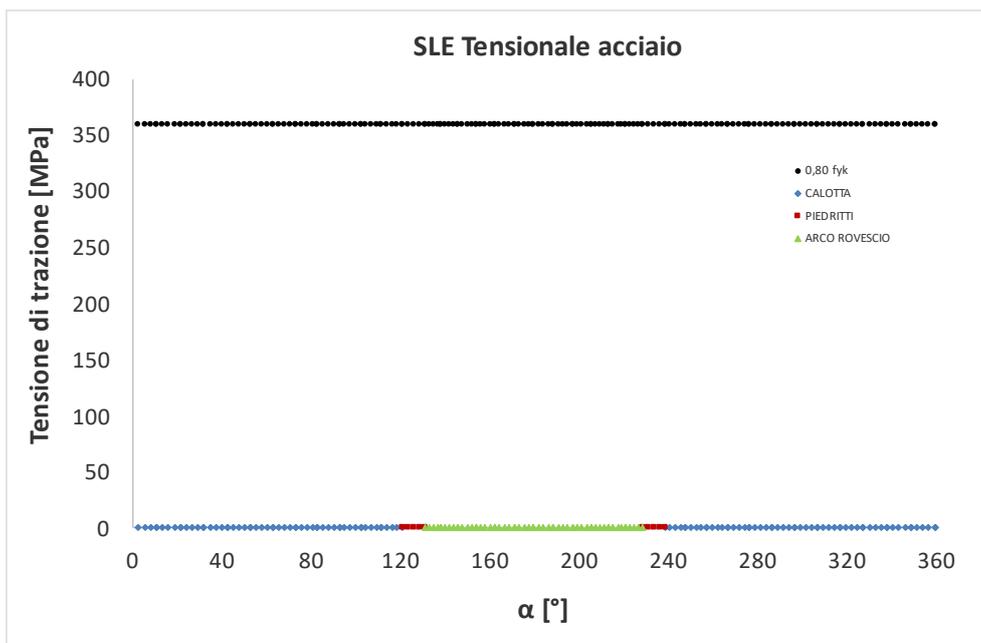


Fig. 167 – Verifica tensioni acciaio - Fase 10

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 233 di 243

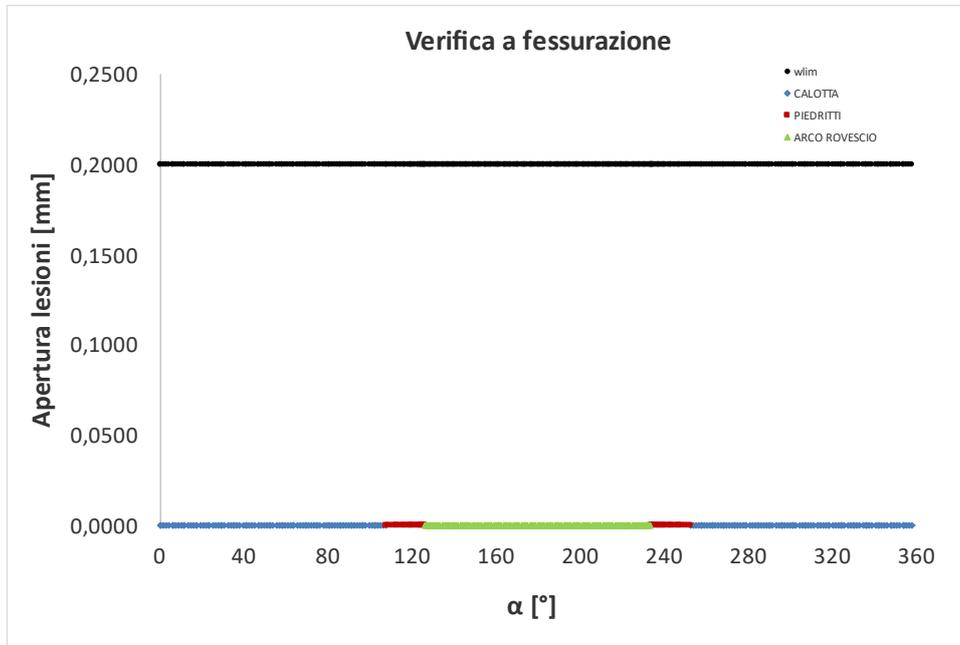


Fig. 168 – Verifica a fessurazione - Fase 10

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 234 di 243

10.6.11 By-pass di collegamento (GN05.M)

Il rivestimento di prima fase della galleria di by-pass di collegamento (GN05.M) è caratterizzato dalla presenza di uno strato di spritz-beton di spessore pari a 0.25 m e centine accoppiate 2IPN180 a passo 1.0 m.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state condotte con riferimento alla fase 7 di calcolo, in cui si registra il massimo avanzamento del fronte prima dell'installazione del rivestimento definitivo.

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

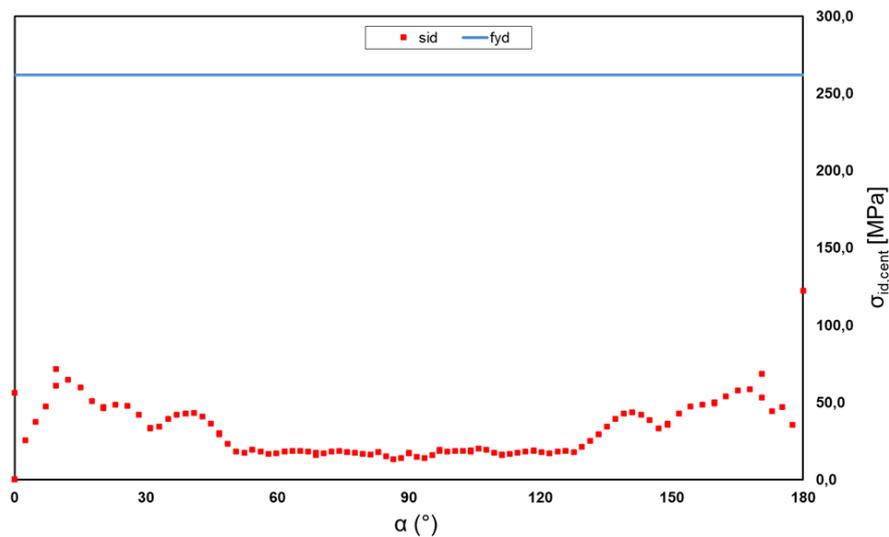


Fig. 169 – Verifica tensionale centine – Fase 7

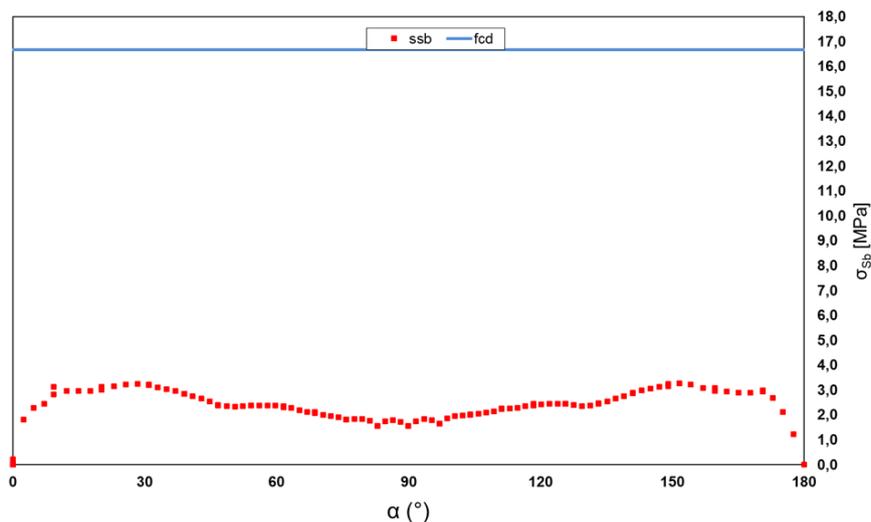


Fig. 170 – Verifica tensionale spritz beton – Fase 7

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 235 di 243

La verifica del rivestimento definitivo è stata condotta con riferimento alla fase di lungo termine, i cui output in termini di sollecitazioni sono già stati riportati in precedenza. Come già specificato in §10.5.2 e §10.5.3 della presente relazione, le sollecitazioni in output da Plaxis sono state amplificate per 1.3 per eseguire verifiche allo SLU, mentre non sono state amplificate per eseguire le verifiche allo SLE.

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

Elemento	Classe CLS	Spessore	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Armatura taglio (Spilli)
Calotta	25/30	0.50 m	Φ14/20	Φ14/20	-
Murette	25/30	0.65 m	Φ14/20	Φ14/20	Φ10/20x30
Arco rovescio	25/30	0.50 m	Φ14/20	Φ14/20	Φ10/20x30

Di seguito si riportano, sottoforma di diagrammi cartesiani, le verifiche SLU per il rivestimento definitivo armato, relative alla fase 10(Lungo termine).

I risultati delle verifiche a taglio vengono riportati in termini di fattore di sicurezza, calcolato al crescere della coordinata angolare α dei punti del rivestimento come rapporto tra azione e resistenza. Ad un FS=1 corrisponde il raggiungimento della resistenza tagliante dell'elemento. Si è scelta questa rappresentazione delle verifiche perché permette anche di effettuare paragoni tra le riserve a taglio possedute dalle diverse porzioni del rivestimento.

In questo caso, vista l'assenza di armatura a taglio in calotta e la presenza della stessa in arco rovescio e murette, le verifiche saranno riportati su due diagrammi distinti: nel primo si valuta la resistenza a taglio per elementi senza specifica armatura a taglio; nel secondo, vista la necessità di predisporre armatura a taglio in alcuni punti, saranno riportate le verifiche con riferimento a sezioni armate a taglio.

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

Per gli elementi non armati, come specificato in §10.5.3, vanno eseguite verifiche ai sensi delle NTC 2008, i cui risultati sono riportati sempre al variare di α , come confronto tra tensioni sollecitanti e i limiti tensionali imposti alla tensione normale e quella tangenziale.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandatari:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 236 di 243

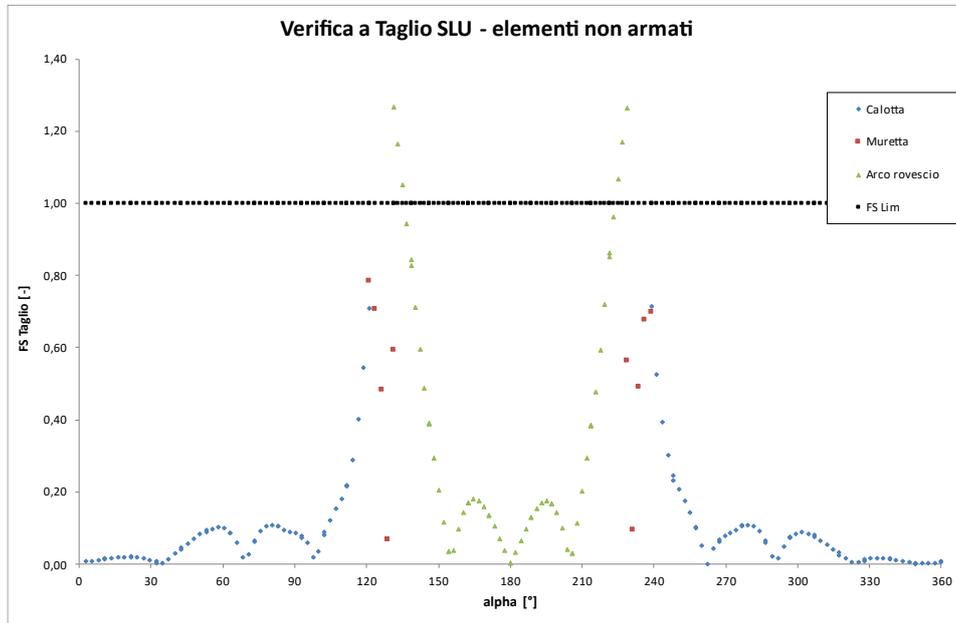


Fig. 171 – Verifica a taglio rivestimento definitive (verifica per elementi non armati) – Fase 10

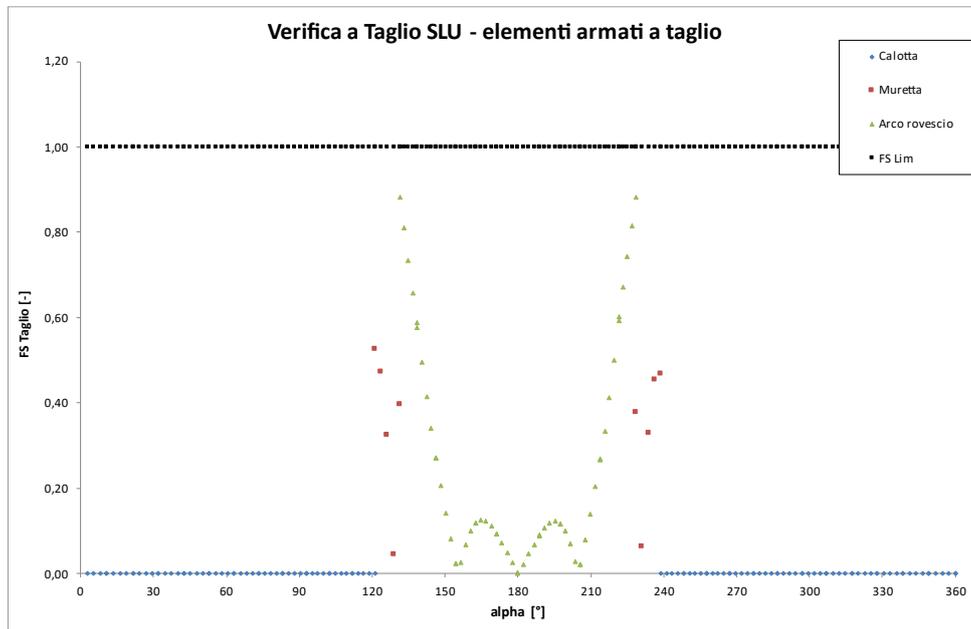


Fig. 172 – Verifica a taglio rivestimento definitive (verifica per elementi dotati di specifica armature a taglio) – Fase 10

Si vuole precisare che, in questo diagramma, il fattore di sicurezza dei punti che costituiscono la calotta è sempre nullo in quanto, essendo stato valutato per sezioni armate a taglio, al denominatore del rapporto compare il taglio resistente lato acciaio, che in questo caso è sempre zero.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 237 di 243

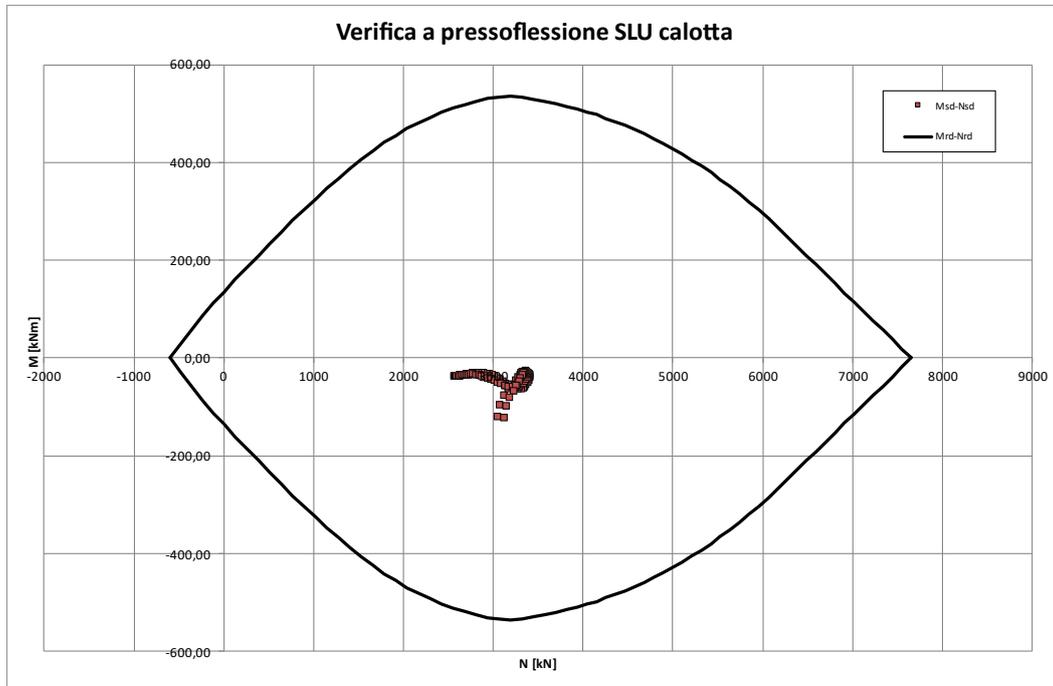


Fig. 173 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo calotta – Coppie (M;N) Fase 10

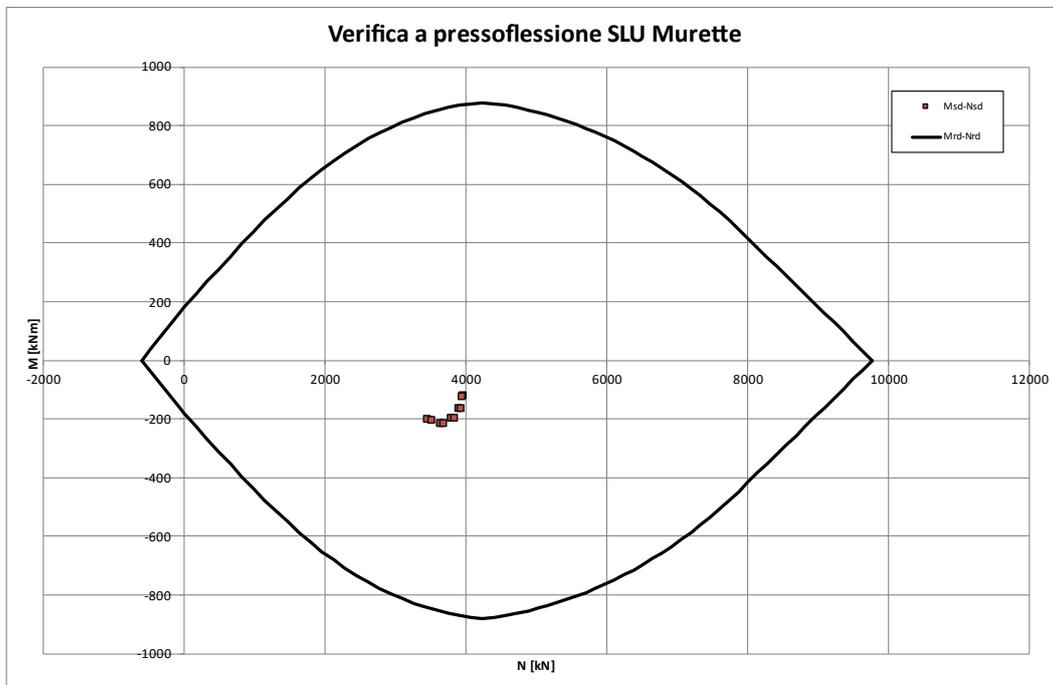


Fig. 174 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo murette– Coppie (M;N) Fase 10

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST		PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 238 di 243

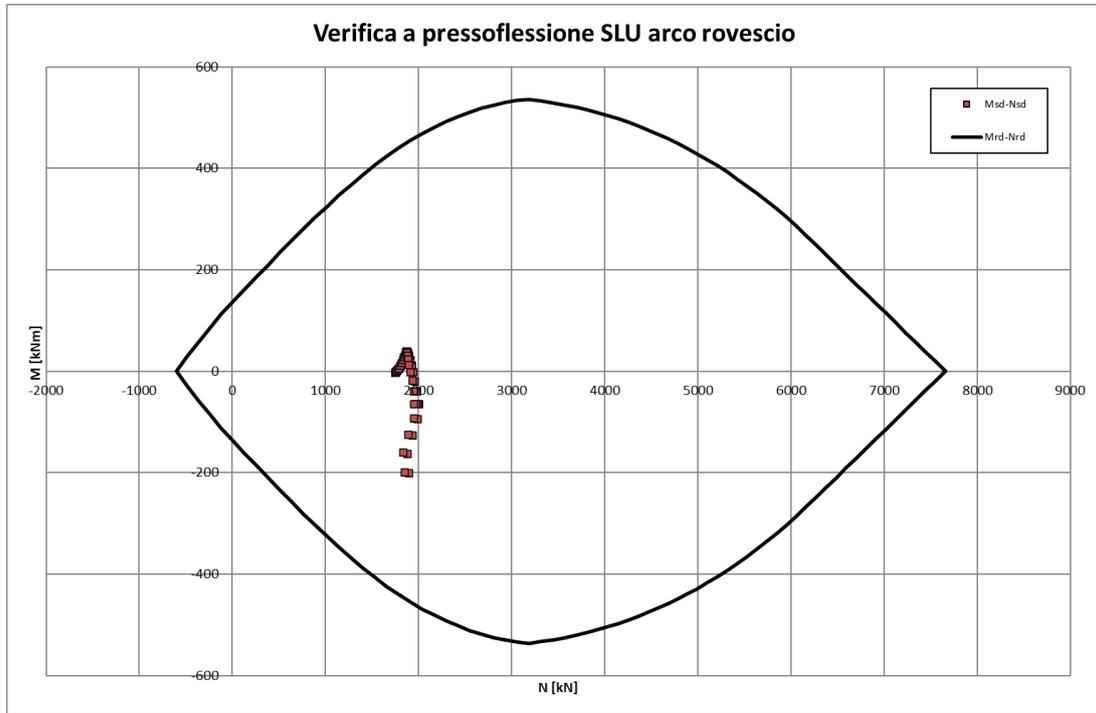


Fig. 175 – Verifica a pressoflessione – Dominio ultimo arco rovescio – Coppie (M;N) Fase 10

Si riportano inoltre di seguito, come specificato in §**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, le verifiche agli SLE eseguite sul rivestimento definitivo, sia tensionali che a fessurazione, in forma cartesiana al variare dell'angolo α .

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:	PROGETTO ESECUTIVO													
Mandataria:	Mandanti:	<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>GN0500</td> <td>C</td> <td>239 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	239 di 243
COMMESSA	LOTTO		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	239 di 243									
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo														

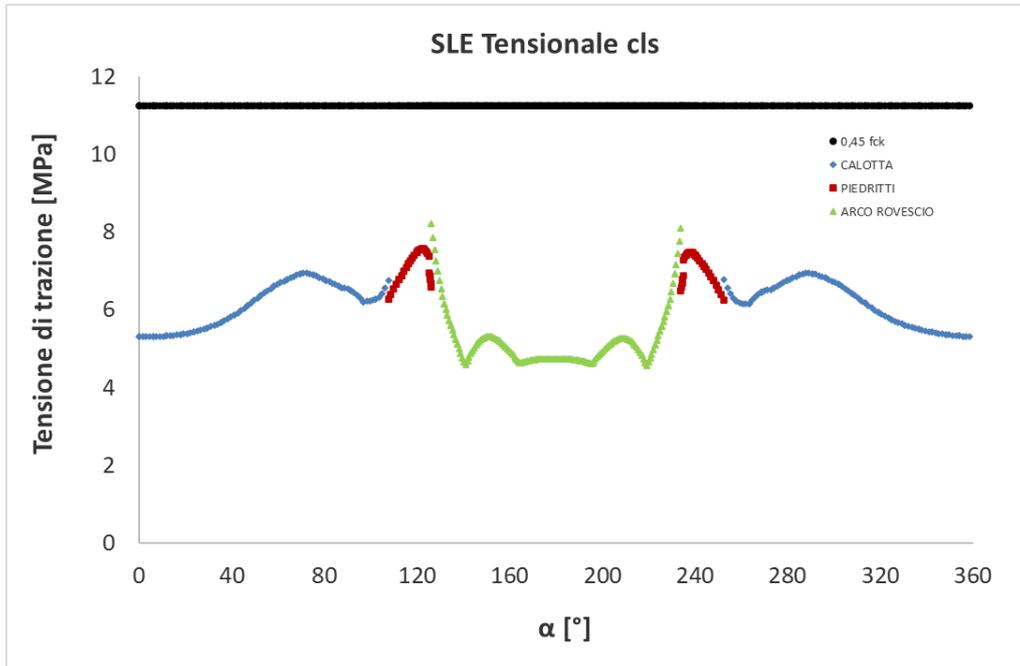


Fig. 176 – Verifica tensioni calcestruzzo - Fase 10

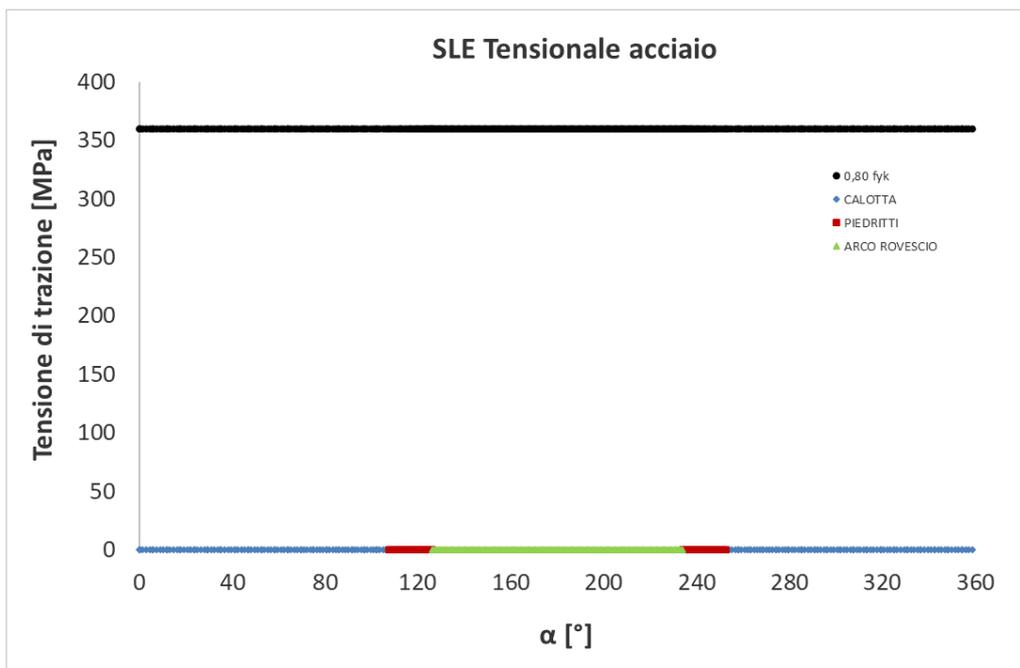


Fig. 177 – Verifica tensioni acciaio - Fase 10

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0500	REV. C	FOGLIO. 240 di 243

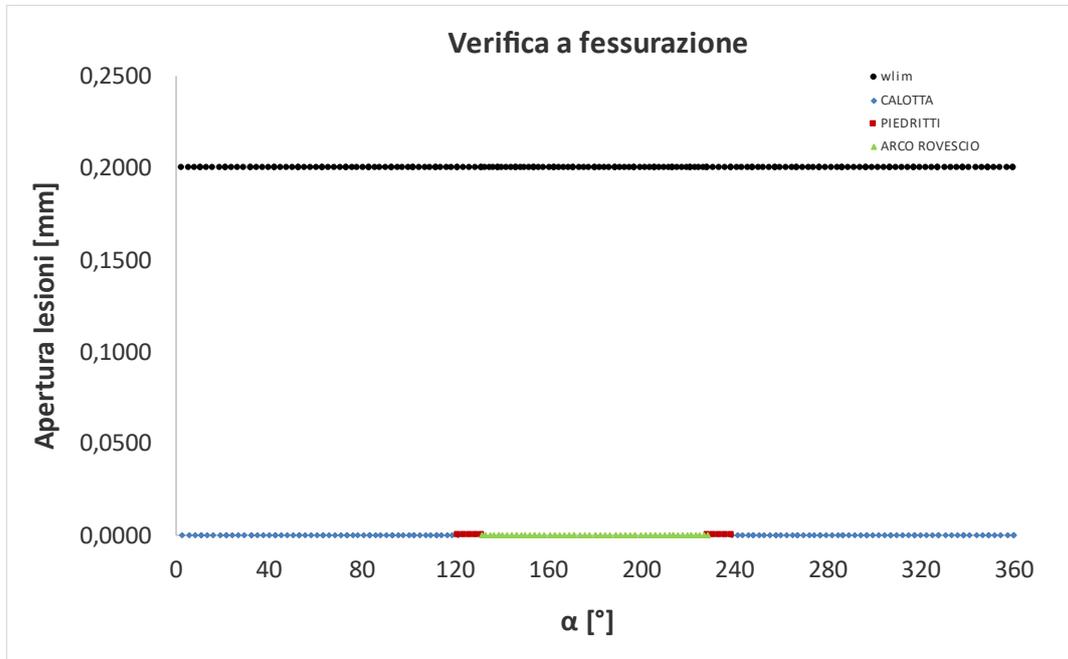


Fig. 178 – Verifica a fessurazione - Fase 10

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>241 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	GN0500	C	241 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	CL	GN0500	C	241 di 243								

11. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della Finestra di Funes (galleria naturale e camerone).

Per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative sono state condotte le verifiche statiche, mediante analisi agli elementi finiti; le valutazioni condotte hanno confermato la validità delle soluzioni progettuali proposte, con riferimento sia allo stato tensionale nei rivestimenti e nel terreno al contorno del cavo, sia al livello delle deformazioni raggiunte. Le verifiche statiche condotte hanno evidenziato tensioni nei materiali adottati inferiori ai valori di Normativa.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Finestra Chiusa - Relazione di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0500</td> <td>C</td> <td>242 di 243</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	242 di 243
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	GN0500	C	242 di 243								

12. ALLEGATI

12.1 ALLEGATI NUMERICI

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.