

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Dot. Ing. PAOLO CUCINO  
ISCRIZIONE ALBO N° 216

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

### PROGETTO ESECUTIVO

#### 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 ALBES

Nodo tecnologico di Albes

Relazione tecnica e di monitoraggio

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G N O 4 0 0	0 0 4	B

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Aganetti	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino
B	Emissione a seguito di interlocuzioni e istruttoria	M. Aganetti	13/03/2023	C. Iasiello	14/03/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	15/03/2023	16/03/2023

File: IBOU1BEZZRHGN0400004B.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 2 di 89	

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI.....</b>	<b>6</b>
3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
3.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	6
3.4 SOFTWARE UTILIZZATI .....	7
<b>4. DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>8</b>
4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO .....	8
<b>5. FASE CONOSCITIVA.....</b>	<b>9</b>
<b>6. FASE DI DIAGNOSI .....</b>	<b>10</b>
6.1.1 Classi di comportamento del fronte di scavo.....	10
6.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO .....	11
6.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche .....	11
6.2.2 Sezioni analizzate .....	14
6.2.3 Risultati delle analisi di stabilità .....	15
<b>7. FASE DI TERAPIA.....</b>	<b>16</b>
7.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	16
7.2 SEZIONI TIPOLOGICHE IN TRADIZIONALE.....	18
7.2.1 Galleria tecnologica Sezione A0 .....	18
7.2.1 Galleria tecnologica Sezione A1 .....	19
7.2.2 Galleria tecnologica Sezione di innesto.....	21
7.3 MODELLAZIONE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI GETTATI IN OPERA .....	23
<b>8. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE.....</b>	<b>24</b>
8.1 GALLERIA TECNOLOGICA_SEZIONE A0.....	24
8.1.1 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase .....	26
8.1.2 Verifiche del rivestimento definitivo.....	30
8.2 GALLERIA TECNOLOGICA_SEZIONE A1.....	33
8.2.1 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase .....	36

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 3 di 89	

8.2.2	Verifiche del rivestimento definitivo.....	40
8.3	GALLERIA TECNOLOGICA_SEZIONE DI INNESTO .....	45
8.3.1	Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase .....	47
8.3.2	Verifiche del rivestimento definitivo.....	50
<b>9.</b>	<b>VALUTAZIONE INFLUENZA INNESTO - MODELLO 3D.....</b>	<b>57</b>
<b>10.</b>	<b>MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....</b>	<b>59</b>
10.1	ANELLO STRUMENTATO.....	59
10.2	MONITORAGGIO COMPLETO .....	60
10.3	MONITORAGGIO CONVERGENZA.....	61
10.4	MONITORAGGIO VIBRAZIONI.....	61
10.5	SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLRME.....	62
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>64</b>
<b>12.</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>65</b>
12.1	CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI DIAGNOSI.....	65
12.1.1	Galleria tecnicologica Sezione A1 con caratteristiche ammasso cautelative – Diagnosi.....	65
12.1.2	Sezione di innesto – Diagnosi.....	66
12.2	CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI TERAPIA .....	67
12.2.1	Galleria tecnicologica Sezione A0– Terapia.....	67
12.2.2	Galleria tecnicologica Sezione A1 – Terapia.....	69
12.2.3	Galleria tecnicologica Sezione di innesto – Terapia .....	72
12.3	OUTPUT PLAXIS 2D.....	74
12.3.1	Galleria tecnicologica Sezione A0.....	74
12.3.2	Galleria tecnicologica Sezione A1.....	79
12.3.3	Galleria tecnicologica Sezione di innesto .....	83

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	4 di 89

## 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 del nodo impiantistico di Albes, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 – Finestra di Albes.

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

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 sviluppati per l'adeguatezza delle soluzioni progettuali indicate, con particolare riferimento all'analisi dei rivestimenti provvisori e definitivi delle gallerie.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	5 di 89

## 2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle gallerie della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena – Lotto 1 con scavo meccanizzato.

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS Rif. [1] si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; la sintesi dello studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel Capitolo 5;
2. Fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. Fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e la tipologia di macchinario da utilizzarsi per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel Capitolo 7 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio.
4. Fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 6 di 89

### 3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

#### 3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)" - DM Infrastrutture 14.01.2008.
- [2] Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 costruzioni e dei carichi e sovraccarichi – C.S.LL.PP. 02.02.2009.
- [3] UNI EN 1992-1-1:2005

#### 3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [4] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [5] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La "nouvelle methode implicite" pour le calcul des tunnel dans les milieux elastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Geotechnique, N° 68;
- [6] Rousset G. (1992). La « nouvelle methode implicite » pour l'etude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Geotechnique, N° 60;
- [7] W. Bustamante, B. Doix (1985). Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés. Bull. Liaison Lab. Ponts et Chaussées, Paris, n. 140, nov-dèc 1985 – Ref. 3047, 75-92.

#### 3.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- [8] IBOU1BEZZGEGN0000001 "08 - GALLERIE - B-GEOTECNICA - Relazione geotecnica Galleria Scaleres";
- [9] IBOU1BEZZCLGN0000001B "08 - GALLERIE - C-GALLERIE NATURALI DI LINEA E DI INTERCONNESSIONE - By-pass - Sezione corrente";
- [10] IBOU1BEZZRHGN0400001B "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Relazione di rispondenza tecnico-funzionale del PE, comparativa con PD e di ottemperanza alle prescrizioni";
- [11] IBOU1BEZZP9GN0400002A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - Layout generale";
- [12] IBOU1BEZZWBGNO400001A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass NBTN Piante e sezioni Tav 1 di 2";
- [13] IBOU1BEZZWBGNO400002A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass NBTN Piante e sezioni Tav 1 di 2";
- [14] IBOU1BEZZWBGNO400003A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass PPD Piante e sezioni Tav 1 di 2";
- [15] IBOU1BEZZWBGNO400004A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass PPD Piante e sezioni Tav 1 di 2";
- [16] IBOU1BEZZWBGNO400005A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass MT/BT Piante e sezioni";
- [17] IBOU1BEZZWBGNO400006A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass Gestore Area Piante e sezioni";

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 7 di 89

- [18] IB0U1BEZZWBGNO400007A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass NBTN/PPD scavo e consolidamenti";
- [19] IB0U1BEZZWBGNO400008A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - By pass NBTN/PPD carpenteria e dettagli costruttivi";
- [20] IB0U1BEZZPZGNO400002A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - Fasi esecutive Tav 1 di 2";
- [21] IB0U1BEZZPZGNO400003A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - Fasi esecutive Tav 2 di 2";
- [22] IB0U1BEZZP9GNO400003A "08 - GALLERIE - I-FINESTRA ALBES - Nodo tecnologico di Albes - Monitoraggio";

### 3.4 SOFTWARE UTILIZZATI

I software utilizzati per la progettazione sono:

- GV4                                      versione 4H 2003                      Sial.tec Engineering
- Plaxis 2D                                versione 2021 v21                    Bentley
- Plaxis 3D                                versione 2021                        Bentley

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 8 di 89

## 4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

Il nodo impiantistico di Albes è costituito da un by-pass tecnologico MT/BT, due NBTN, uno PDD, uno IS-TC, uno SIAP.

Si riporta nella figura seguente la planimetria del nodo tecnologico in cui si evidenzia la sezioni in cui si sono svolte le analisi riportate nel seguente report.

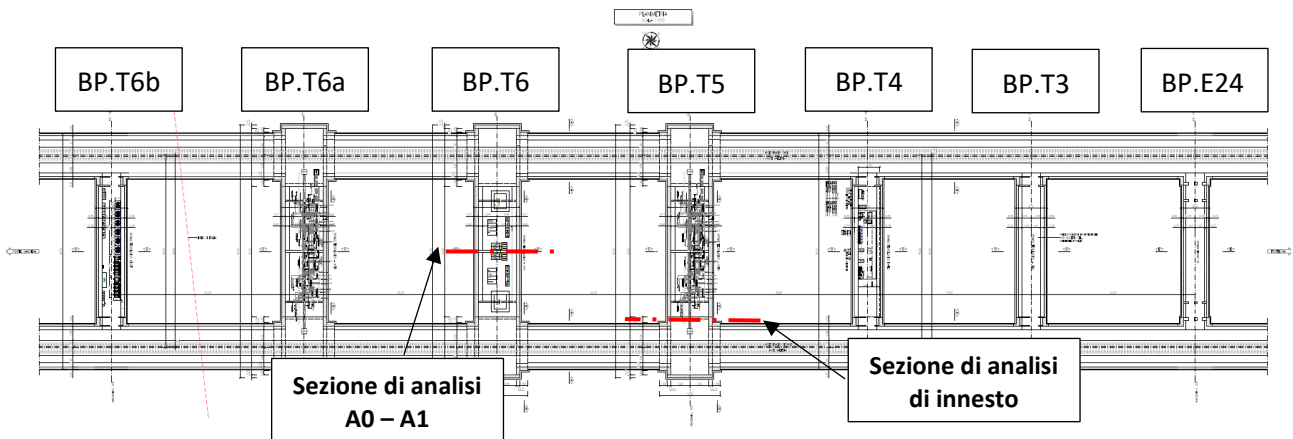


Fig. 4-1 Planimetria nodo impiantistico di Albes con galleria di linea e relativi collegamenti

Per gli innesti, e le sezioni di scavo correnti dei by-pass MT-BT, IS-TLC e SIAP si vedano gli elaborati di riferimento ai by-pass tecnologici (IBOU1BEZZCLGN0000001 e relative tavole allegate).

La realizzazione dei bypass del nodo di Albes avverrà scavando inizialmente il bypass centrale BP. T5 e successivamente si proseguirà verso l'esterno, scavando i bypass laterali.



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0400004</td> <td>B</td> <td>9 di 89</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	9 di 89													

## 5. FASE CONOSCITIVA

Per le informazioni relative alla fase conoscitiva della galleria Scaleres (GN01) si rimanda all'elaborato IBOU1BEZZGEGN0000001 Rif. [8].

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	10 di 89

## 6. 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. [4]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

### 6.1.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [4]) 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 d'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 tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	11 di 89

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.

## 6.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

L'individuazione delle classi di comportamento del fronte è stata effettuata ricorrendo a soluzioni in forma chiusa ("Metodo delle linee caratteristiche"), nel caso di galleria profonde ( $H > 2.5 \div 3D$ ) e ai teoremi dell'analisi limite nel caso di gallerie superficiali.

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

### 6.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

Per l'analisi di stabilità di una galleria occorre tenere in conto, in maniera adeguata, l'interazione fra l'ammasso roccioso ed il sostegno delle cavità.

Come suggerito dall'A.F.T.E.S., il metodo delle curve caratteristiche schematizza la galleria con una sezione circolare e profonda (forze di volume trascurabili rispetto alla sollecitazione naturale alla quota dello scavo), scavata in un mezzo omogeneo ed isotropo. Lo scavo della galleria causa una variazione delle condizioni di equilibrio preesistenti ed all'avanzare del fronte si ha una progressiva chiusura, o convergenza, immediatamente dietro al fronte. Il metodo di calcolo permette di valutare l'andamento delle deformazioni radiali dei diversi elementi della galleria (fronte, cavità, nucleo di terreno al fronte) al variare delle pressioni di contenimento.

Queste pressioni, partendo dal valore di tensione naturale all'interno dell'ammasso, diminuiscono fino ad annullarsi per cavità a distanza maggiore dal raggio d'azione del fronte di scavo. Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve caratteristiche è possibile rappresentare il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ed il problema bidimensionale lungo la cavità al di fuori del raggio d'azione del fronte.

Nel caso di uno scavo in meccanizzato con fresa scudata è importante considerare il gioco radiale tra l'esterno dello scudo e la parete dello scavo  $\delta_R$  ed il gioco radiale tra l'esterno dello scudo e l'esterno di un eventuale rivestimento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>12 di 89</b>

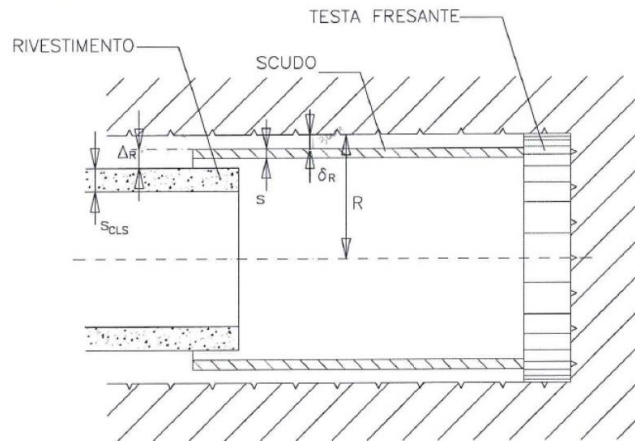


Fig. 6-1 Schematizzazione della fresa scudata

Ai fini dei calcoli, lo scudo della fresa viene considerato come se fosse un priverivestimento messo in opera immediatamente a ridosso del fronte di scavo ed il punto iniziale della curva caratteristica dello scudo è dato da:

$$u_i = u_F + \delta_R$$

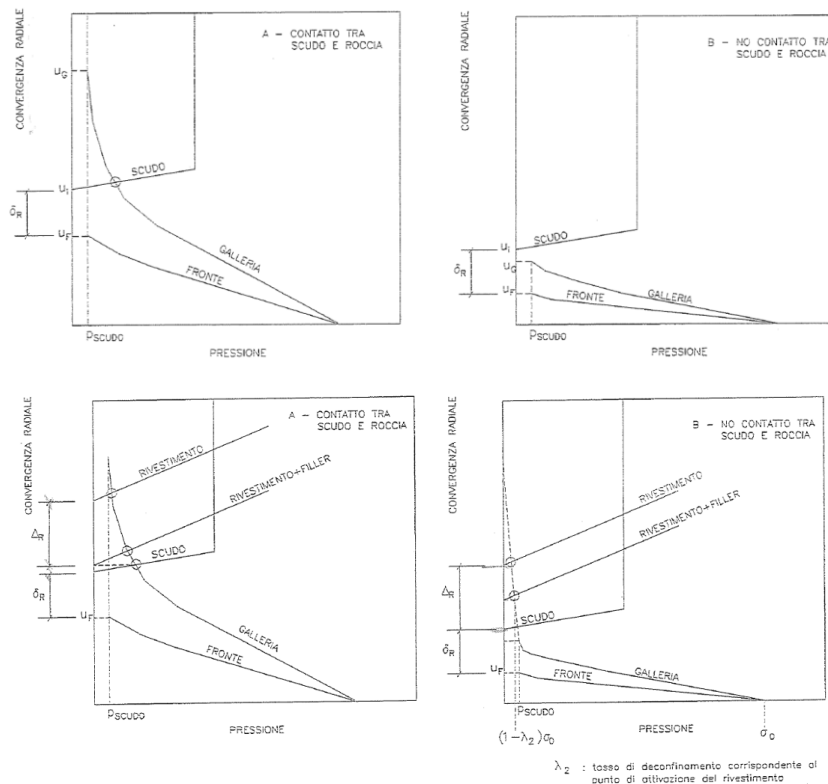


Fig. 6-2 Curve caratteristiche – galleria scavata con fresa scudata

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 13 di 89

La definizione della curva caratteristica dello scudo è completata anche dalla sua rigidezza  $k_s$  e dal valore della convergenza radiale  $u_{LIM}$  che corrisponde al raggiungimento del limite di rottura dell'acciaio.

$$k_s = \frac{E_s[R^2 - (R-s)^2]}{(1 + \nu_s)[(1 - 2\nu_s)R^2 + (R-s)^2]} \quad u_{LIM} = \frac{1}{2k_s} \sigma_s^c \frac{R^2}{R^2 - (R-s)^2}$$

Dove:

$k_s$ : rigidezza dell'anello di calcestruzzo

$E_s$ : modulo elastico del calcestruzzo

$\nu_s$ : coefficiente di Poisson del calcestruzzo

$\sigma_{cs}$ : resistenza a compressione dell'acciaio

$s$ : spessore della lamiera dello scudo

$R$ : raggio della galleria

$u_{LIM}$ : limite elastico per la convergenza radiale dello scudo.

Per quanto riguarda la curva caratteristica del rivestimento, l'analisi della galleria scavata con fresa si differenzia da un'analisi di galleria scavata in tradizionale solo per la presenza dei giochi, annullati da eventuale filler iniettato per intasare l'intercapedine rivestimento – roccia.

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

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso  $\sigma_c$  e la pressione critica al fronte  $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2Kp)$ , che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico,
- sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento i seguenti due criteri:

$\sigma_c/p_c$	Classe di comportamento
$\geq 1,2$	A
$< 1,2$ e $\geq 0,8$	A/B
$< 0,8$ e $\geq 0,2$	B/C
$< 0,2$	C

Tabella 6-1: Criterio 1

$u_F/R_{eq}$	$R_{pl F}/R_{eq}$	Classe di comportamento
$\leq 0,5\%$	$\leq 1,5\%$	B
$> 0,5\%$	$> 1,5\%$	C
$u_F$ = convergenza al fronte $R_{pl F}$ = raggio plastico al fronte $R_{eq}$ = raggio di scavo equivalente della galleria		

Tabella 6-2: Criterio 2

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 14 di 89	

### 6.2.2 Sezioni analizzate

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. Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state definite le sezioni di analisi, riassunte nella Tabella 6-3 le caratterizzate con tutti i dati di input necessari per il calcolo. Nel seguente report vengono analizzate la sezioni tipo di scavo in tradizionale dei by-pass tecnologici NBTN/PPD.

Per la realizzazione delle sezioni sopracitate è previsto lo scavo a piena sezione mediante esplosivo.

Il rivestimento di prima fase è costituito da uno strato di spritz-beton e bulloni metallici (ad ancoraggio puntuale o continuo) per la sezione di tipo A0, mentre per la sezione di tipo A1 si prevede anche l'installazione di centine IPN180 accoppiate.

A tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e di piedritto si porrà in opera l'impermeabilizzazione, costituita da uno strato di geo-tessuto e da una guaina in PVC. Al piede dell'impermeabilizzazione, su ciascun piedritto, si disporrà un tubo micro-fessurato di presidio per eventuale drenaggio delle acque presenti nell'ammasso. Nell'attraversamento di zone molto fratturate e nelle quali il regime idraulico sotterraneo potrebbe essere connesso con sorgenti o corsi d'acqua si prevede la posa in opera dell'impermeabilizzazione sull'intero perimetro della sezione di scavo. Le caratteristiche delle sezioni in tradizionale sono descritte nei paragrafi seguenti.

I parametri utilizzati per le analisi sono i seguenti:

	SEZIONE DI CALCOLO	Unità	Struttura	H (m)	$R_{eq}$ (m)	$k_0$ (-)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_0$ (MPa)	$c'_{kp}$ (kPa)	$\phi'_{kp}$ (°)	$E_k$ (MPa)
1	11+900	BSSa	By-Pass tecnologico _A0	450	5.11	0.9	27	12.15	1826	38	14000
2	11+900	BSSa	By-Pass tecnologico _A1	450	5.11	0.9	27	12.15	1605	36	11000
3	11+900	BSSa	By-Pass tecnologico _innesto	450	5.11	0.9	27	12.15	1605	36	11000

H = copertura rispetto alla calotta della galleria  
 $\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo  
 $D_{scavo}$  = diametro di scavo  
 $k_0$  = coefficiente di spinta a riposo  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_{kp}$  = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso  
 $\phi'_{kp}$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso  
 $E_k$  = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 6-3: Caratteristiche ammasso roccioso per galleria tecnologica

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 15 di 89	

### 6.2.3 Risultati delle analisi di stabilità

In questo paragrafo si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU GEO) riferite alla stabilità del fronte e del cavo nel caso in cui la TBM attraversa tratti in basse coperture di gallerie superficiali.

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 condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevisi, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo da cui deriva l'individuazione della metodologia di avanzamento e delle possibili problematiche relative alla stabilità del fronte.

Al fine di valutare la stabilità dello scavo si sono scelti cautelativamente i parametri geomeccanici più bassi (sezione A1) individuati nella zona del noto tecnologico di Albes. Maggiori informazioni relative al calcolo delle curve caratteristiche nella fase di diagnosi si rimanda al §12.1.1.

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

Sezione di calcolo	$R_{eq}$ [m]	H [m]	$A_{scavo}$ [m <sup>2</sup> ]	$\sigma_0$ [MPa]	$p_{w0}$ [MPa]	$p_{wR}$ [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{kp}$ [kPa]	$\varphi'_{kp}$ [°]	$E_k$ [MPa]
Galleria Tecnologica A1	5.11	450	82	12.15	-	-	27	1605	36	11000

H = copertura rispetto alla calotta della galleria  
 $\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo  
 $A_{scavo}$  = area di scavo  
 $R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_{kp}$  = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso  
 $\varphi'_{kp}$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso  
 $E_k$  = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 6-4: Parametri input curve caratteristiche

Sono stati valutati lo spostamento radiale ed il raggio plastico del fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno SLU GEO, è stato utilizzato l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1.

Sezione di calcolo	Unità	$u_F$ [m]	$u_F/R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF}/R_{eq}$ [MPa]	Categoria Criterio 2.1	Categoria Criterio 2.2
Galleria Tecnologica	BSSa	0.00476	0.001	5.89	1.153	A	B

Tabella 6-5: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione della Galleria Tecnologica\_Sezione A1

La sezione risulta stabile.

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 16 di 89

## 7. FASE DI TERAPIA

Le analisi di interazione, in grado di simulare il comportamento del sistema opera-terreno fino alla configurazione finale ed in condizioni di esercizio, sono state condotte mediante modelli numerici alle differenze finite e attraverso il metodo delle curve caratteristiche.

Al fine di dimensionare i rivestimenti definitivi sono state condotte delle analisi numeriche bidimensionali. La sezione di analisi è stata scelta in corrispondenza delle massime coperture e nella condizione geotecnica più critica interessata dall'opera, in modo da ottenere le sollecitazioni massime agenti sugli elementi strutturali.

Per la sezione tipo A1 di verifica, la sezione di analisi viene definita individuando le condizioni (stratigrafiche e di copertura) più gravose nell'ambito della relativa tratta di applicazione come sezione prevalente. Mentre la sezione A0 viene verificata considerando i parametri più alti.

Si è inoltre definita la sezione più gravosa per l'analisi dei by-pass tecnologici, per i by-pass di esodo si rimanda all'elaborato IBOU1BEZZCLGN000001B Rif. [9].

### 7.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI


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

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

#### Rivestimento provvisorio

<b>Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)</b>	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,5} = 14.11 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 31447 \text{ MPa}$
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
Dosaggio in fibre	30 kg/m <sup>3</sup>
Classe di assorbimento energetica minima	E700



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	17 di 89

<b>Acciaio per centine</b>	
Tipo	S275
Tensione caratteristica di rottura	$f_{yk} \geq 430 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{uk} \geq 275 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

### **Rivestimenti definitivi**

<b>Calcestruzzo non armato</b>	
Classe di resistenza di calcolo	C25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_{c,max} = 6,225 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 31447 \text{ MPa}$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B
<b>08 - GALLERIE</b>						FOGLIO:
Relazione tecnica e di monitoraggio						<b>18 di 89</b>

## 7.2 SEZIONI TIPOLOGICHE IN TRADIZIONALE

### 7.2.1 Galleria tecnologica Sezione A0

Il volume di scavo comprende lo scavo della calotta, delle murette e dell'arco rovescio per un area di scavo media pari a 82m<sup>2</sup>.

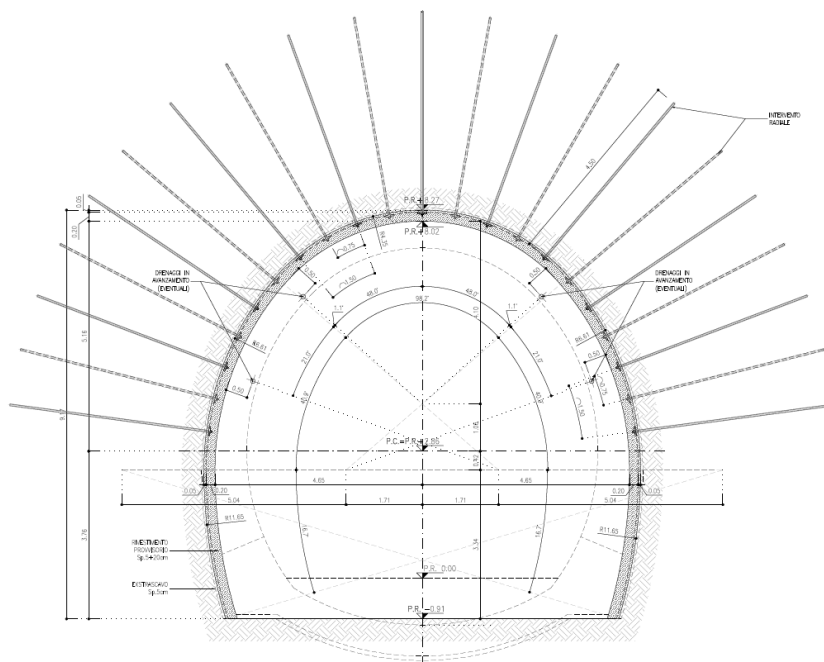


Figura 7-1: Carpenteria Galleria Tecnologica – sezione A0

Tutte le quantità relative agli interventi sono riportate negli elaborati di scavo, consolidamento e carpenteria, mentre le percentuali di applicazione delle sezioni sono indicate nei profili geotecnici.

La sezione prevista 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 bulloni radiali ad ancoraggio puntuale (con successiva cementazione), costituiti da barre  $\phi 24$ mm, di lunghezza pari a 4.5 m, passo longitudinale pari a 1.5m 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 di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 12.00m.

#### **Rivestimento definitivo:**

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo non armato con spessore di 0.70 m;
- Calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.60 m.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>19 di 89</b>

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 3 m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento radiale;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp.20 cm (sp tot. 25 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e muratte a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 7: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

### 7.2.1 Galleria tecnologica Sezione A1

Il volume di scavo comprende lo scavo della calotta, delle murette e dell'arco rovescio per un area di scavo media pari a 86m<sup>2</sup>.

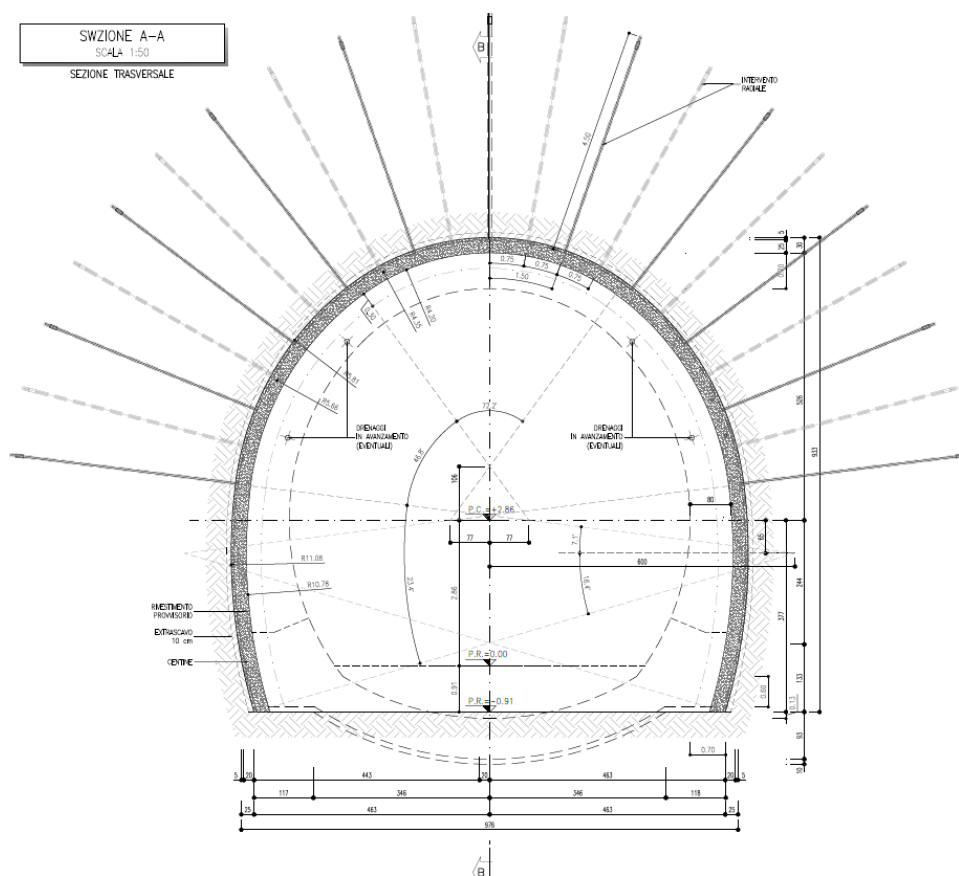


Figura 7-2: Carpenteria Galleria Tecnologica – sezione A1

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	20 di 89

Per le tratte di applicazione si rimanda al profilo geotecnico. La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

**Interventi di prima fase:**

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 cm di spritz – beton fibrorinforzato, bulloni radiali ad ancoraggio puntuale (con successiva cementazione), costituiti da barre  $\phi 24\text{mm}$ , di lunghezza pari a 4.5 m, passo longitudinale pari a 1.4m e trasversale di 1.5m e trasversale di 1.50m e centine metalli 2IPN180 con interasse longitudinale 1.40m. 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 non armato con spessore di 0.80m;
- Calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.70m

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 3 m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento radiale;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp.25 cm (sp tot. 25 cm) e 2 centine IPN180 a passo 1,4m;
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e murette a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 7: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>21 di 89</b>

### 7.2.2 Galleria tecnologica Sezione di innesto

Il volume di scavo comprende lo scavo della calotta, delle murette e dell'arco rovescio per un area di scavo media pari a 108m<sup>2</sup>.

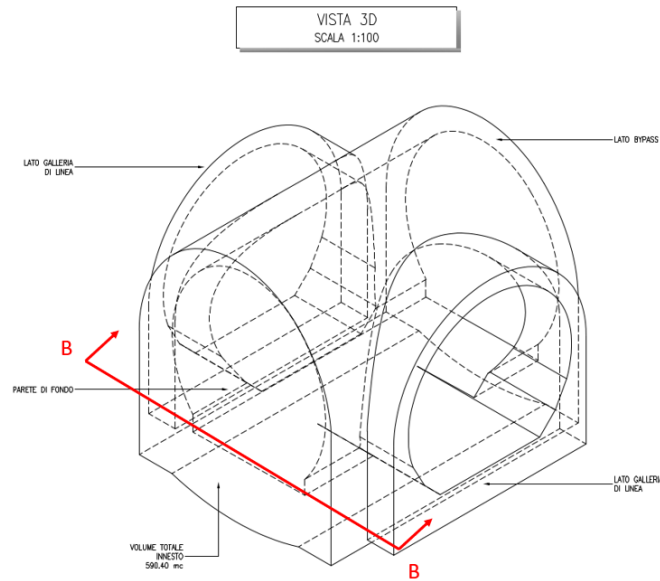


Figura 7-3: Vista 3D della sezione innesto (IBOU1BEZZWBGNO400009)

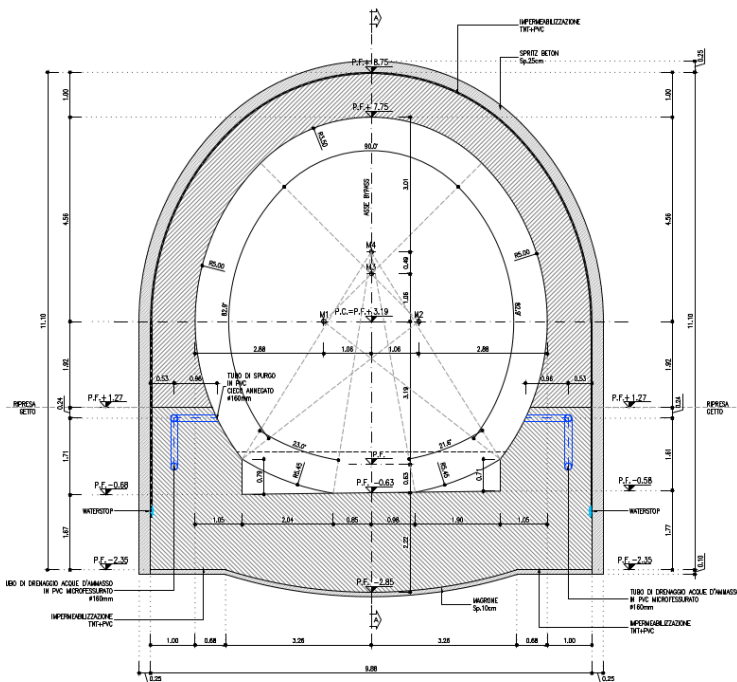


Figura 7-4: Carpenteria sezione innesto (IBOU1BEZZWBGNO400009) – sezione B-B

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>22 di 89</b>

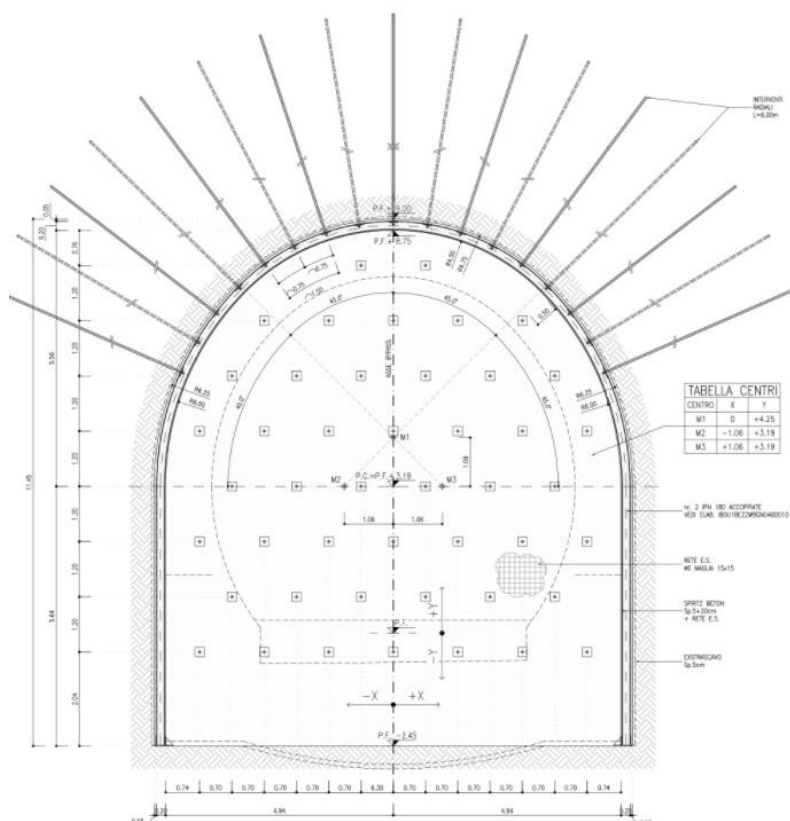


Figura 7-5: Carpenteria sezione innesto (IBOU1BEZZWBG0400008) – sezione B-B

La sezione presenta le seguenti caratteristiche:

**Interventi di prima fase:**

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 cm di spritz – beton fibrorinforzato, bulloni radiali ad ancoraggio puntuale (con successiva cementazione), costituiti da barre  $\phi 24$ mm, di lunghezza pari a 6.0 m, passo longitudinale pari a 1.5m e trasversale di 1.50m. È prevista una variabilità di  $\pm 20\%$  riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni (i bulloni radiali sono rappresentati nella tavola IBOU1BEZZWBG0400008);
- 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 minimo pari a 1.8m, incidenza pari a  $150 \text{ kg/m}^3$ ;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore 1.0m, incidenza pari a  $150 \text{ kg/m}^3$ .

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	23 di 89

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.5 m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento radiale;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp.20 cm (sp tot. 25 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell’arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e muratte a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 7: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

### 7.3 MODELLAZIONE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI GETTATI IN OPERA

I rivestimenti definitivi, ai fini della valutazione dei fenomeni di interazione con l’ammasso, sono stati modellati con elementi shell, secondo l’effettivo spessore previsto. Allo scopo di derivare le caratteristiche di sollecitazione, sono stati introdotti degli elementi plate monodimensionali in posizione baricentrica rispetto ai rivestimenti stessi. A tali elementi plate sono state attribuite caratteristiche inerziali proprie dei rivestimenti (spessori) e moduli elastici inferiori di 6 ordini di grandezza rispetto a quello che compete al calcestruzzo giunto a maturazione. La rigidità flessionale di tali elementi beam risulta pertanto irrisoria rispetto alla rigidità dei rivestimenti definitivi modellati come elementi shell ai quali essi risultano, comunque, perfettamente solidali. Il campo di deformazione sugli elementi beam è quello reale, pertanto, tramite amplificazione delle caratteristiche di sollecitazione (N, M, V) restituite dal software di calcolo, in misura di 6 ordini di grandezza, si perviene agli effettivi valori dello sforzo assiale, momento flettente e taglio con i quali condurre le verifiche sezionali.

I principali vantaggi del metodo sono quelli di avere risultati omogenei e dettagliati degli sforzi sul rivestimento definitivo, svolgere in tempi rapidi le verifiche strutturali su tutti gli elementi plate e ottenere le sollecitazioni di azione assiale (N), momento flettente(M) e taglio (V) direttamente dall’analisi evitando il processo laborioso di integrazione dei risultati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 24 di 89

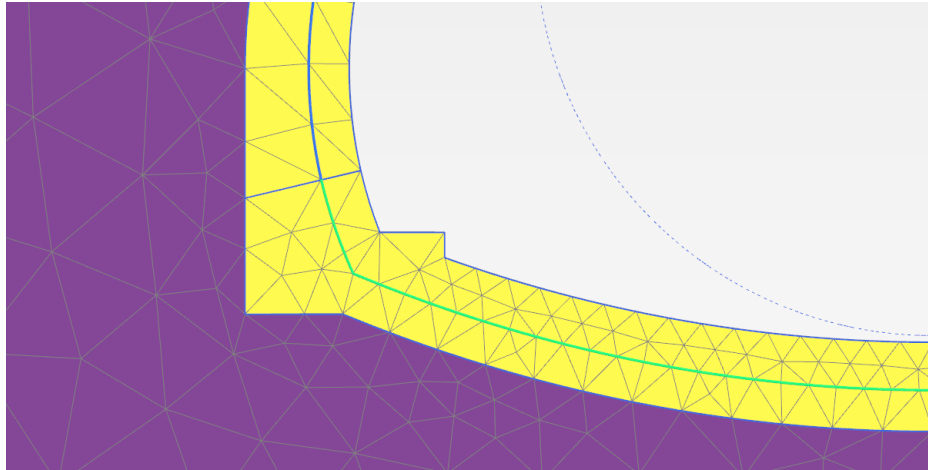


Figura 7-6: Modellazione rivestimento definitivo gettato in opera

## 8. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE

### 8.1 GALLERIA TECNOLOGICA\_SEZIONE A0

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei 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 allegato.

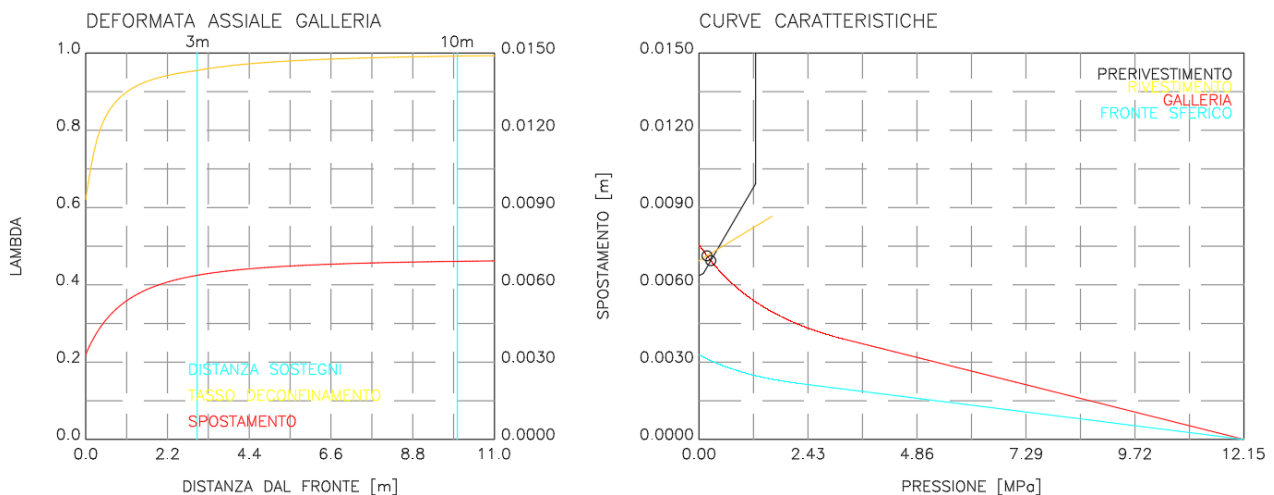


Fig. 8-1: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

La seguente tabella 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	25 di 89

Fasi di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Pre – convergenza del fronte	0	0.70
Sfondo elementare di 3m, attivazione dei primi 5 cm di spritz – beton ( $E_{s-b} = 5 \text{ GPa}$ ) e della bullonatura radiale	2	0.94
Attivazione del rivestimento di prima fase con spritz-beton di spessore pari a 25 cm “giovane” e bulloni radiali ( $E_{s-b} = 15 \text{ GPa}$ )	3	0.95
Rivestimento di prima fase a maturazione completa ( $E_{s-b} = 32 \text{ GPa}$ )	10	0.99
Scarico a $x_1$ dal fronte	20	1.00

Tabella 8-1: Fasi di analisi sezione A0

Nel seguente capitolo vengono effettuate le verifiche agli Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio per le sezioni oggetto di analisi.

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame. Per ridurre le dimensioni del modello si è definito un terreno in grado di riprodurre una pressione verticale sul bordo superiore del modello equivalente alla reale copertura presente in sito.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto – plastico “Mohr – Coulomb”.

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 8-2.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSSa	450	20	27	1826	38	14000	0.90

*C = copertura (rispetto alla calotta)*  
 *$\gamma$  = peso per unità di volume*  
*c = coesione drenata*  
 *$\phi$  = angolo di attrito interno*  
*E = modulo elastico dell'ammasso roccioso*  
 *$k_0$  = coefficiente di spinta a riposo*

Tabella 8-2: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione A0

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>26 di 89</b>

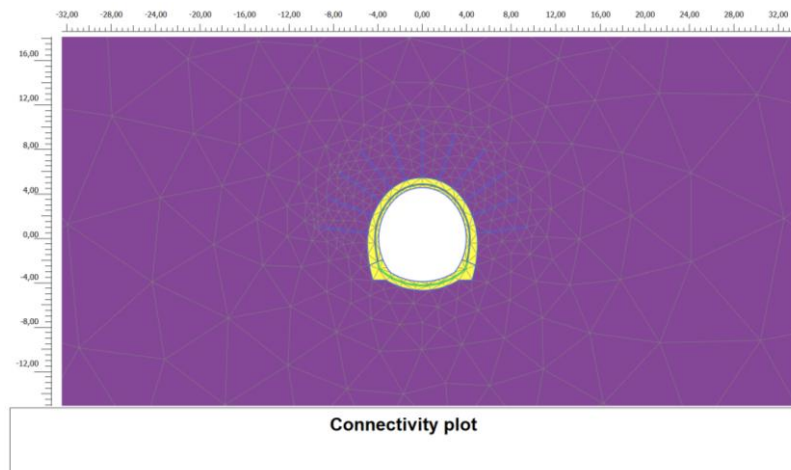


Figura 8-2: Geometria di analisi – Nodo tecnologico di Albes Sezione A0

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D.

I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

1. Inizializzazione dello stato tensionale imposto;
2. Sfondo pari a 3 m mediante esplosivo della sezione della galleria tecnologica con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta 70% ( $\lambda=0.70$ );
3. Installazione del primo strato di spritz-beton di 5cm (spritz – beton "giovane", avente un modulo elastico pari 5 GPa) e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda=0.94$ );
4. Installazione secondo strato di spritz-beton per uno spessore complessivo di 25cm e bullonatura radiale (spritz – beton "giovane", avente un modulo elastico pari 15 GPa) e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda=0.95$ );
5. Installazione dell'arco rovescio e rilascio al 99% dello stato tensionale al contorno di scavo e simulazione del rivestimento di prima fase costituito dallo spritz – beton maturo e bulloni radiali;
6. Installazione della calotta e rilascio al 100% dello stato tensionale al contorno di scavo;
7. Disattivazione del rivestimento provvisorio;
8. Applicazione di un carico radiale in arco rovescio per simulare la presenza della falda

### 8.1.1 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione tipo A0 del by-pass tecnologico facente parte del nodo tecnologico di Albes è costituito da uno strato di spritz-beton avente spessore di 25 cm.

Il rivestimento di prima fase della sezione A0 dei by-pass è costituito da uno strato di spritz-beton avente spessore 15 cm.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 27 di 89

La verifica viene condotta considerando la sezione non armata e seguendo la normativa del 2008 (Rif[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

Le verifiche a taglio sono invece soddisfatte se la massima tensione tangenziale risulta inferiore a:

$$\tau_c = 0.21 f_{ctk}$$

Le tensioni di massime di compressione e le tensioni massime tangenziali sono:

CALCESTRUZZO	C25/30
fck	25 MPa
0.25 f <sub>ck</sub>	6.25 MPa
0.21 f <sub>ctk</sub>	0.38 MPa

Tabella 8—3: Caratteristiche di resistenza del prima fase

Le tensioni di compressione vengono calcolate tramite la formula di Navier:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{I} y$$

Mentre, la tensione tangenziale massima per una sezione rettangolare è data da:

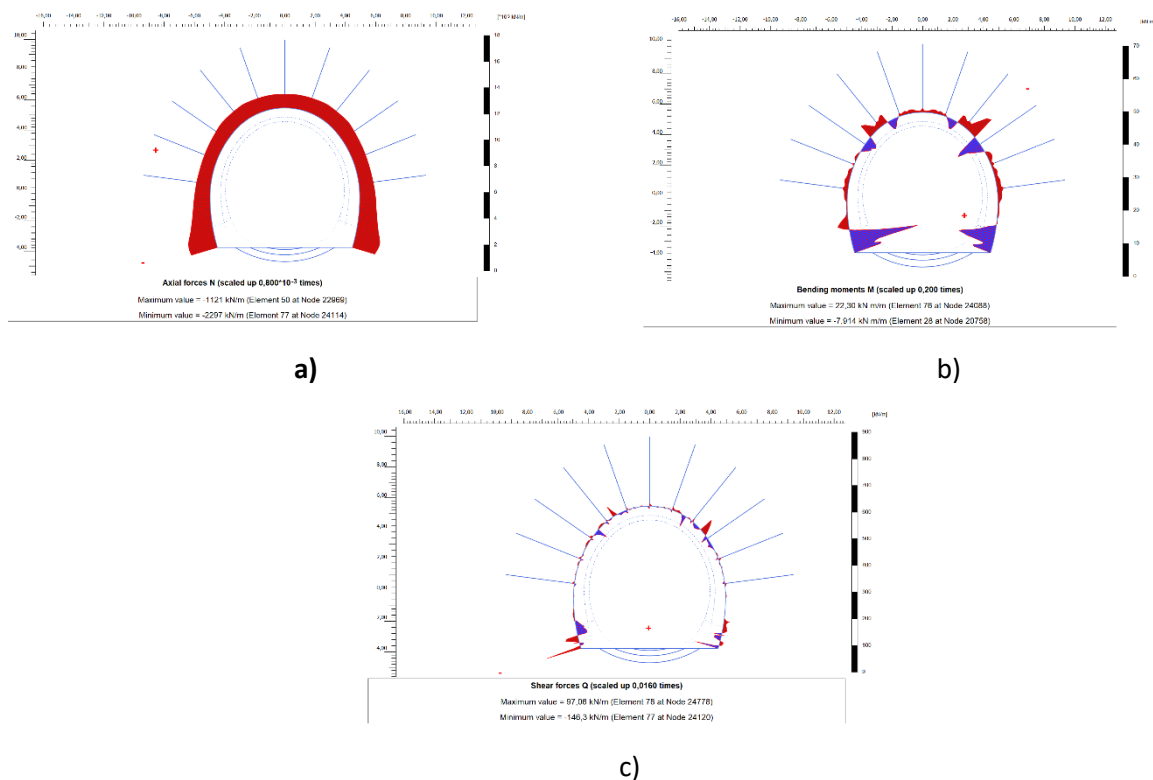
$$\tau_{max} = \frac{3T}{2A}$$

Le caratteristiche geometriche della sezione sono le seguenti:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE	
B	0.25 m
H	1 m
A	0.25 m <sup>2</sup>
I	0.0013 m <sup>4</sup>

Tabella 8—4: Caratteristiche geometriche della sezione

APPALTATORE:										
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>									
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ	RH	GN0400004	B	28 di 89
<b>08 - GALLERIE</b>										
Relazione tecnica e di monitoraggio										



a)Figura 8-3: Diagrammi delle sollecitazioni N-M-Q: a) N Fase 4; b) M Fase 4.

Nelle zone di appoggio a terra dell'elemento plate, con cui si è modellato lo spessore di spritz beton, le sollecitazioni tendono ad aumentare, tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti di singolarità nella modellazione che determinano concentrazione degli sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche illustrate in seguito.

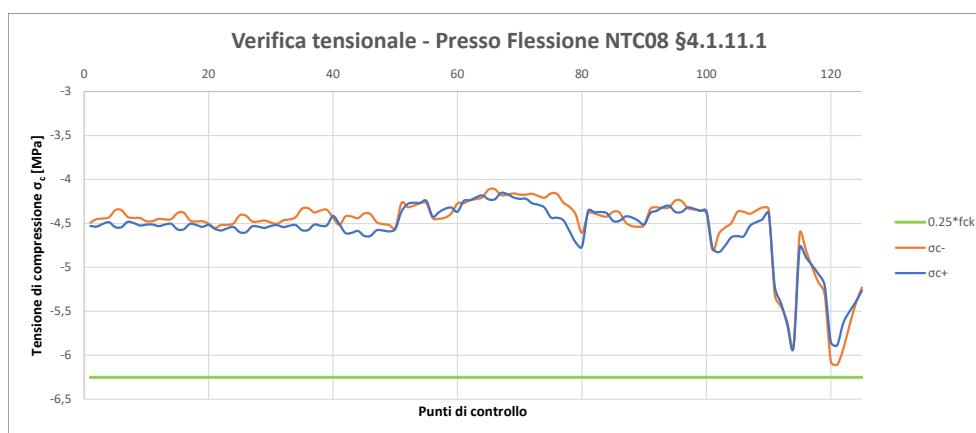


Figura 8-4: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento di prima fase

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 29 di 89

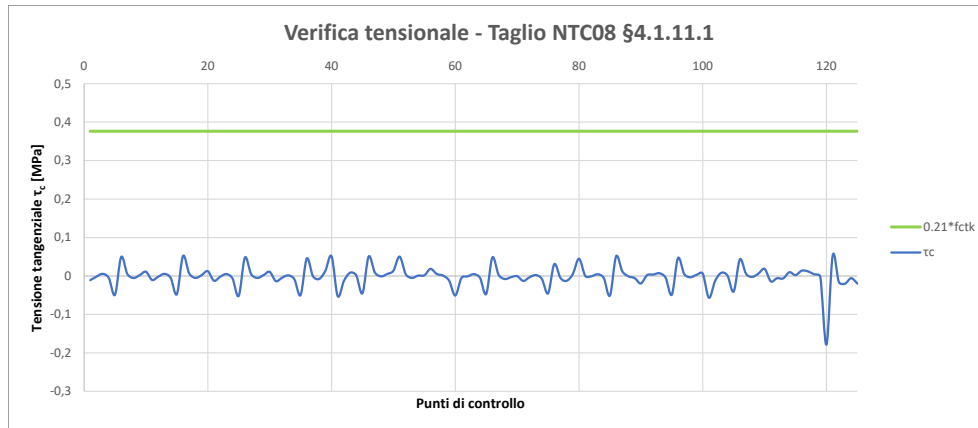


Figura 8-5: Verifica a taglio rivestimento di prima fase

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

#### Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone.

Per quanto riguarda il primo caso, occorre valutare che l'azione sollecitante di progetto  $E_d$  sia minore rispetto alla resistenza del sistema  $R_{d,snervamento}$ . La resistenza del sistema è stata ottenuta moltiplicando la tensione di snervamento di progetto dell'acciaio per l'area del bullone stesso.

Per quanto riguarda le verifiche nei confronti dello sfilamento è da valutare la resistenza allo sfilamento mediante la seguente relazione:

$$R_{d,sfilamento} = \tau_{lim} \pi D_s L$$

Dove:

$D_s = \alpha D_{foro}$ , con  $\alpha = 1.1$  e  $D_{foro} = 51$  mm

$\tau_{lim}$  = tensione tangenziale limite = 0.60MPa in accordo con Bustamante e Doix Rif. [7]

L = lunghezza dei chiodi

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

$f_{yk}$	450	MPa
$\Phi_{chiodo}$	24	mm
$A_s$	452	mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	-
$R_d$	177	kN
$N_{k,max}$	31	kN/m
$N_{ed,max}$	121	kN
FS	1.46	-

Tabella 8—5: Verifiche a snervamento chiodi camerone di montaggio

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	Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	30 di 89

$D_{\text{foro}}$	51	mm
L	4.5	m
$\tau_{\text{lim}}$	0.60	MPa
$\zeta$	1.8	-
$\gamma$	1.1	-
$R_d$	240	kN
$N_{k,\text{max}}$	31	kN/m
$N_{\text{ed,max}}$	121	kN
FS	1.99	-

Tabella 8—6: Verifiche a sfilamento chiodi camerone di montaggio

### 8.1.2 Verifiche del rivestimento definitivo

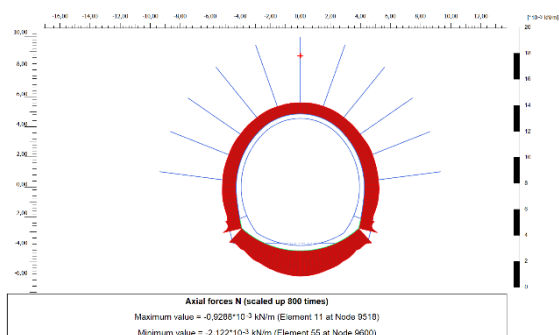
#### **Rivestimento non armato – Verifiche di sicurezza**

Nelle zone di attacco tra arco rovescio e piedritti, le sollecitazioni tendono ad aumentare; tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti singolari nella modellazione dell'intradosso che determinano concentrazioni di sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche.

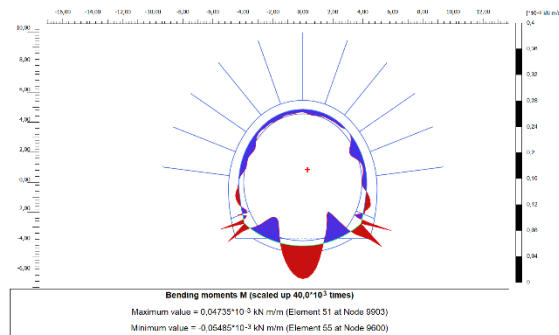
Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.60m per la calotta, e 0.70 m per le murette ed arco rovescio.

Nelle zone di attacco tra puntone e piedritti del pre-rivestimento, le sollecitazioni tendono ad aumentare, tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti di singolarità nella modellazione dell'intradosso che determinano concentrazione degli sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche illustrate in seguito.

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento. Si riportano di seguito i grafici relativi agli andamenti degli sforzi ottenuti dalla simulazione in Plaxis 2D:

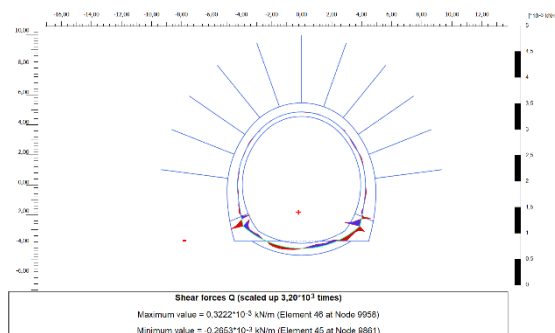


a)



b)

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>31 di 89</b>



c)

Figura 8-6: Diagrammi delle sollecitazioni N-M-Q: a) N Fase 8; b) M Fase 8; c) Q Fase 8

La verifica viene condotta considerando la sezione non armata e seguendo la normativa del 2008 (Rif.[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

Le verifiche a taglio sono invece soddisfatte se la massima tensione tangenziale risulta inferiore a:

$$\tau_c = 0.21 f_{ctk}$$

Le tensioni di massime di compressione e le tensioni massime tangenziali sono:

CALCESTRUZZO	C25/30
fck	25 MPa
0.25 f <sub>ck</sub>	6.25 MPa
0.21 f <sub>ctk</sub>	0.38 MPa

Tabella 8—7: Caratteristiche geometriche della sezione

Le tensioni di compressione vengono calcolate tramite la formula di Navier:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{I} y$$

Mentre, la tensione tangenziale massima per una sezione rettangolare è data da:

$$\tau_{max} = \frac{3T}{2A}$$

Le caratteristiche geometriche delle sezioni di calcolo sono le seguenti:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 32 di 89

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE ARCO ROVESCIO	
B	0.70 m
H	1 m
A	0.70 m <sup>2</sup>
I	0.029 m <sup>4</sup>

Tabella 8—8: Caratteristiche geometriche dell'arco rovescio

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CALOTTA	
B	0.60 m
H	1 m
A	0.60 m <sup>2</sup>
I	0.018 m <sup>4</sup>

Tabella 8—9: Caratteristiche geometriche della calotta

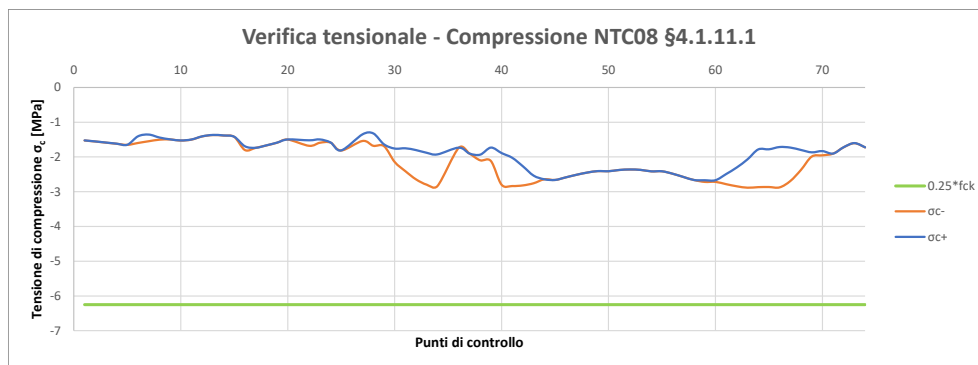


Figura 8-7: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento definitivo\_Arco Rovescio

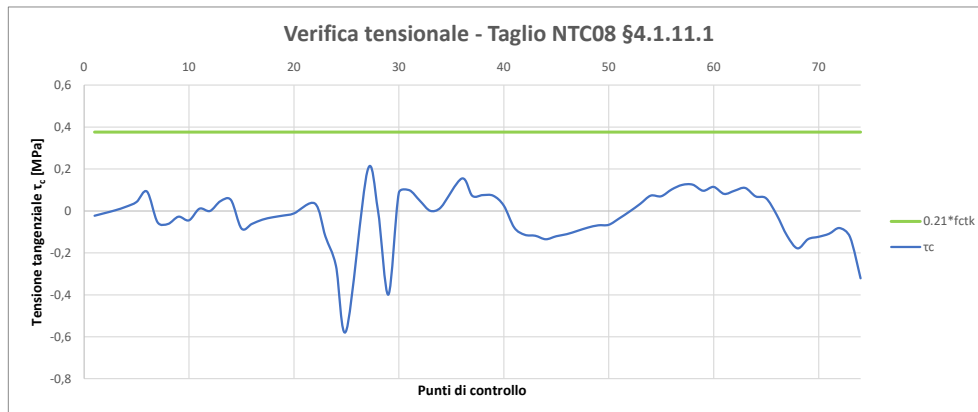


Figura 8-8: Verifica a taglio rivestimento definitivo\_Arco Rovescio



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 33 di 89

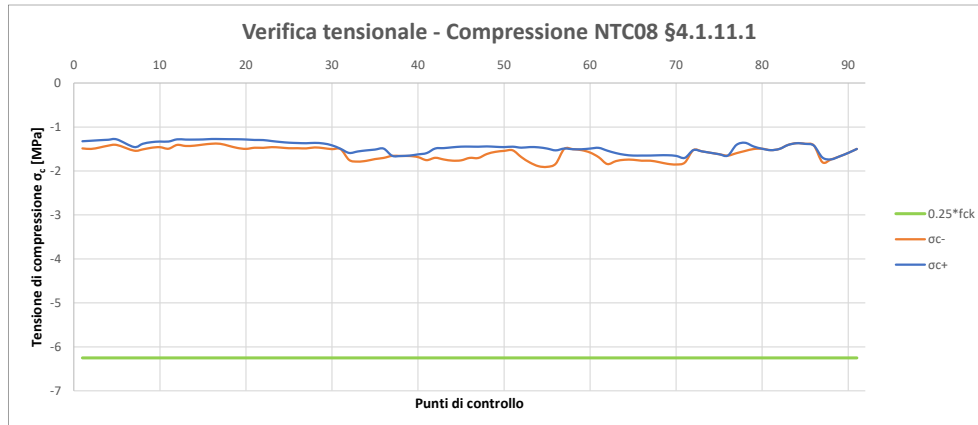


Figura 8-9: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento definitivo\_Calotta

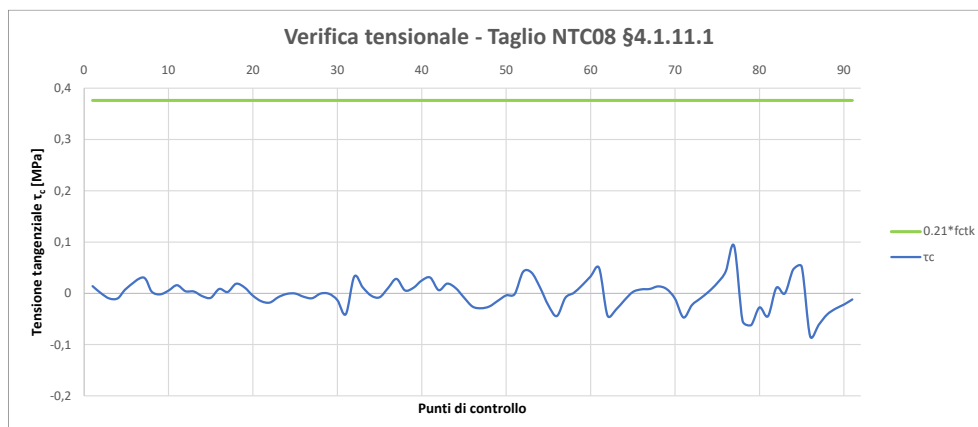


Figura 8-10: Verifica a taglio rivestimento definitivo\_Calotta

Come si evince dai grafici sopra riportati le verifiche risultano soddisfatte.

## 8.2 GALLERIA TECNOLOGICA\_SEZIONE A1

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei 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 allegato.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>34 di 89</b>

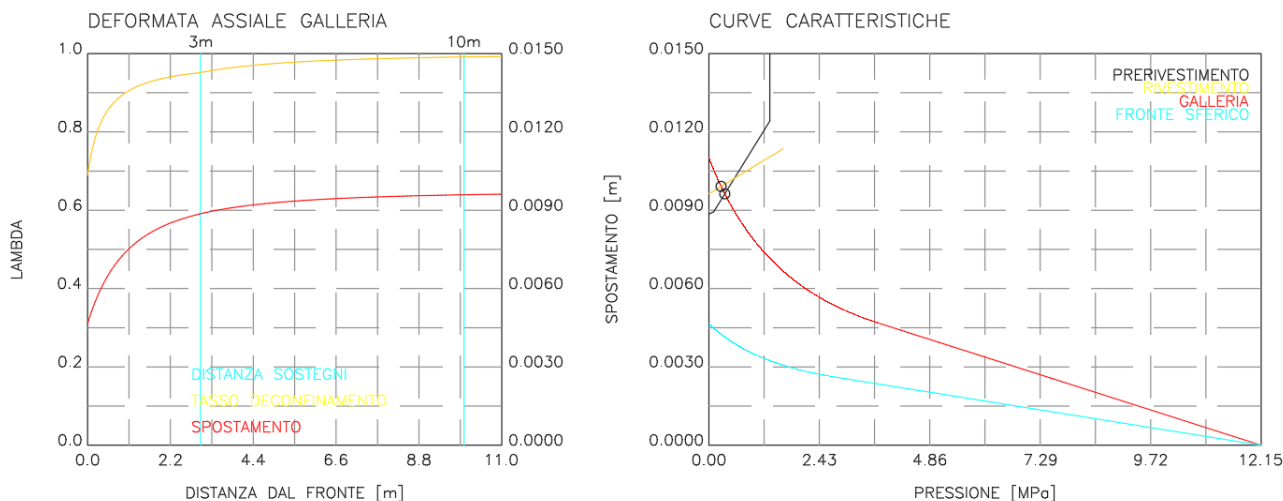


Fig. 8-11: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

La seguente tabella 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:

Fasi di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Pre – convergenza del fronte	0	0.70
Sfondo elementare di 3m, attivazione dei primi 5 cm di spritz – beton ( $E_{s-b} = 5$ GPa) e della bullonatura radiale	2	0.93
Attivazione del rivestimento di prima fase con spritz-beton di spessore pari a 30 cm "giovane", centine 2IPN180 e bulloni radiali ( $E_{s-b} = 15$ GPa)	3	0.94
Rivestimento di prima fase a maturazione completa ( $E_{s-b} = 32$ GPa)	10	0.99
Scarico a $x_1$ dal fronte	20	1.00

Tabella 8-10: Fasi di analisi sezione A1

Nel seguente capitolo vengono effettuate le verifiche agli Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio per le sezioni oggetto di analisi.

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame. Per ridurre le dimensioni del modello si è definito un terreno in grado di riprodurre una pressione verticale sul bordo superiore del modello equivalente alla reale copertura presente in sito.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto – plastico "Mohr – Coulomb".

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 35 di 89

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 8-2.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSSa	450	30	27	1605	36	11000	0.90

*C = copertura (rispetto alla calotta)*  
 *$\gamma$  = peso per unità di volume*  
*c = coesione drenata*  
 *$\phi$  = angolo di attrito interno*  
*E = modulo elastico dell'ammasso roccioso*  
 *$k_0$  = coefficiente di spinta a riposo*

Tabella 8-11: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione A1

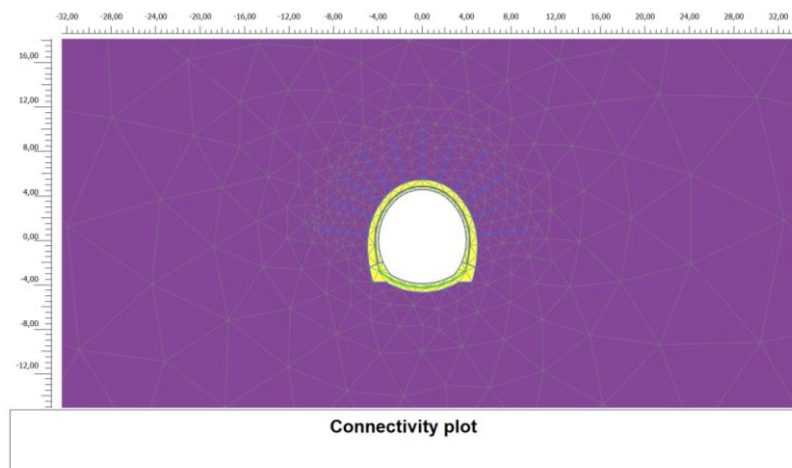


Figura 8-12: Geometria di analisi – Nodo tecnologico di Albes Sezione A1

L'interazione galleria-terreno è stata valutata mediante una apposita analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D.

I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

1. Inizializzazione dello stato tensionale imposto;
2. Sfondo pari a 3 m mediante esplosivo della sezione della galleria tecnologica con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta 70% ( $\lambda=0.70$ );
3. Installazione del primo strato di spritz-beton di 5cm (spritz – beton "giovane", avente un modulo elastico pari 5 GPa) e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda=0.94$ );

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 36 di 89

4. Installazione secondo strato di spritz-beton per uno spessore complessivo di 30cm, centine metalliche 2IPN180 a passo 1,4m e bullonatura radiale (spritz – beton “giovane”, avente un modulo elastico pari 15 GPa) con ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda = 0.95$ );
5. Installazione dell’arco rovescio e rilascio al 99% dello stato tensionale al contorno di scavo e simulazione del rivestimento di prima fase costituito dallo spritz – beton maturo, centine e bulloni radiali;
6. Installazione della calotta e rilascio al 100% dello stato tensionale al contorno di scavo;
7. Disattivazione del rivestimento provvisorio;
8. Applicazione di un carico radiale in arco rovescio per simulare la presenza della falda

### 8.2.1 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione B dei bypass è costituito da n. 2 centine metalliche IPN180 a passo 1.40m e da uno strato di spritz – beton avente spessore di 30 cm. L’analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione omogeneizzata spritz – centine, e utilizzando un modulo elastico della sezione omogeneizzata.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche 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 interamente 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  $\gamma = 1.00$ , moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo  $\gamma = 1.30$  (Combinazione A1+M1, Rif. [1]).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

- Per l’acciaio di carpenteria:  
le tensioni normali ai lembi delle centine ( $\sigma_{max,cen}; \sigma_{min,cen}$ )  
la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ( $\tau_{max,cen}$ )  
la tensione ideale massima agente nel profilato ( $\sigma_{id,cen}$ )
- Per il calcestruzzo proiettato  
le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ( $\sigma_{max,sb}; \sigma_{min,sb}$ )

Per ciascuna sezione si è verificata che la tensione in corrispondenza dei lembi maggiormente sollecitati risultino al di sotto del rispettivo limite di resistenza per entrambi i materiali.

In Tabella 8—12 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. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla fase Fase\_6.

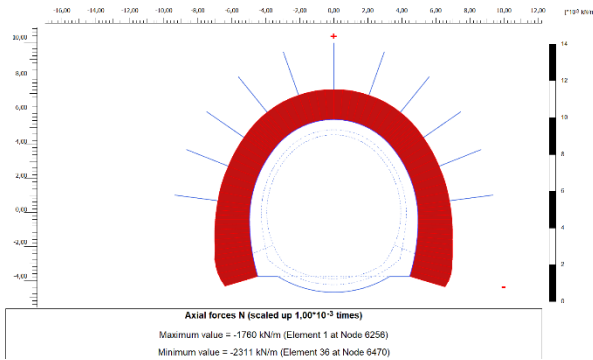
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 37 di 89	

Sollecitazioni	Ripartizione		Calcolo	
	Centine	Spritz	Centine	Spritz
Sforzo Normale ( $N_{tot}$ )	X	X	$N_{cent} = \frac{E_{acc} A_{cen}}{E_{eq} S_{eq}} N_{tot} d$	$N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cent}}{d}$
Momento flettente ( $M_{tot}$ )	X		$M_{cent} = M_{tot} d$	
Sforzo di taglio ( $T_{tot}$ )	X		$T_{cent} = T_{tot} d$	
Tensioni			$\sigma_{max, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\sigma_{min, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\tau_{max, cen} = \frac{T_{cen}}{h a}$ $\sigma_{id, cen} = \sqrt{(\sigma_{max, cen}^2 + 3\tau_{max, cen}^2)}$	$\sigma_{max, sb} = \frac{N_{sb}}{s}$
$E_{cls}$	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 sul rivestimento equivalente			
$M_{cen}$	momento flettente agente sulle centine			
$T_{tot}$	sforzo di taglio sul rivestimento equivalente			
$T_{cen}$	sforzo di taglio agente sulle centine			
$\sigma_{max, cen}$	tensione massima nelle centine			
$\sigma_{min, cen}$	tensione minima nelle centine			
$\tau_{min, cen}$	tensione tangenziale massima nelle centine			
$\sigma_{id, cen}$	tensione ideale nelle centine			
$\sigma_{max, sb}$	tensione massima nello spritz beton			
$\sigma_{min, sb}$	tensione minima nello spritz beton			

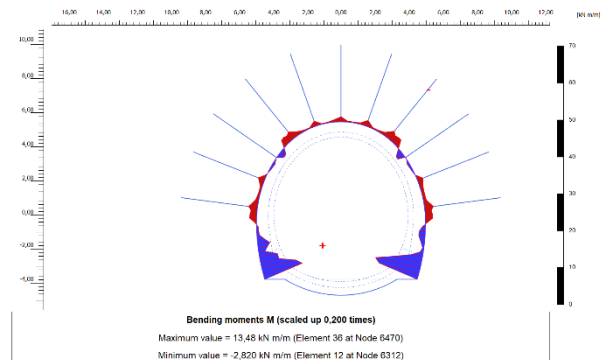
Tabella 8—12: Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

Nelle zone di attacco tra puntone e piedritti del pre-rivestimento, le sollecitazioni tendono ad aumentare, tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti di singolarità nella modellazione dell'intradosso che determinano concentrazione degli sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche illustrate in seguito.

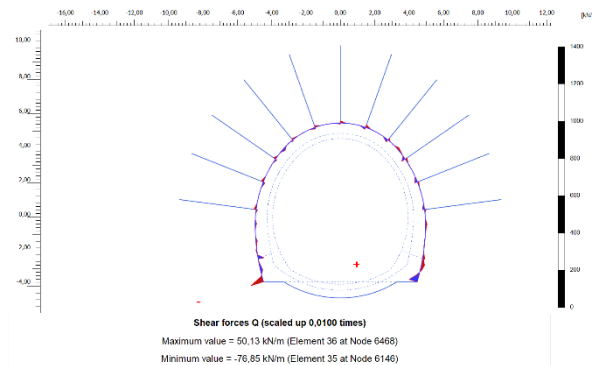
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 38 di 89



a)



b)



c)

a)Figura 8-13: Diagrammi delle sollecitazioni N-M-Q: a) N Fase 4; b) M Fase 4.

Nelle tabelle seguenti vengono sintetizzati i materiali impiegati ed i risultati delle verifiche svolte.

Spritz – beton		
Classe	C25/30	
R <sub>ck</sub>	30	MPa
γ	1.50	-
f <sub>ck</sub>	25	MPa
f <sub>cd</sub>	14.16	MPa
f <sub>ctm</sub>	2.61	MPa
b	100	cm
s	30	cm
A <sub>sb</sub>	30	cm <sup>2</sup>
I <sub>sb</sub>	225000	cm <sup>4</sup>
W <sub>sb</sub>	15000	cm <sup>3</sup>
E <sub>cls</sub>	31450	MPa

Centine		
Tipo	S275	
Profilato	IPN180	
γ	1.05	-
n	2	-
f <sub>y</sub>	275	MPa
f <sub>yd</sub>	261	MPa
A <sub>cent</sub>	27.9	cm <sup>2</sup>
I <sub>cent</sub>	1450	cm <sup>4</sup>
W <sub>cent</sub>	161	cm <sup>3</sup>
h <sub>cent</sub>	180	mm
a	6.9	mm
d	1.4	m
E <sub>cent</sub>	210000	MPa

Rivestimento equivalente		
S <sub>eq</sub>	0.297	m
E <sub>eq</sub>	36472	MPa

Tabella 8—13: Materiali pre-rivestimento

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 Relazione tecnica e di monitoraggio	<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>RH</td> <td>GN0400004</td> <td>B</td> <td>39 di 89</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	39 di 89
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	39 di 89								

Sezione	M	N	T
	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]
M <sub>max</sub>	17.52	-3004.79	-9.32
M <sub>min</sub>	-3.67	-2351.25	-16.82
N <sub>max</sub>	-1.99	-2287.69	9.57
N <sub>min</sub>	17.52	-3004.79	-9.32
T <sub>max</sub>	0.00	-2814.04	65.16
T <sub>min</sub>	0.00	-2615.40	-99.91

Tabella 8—14: Sollecitazioni da calcolo numerico

Sezione	M <sub>cent</sub>	N <sub>cent</sub>	T <sub>cent</sub>	σ <sub>max cen</sub>	σ <sub>min cen</sub>	τ <sub>min cen</sub>	σ <sub>id cen</sub>	Verifica
	[kNm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
M <sub>max</sub>	24.53	-162.66	-13.04	94.09	-210.69	-10.50	95.83	OK
M <sub>min</sub>	-5.13	-127.28	-23.55	-77.50	-13.74	-18.96	84.17	OK
N <sub>max</sub>	-2.78	-123.84	13.39	-61.66	-27.12	10.78	64.42	OK
N <sub>min</sub>	24.53	-162.66	-13.04	94.09	-210.69	-10.50	95.83	OK
T <sub>max</sub>	0.00	-152.34	91.23	-54.60	-54.60	73.45	138.45	OK
T <sub>min</sub>	0.00	-141.58	-139.88	-50.75	-50.75	-112.62	201.56	OK

Tabella 8—15: Sollecitazioni e verifica centine

Sezione	N <sub>sb</sub>	σ <sub>max sb</sub>	Verifica
	[kN]	[MPa]	
M <sub>max</sub>	-2888.60	-9.73	OK
M <sub>min</sub>	-2260.33	-7.62	OK
N <sub>max</sub>	-2199.23	-7.41	OK
N <sub>min</sub>	-2888.60	-9.73	OK
T <sub>max</sub>	-2705.23	-9.12	OK
T <sub>min</sub>	-2514.27	-8.47	OK

Tabella 8—16: Sollecitazioni e verifica spritz – beton

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

#### Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone.

Per quanto riguarda il primo caso, occorre valutare che l'azione sollecitante di progetto E<sub>d</sub> sia minore rispetto alla resistenza del sistema R<sub>d,snervamento</sub>. La resistenza del sistema è stata ottenuta moltiplicando la tensione di snervamento di progetto dell'acciaio per l'area del bullone stesso.

Per quanto riguarda le verifiche nei confronti dello sfilamento è da valutare la resistenza allo sfilamento mediante la seguente relazione:

$$R_{d,sfilamento} = \tau_{lim} \pi D_s L$$

Dove:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	40 di 89

$D_s = \alpha D_{\text{foro}}$ , con  $\alpha = 1.1$  e  $D_{\text{foro}} = 51$  mm

$\tau_{lim}$  = tensione tangenziale limite = 0.60 MPa in accordo con Bustamante e Doix Rif. [7]

L = lunghezza dei chiodi

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

$f_{yk}$	450	MPa
$\Phi_{\text{chiodo}}$	24	mm
$A_s$	452	mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	-
$R_d$	177	kN
$N_{k,max}$	45	kN/m
$N_{ed,max}$	176	kN
FS	1.47	-

Tabella 8—17: Verifiche a snervamento chiodi camerone di montaggio

$D_{\text{foro}}$	56,1	mm
L	4.5	m
$\tau_{lim}$	0.60	MPa
$\zeta$	1.8	-
$\gamma$	1.1	-
$R_d$	240	kN
$N_{k,max}$	45	kN/m
$N_{ed,max}$	176	kN
FS	1.37	-

Tabella 8—18: Verifiche a sfilamento chiodi camerone di montaggio

## 8.2.2 Verifiche del rivestimento definitivo


### **Rivestimento non armato – Verifiche di sicurezza**

Nelle zone di attacco tra arco rovescio e piedritti, le sollecitazioni tendono ad aumentare; tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti singolari nella modellazione dell'intradosso che determinano concentrazioni di sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche.

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.70m per la calotta, e 0.80 m per le murette ed arco rovescio.

Nelle zone di attacco tra puntone e piedritti del pre-rivestimento, le sollecitazioni tendono ad aumentare, tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti di singolarità nella modellazione dell'intradosso che determinano concentrazione degli sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche illustrate in seguito.



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 41 di 89

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento. Si riportano di seguito i grafici relativi agli andamenti degli sforzi ottenuti dalla simulazione in Plaxis 2D:

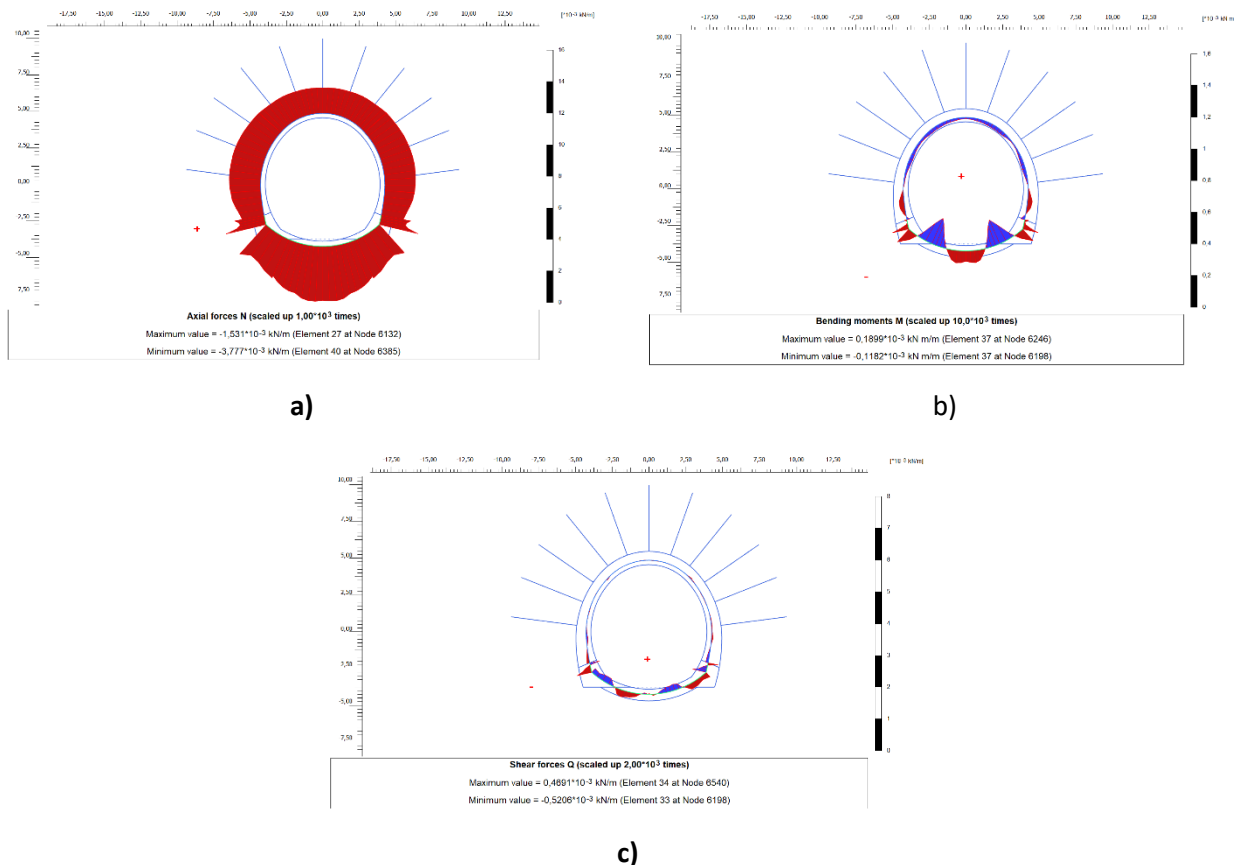


Figura 8-14: Diagrammi delle sollecitazioni N-M-Q: a) N Fase 8; b) M Fase 8; c) Q Fase 8

La verifica viene condotta considerando la sezione non armata e seguendo la normativa del 2008 (Rif.[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

Le verifiche a taglio sono invece soddisfatte se la massima tensione tangenziale risulta inferiore a:

$$\tau_c = 0.21 f_{ctk}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	42 di 89
<b>08 - GALLERIE</b>							
Relazione tecnica e di monitoraggio							

Le tensioni di massime di compressione e le tensioni massime tangenziali sono:

CALCESTRUZZO	C25/30
fck	25 MPa
0.25 f <sub>ck</sub>	6.25 MPa
0.21 f <sub>ctk</sub>	0.38 MPa

Tabella 8—19: Caratteristiche geometriche della sezione

Le tensioni di compressione vengono calcolate tramite la formula di Navier:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{I} y$$

Mentre, la tensione tangenziale massima per una sezione rettangolare è data da:

$$\tau_{max} = \frac{3T}{2A}$$

Le caratteristiche geometriche delle sezioni di calcolo sono le seguenti:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE ARCO ROVESCIO	
B	0.80 m
H	1 m
A	0.80 m <sup>2</sup>
I	0.043 m <sup>4</sup>

Tabella 8—20: Caratteristiche geometriche dell'arco rovescio

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CALOTTA	
B	0.70 m
H	1 m
A	0.70 m <sup>2</sup>
I	0.029 m <sup>4</sup>

Tabella 8—21: Caratteristiche geometriche della calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 43 di 89

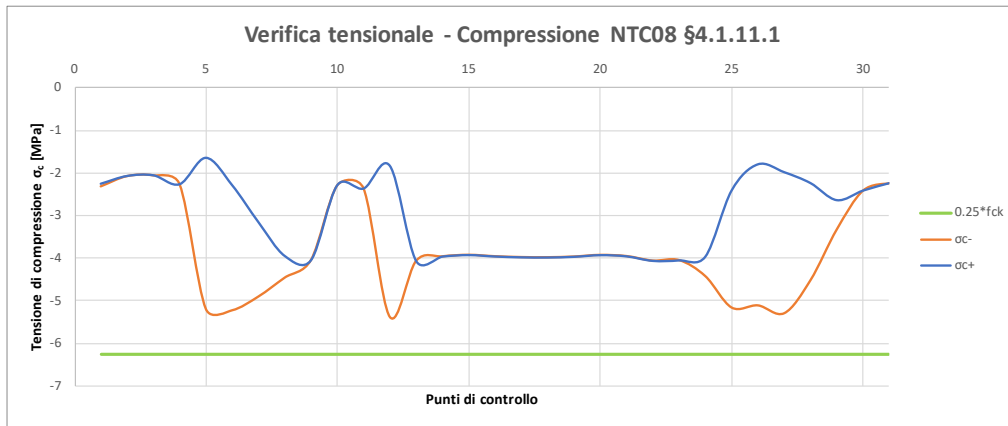


Figura 8-15: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento definitivo\_Arco Rovescio

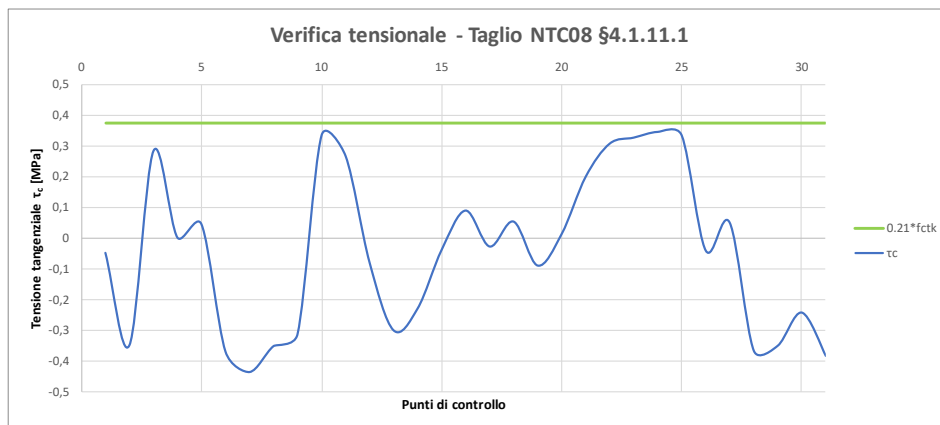


Figura 8-16: Verifica a taglio rivestimento definitivo\_Arco Rovescio

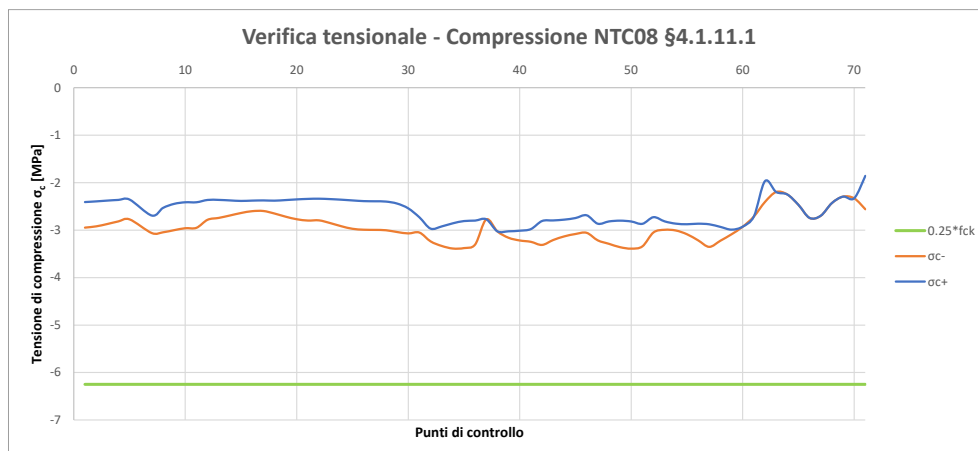


Figura 8-17: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento definitivo\_Calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 44 di 89

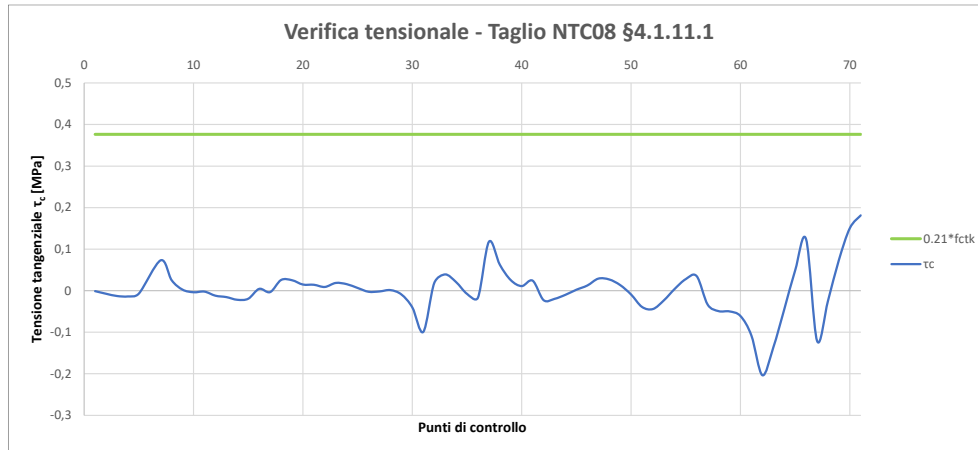


Figura 8-18: Verifica a taglio rivestimento definitivo\_Calotta

Come si evince dai grafici sopra riportati le verifiche risultano soddisfatte.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 45 di 89

### 8.3 GALLERIA TECNOLOGICA\_SEZIONE DI INNESTO

Nel calcolo bidimensionale della sezione di innesto, per tener conto della galleria di linea già scavata, lo stato tensionale di partenza è stato dedotto dal modello 3D presentato nel §9.

In particolare sono state ricavate le tensioni agenti (in termini di  $\sigma_{zz}$ ,  $\sigma_{yy}$  e  $\sigma_{xx}$ ) al contorno della sezione di innesto: da questo, nel modello 2D presentato nel seguito, è stata imposta una condizione di "filed stress" pari allo stato tensionale ricavato dal modello 3D.

Ai fini del calcolo dei tassi di rilascio, dunque, lo stato iniziale (indicato come  $p_0$ ) è stato definito pari allo stato verticale del modello 3D (vedasi allegato §12.3.3).

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei 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 allegato.

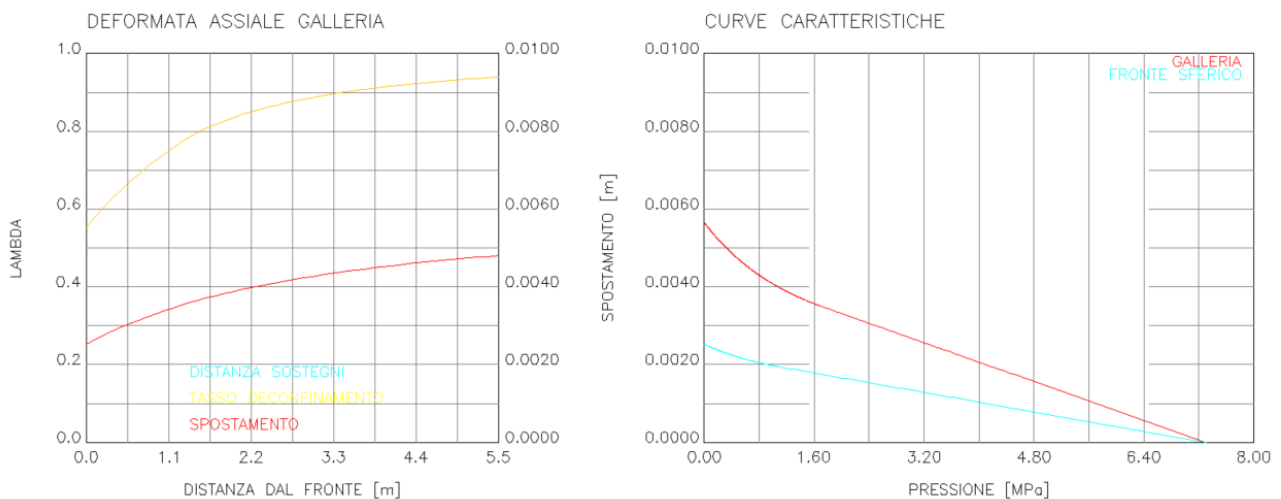


Fig. 8-19: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dei sostegni

La seguente tabella 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:

Fasi di analisi	Distanza dal fronte [m]	Tasso di rilascio [-]
Pre – convergenza del fronte	0	0.55
Sfondo elementare di 1.5m	1.5	0.80
Attivazione dei primi 5 cm di spritz – beton ( $E_{s-b} = 5 \text{ GPa}$ ) e della bullonatura radiale	2.0	0.85
Attivazione del rivestimento di prima fase con spritz-beton di spessore pari a 25 cm bulloni radiali	3	0.90
Attivazione arco rovescio	-	0.95

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	46 di 89

Attivazione calotta	-	1.00
Disattivazione del rivestimento di prima fase	-	1.00
Fasi di L.T. in presenza di carico idraulico	-	1.00

Tabella 8-22: Fasi di analisi sezione di innesto

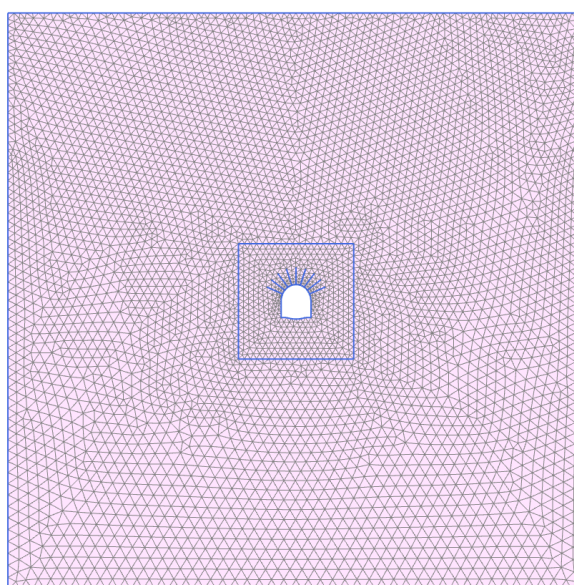


Fig. 8-20: Sezione di innesto – geometria del modello di calcolo

Nel seguente capitolo vengono effettuate le verifiche agli Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio per le sezioni oggetto di analisi.

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame. Per ridurre le dimensioni del modello si è definito un terreno in grado di riprodurre una pressione verticale sul bordo superiore del modello equivalente alla reale copertura presente in sito.

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto – plastico "Mohr – Coulomb".

Le fasi di analisi sono le seguenti:

- 1) Inizializzazione dello stato tensionale imposto;
- 2) Sfondo pari a 1.5 m mediante esplosivo della sezione della galleria tecnologica con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta 80% ( $\lambda=0.80$ );
- 3) Installazione del primo strato di spritz-beton di 5cm (spritz – beton "giovane", avente un modulo elastico pari 5 GPa) e ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda=0.85$ );

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 47 di 89

- 4) Installazione secondo strato di spritz-beton per uno spessore complessivo di 25cm e bullonatura con ulteriore rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno dello scavo ( $\lambda = 0.90$ );
- 5) Installazione dell'arco rovescio e rilascio al 95% dello stato tensionale al contorno di scavo e simulazione del rivestimento di prima fase costituito dallo spritz – beton maturo, centine e bulloni radiali;
- 6) Installazione della calotta e rilascio al 100% dello stato tensionale al contorno di scavo;
- 7) Disattivazione del rivestimento provvisorio;
- 8) Applicazione di un carico radiale in arco rovescio per simulare la presenza della falda

### 8.3.1 Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione di innesto facente parte del nodo tecnologico di Albes è costituito da uno strato di spritz-beton avente spessore di 25 cm.

La verifica viene condotta considerando la sezione non armata e seguendo la normativa del 2008 (Rif[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

Le verifiche a taglio sono invece soddisfatte se la massima tensione tangenziale risulta inferiore a:

$$\tau_c = 0.21 f_{ctk}$$

Le tensioni di massime di compressione e le tensioni massime tangenziali sono:

CALCESTRUZZO	C25/30
fck	25 MPa
$0.25 f_{ck}$	6.25 MPa
$0.21 f_{ctk}$	0.38 MPa

Tabella 8—23: Caratteristiche di resistenza del prima fase

Le tensioni di compressione vengono calcolate tramite la formula di Navier:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{I} y$$

Mentre, la tensione tangenziale massima per una sezione rettangolare è data da:

$$\tau_{max} = \frac{3T}{2A}$$

Le caratteristiche geometriche della sezione sono le seguenti:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 48 di 89

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE	
B	0.25 m
H	1 m
A	0.25 m <sup>2</sup>
I	0.0013 m <sup>4</sup>

Tabella 8—24: Caratteristiche geometriche della sezione

Sono riportati di seguito gli output delle sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase ottenute da Plaxis 2D.

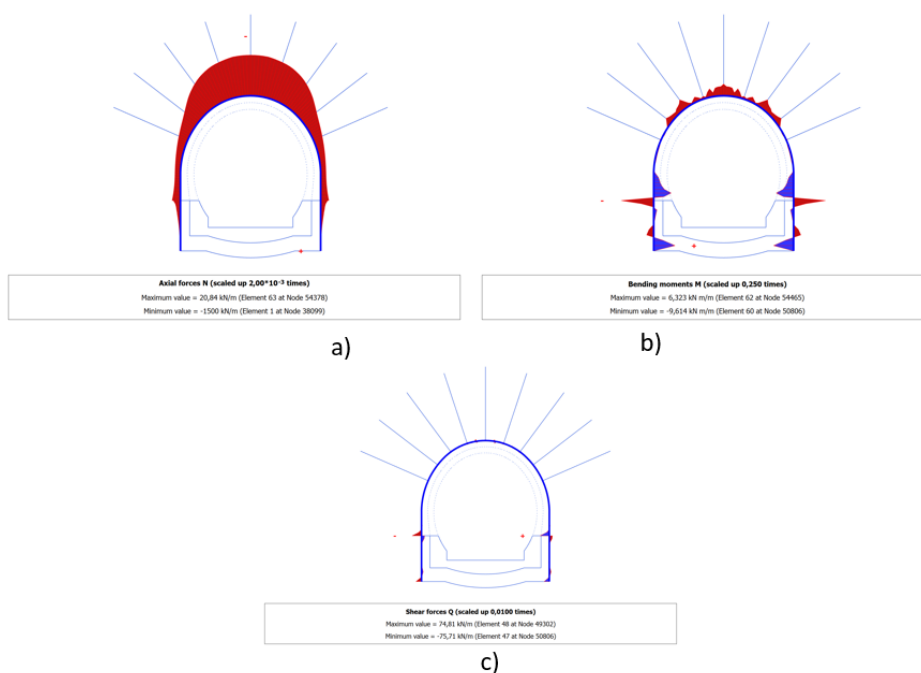


Figura 8-21: Diagrammi delle sollecitazioni N-M-Q: a) N Fase 5; b) M Fase 5; c) Taglio.

Nelle zone di appoggio a terra dell'elemento plate, con cui si è modellato lo spessore di spritz beton, le sollecitazioni tendono ad aumentare, tale evidenza è condizionata dalla presenza di punti di singolarità nella modellazione che determinano concentrazione degli sforzi da considerare non realistici. Pertanto, tali zone non saranno prese in considerazione nelle verifiche illustrate in seguito.



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 49 di 89

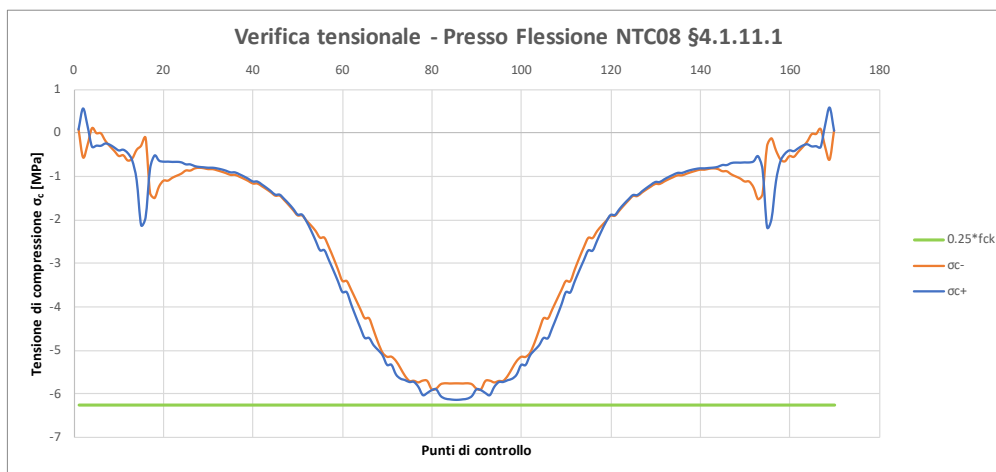


Figura 8-22: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento di prima fase

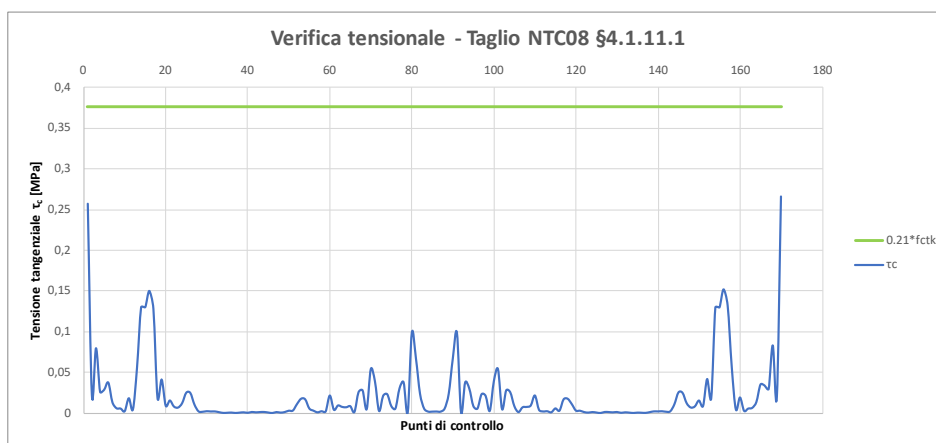


Figura 8-23: Verifica a taglio rivestimento di prima fase

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

### Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone.

Per quanto riguarda il primo caso, occorre valutare che l'azione sollecitante di progetto  $E_d$  sia minore rispetto alla resistenza del sistema  $R_{d,snervamento}$ . La resistenza del sistema è stata ottenuta moltiplicando la tensione di snervamento di progetto dell'acciaio per l'area del bullone stesso.

Per quanto riguarda le verifiche nei confronti dello sfilamento è da valutare la resistenza allo sfilamento mediante la seguente relazione:

$$R_{d,sfilamento} = \tau_{lim} \pi D_s L$$

Dove:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	50 di 89

$D_s = \alpha D_{\text{foro}}$ , con  $\alpha = 1.1$  e  $D_{\text{foro}} = 51$  mm

$\tau_{lim}$  = tensione tangenziale limite = 0.60MPa in accordo con Bustamante e Doix Rif. [7]

L = lunghezza dei chiodi

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

$f_{yk}$	450	MPa
$\Phi_{\text{chiodo}}$	24	mm
$A_s$	452	mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	-
$R_d$	177	kN
$N_{k,max}$	22	kN/m
$N_{ed,max}$	43	kN
FS	4.1	-

Tabella 8—25: Verifiche a snervamento chiodi camerone di montaggio

$D_{\text{foro}}$	51	mm
L	6.0	m
$\tau_{lim}$	0.60	MPa
$\zeta$	1.8	-
$\gamma$	1.1	-
$R_d$	320	kN
$N_{k,max}$	22	kN/m
$N_{ed,max}$	43	kN
FS	7.4	-

Tabella 8—26: Verifiche a sfilamento chiodi camerone di montaggio

### 8.3.2 Verifiche del rivestimento definitivo

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo SLU ed agli stati limite di esercizio SLE.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con  $\gamma=1$ , moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo  $\gamma_E=1.3$  (Combinazione A1+M1). 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.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla condizione di lungo termine.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	51 di 89

### Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

Nel nodo di giunzione tra arco rovescio e piedritti, le sollecitazioni mostrano dei picchi condizionati dalla presenza di punti singolari del rivestimento che determinano concentrazioni di sforzo nella modello non realistiche. Pertanto, le sollecitazioni entro una distanza dal nodo pari metà spessore del rivestimento definitivo non vengono prese in considerazione nelle verifiche.

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 1.00m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato cautelativamente lo spessore minimo pari a 1.80m.

Il rivestimento definitivo della sezione è previsto armato in calotta disponendo un'armatura principale costituita da 5Φ20 in zona tesa e 5Φ20 in zona compressa con armatura a taglio costituita da Φ14/200/200. In arco rovescio è necessaria un'armatura longitudinale costituita da 5Φ26 in zona tesa e 5Φ26 in zona compressa, e un'armatura a taglio costituita da Φ14/200/200.

Si definisce quindi un'incidenza media di armatura pari a 150 kg/mc per la calotta e piedritti e 150 kg/mc per l'arco rovescio.

È stato considerato inoltre, un copriferro pari a 5cm +  $\Phi_{\text{staffe}} + \frac{\Phi_{\text{longitudinale}}}{2}$  per le verifiche.

In allegato sono riportate tutte le sollecitazioni dei rivestimenti.

#### - Calotta:

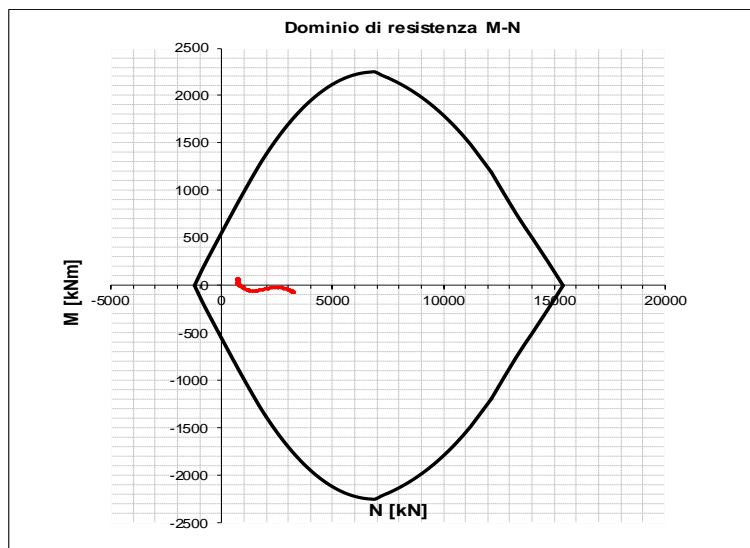


Figura 8-24: Dominio N-M calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>52 di 89</b>

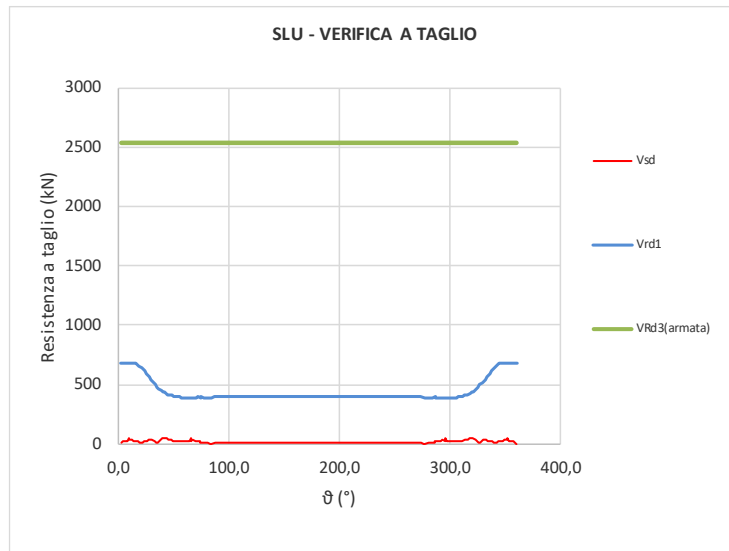


Figura 8-25: Verifica a taglio calotta

- Arco rovescio:

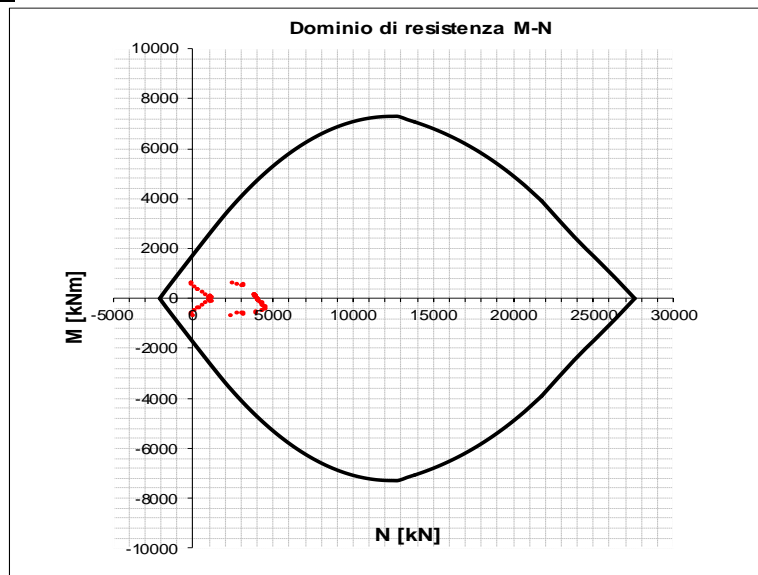
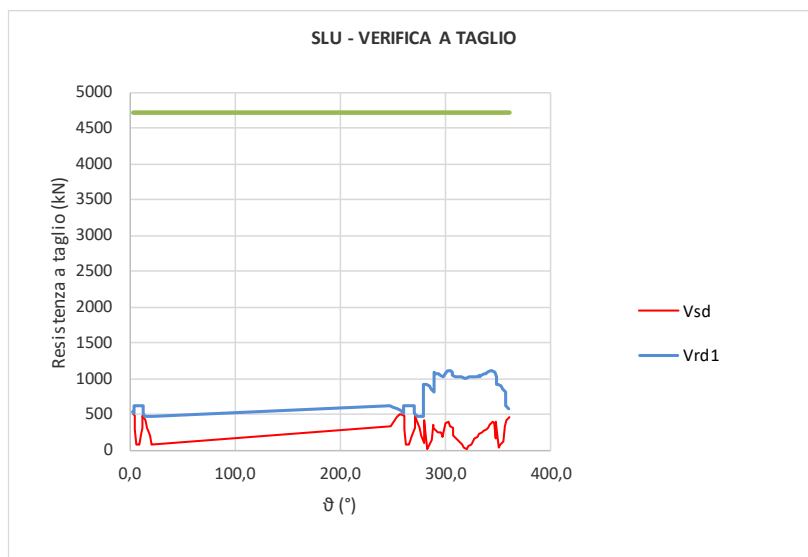


Figura 8-26: Dominio N-M arco rovescio

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 53 di 89



*Figura 8-27: Verifica a taglio arco rovescio*

### Verifiche SLE

Le verifiche SLE del rivestimento definitivo sono finalizzate a prevenire la formazione di un quadro fessurativo tale da compromettere la durabilità dell'opera. A tal fine la Normativa vigente stabilisce un limite massimo all'ampiezza delle fessure (SLE di fessurazione) ed al contempo, impone il rispetto di opportuni limiti tensionali sia nell'acciaio che nel calcestruzzo (SLE di tensione).

- Calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	54 di 89
<b>08 - GALLERIE</b>							
Relazione tecnica e di monitoraggio							

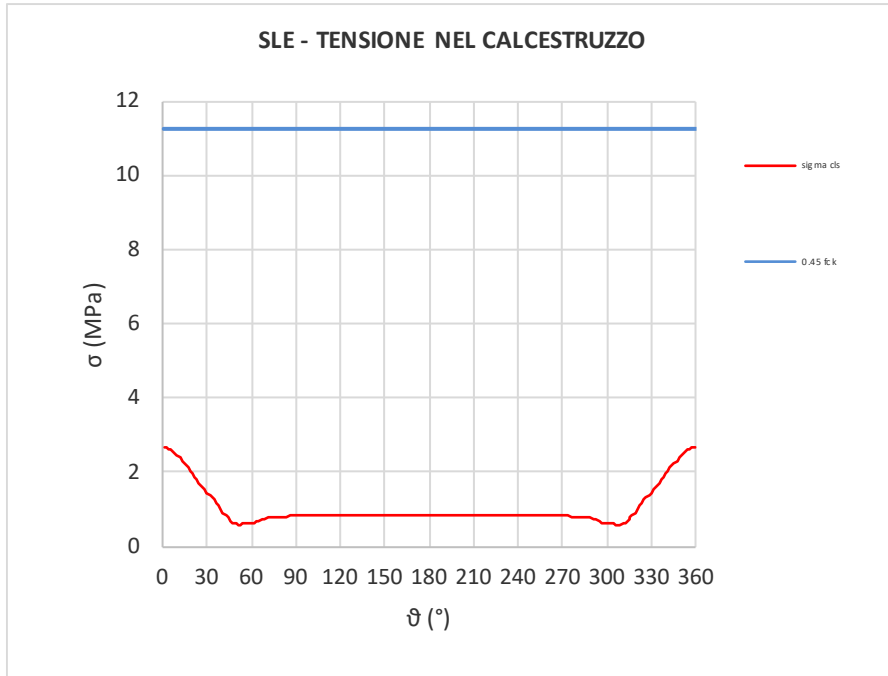


Figura 8-28: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

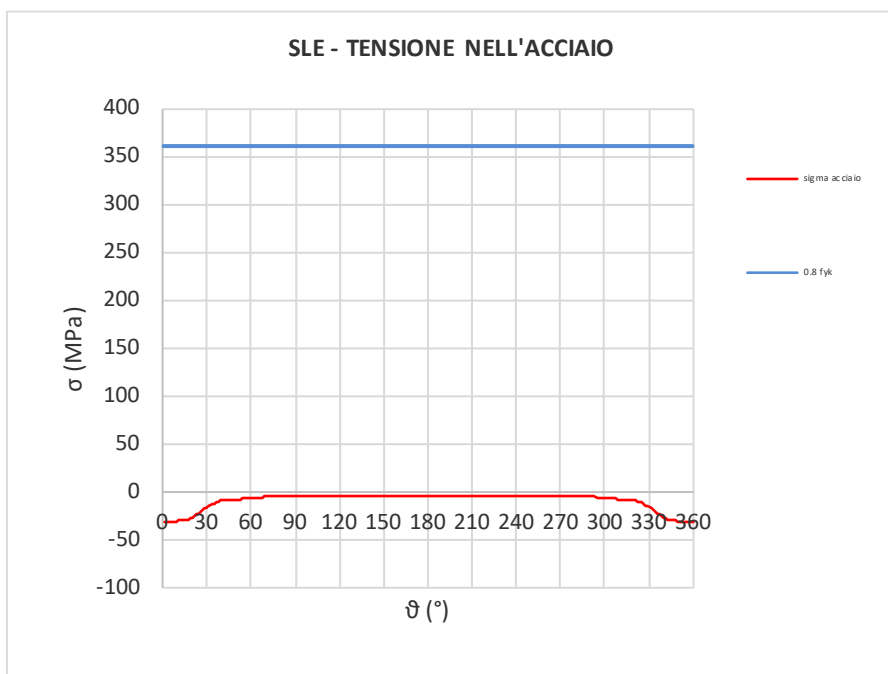


Figura 8-29: Verifica SLE tensione acciaio calotta

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	55 di 89
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio							

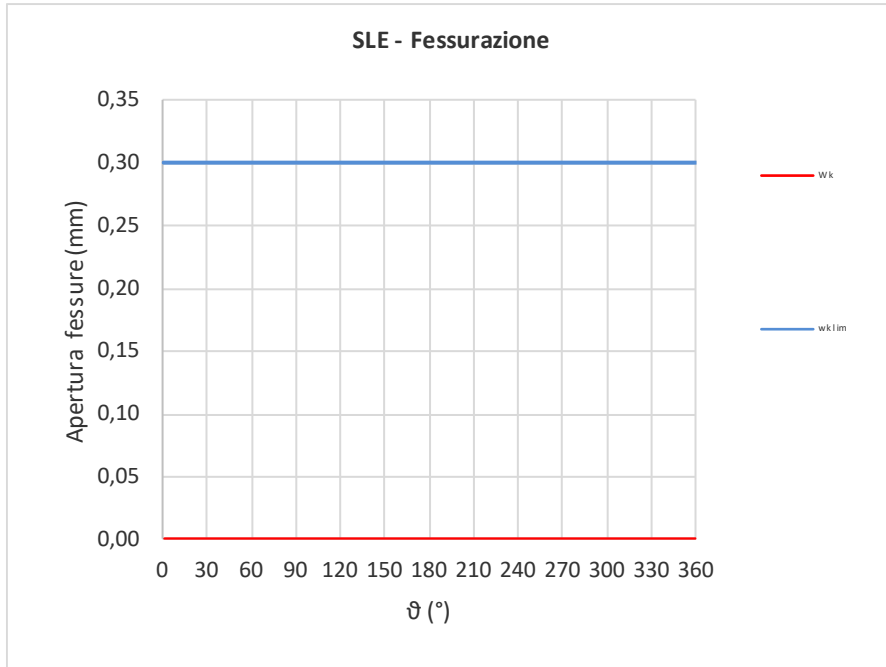


Figura 8-30: Verifica SLE fessurazione calotta

- Arco rovescio

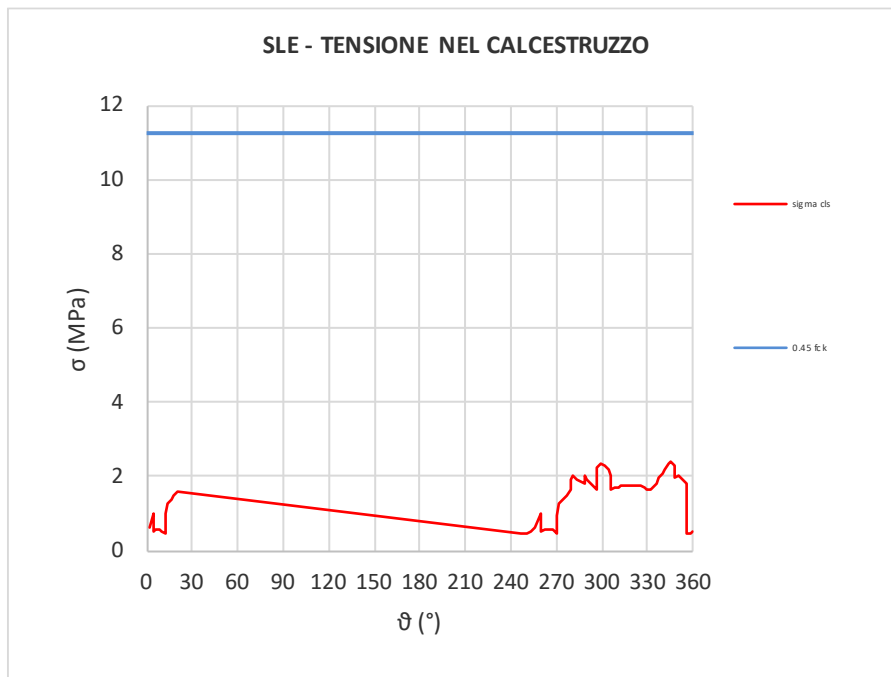


Figura 8-31: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 56 di 89

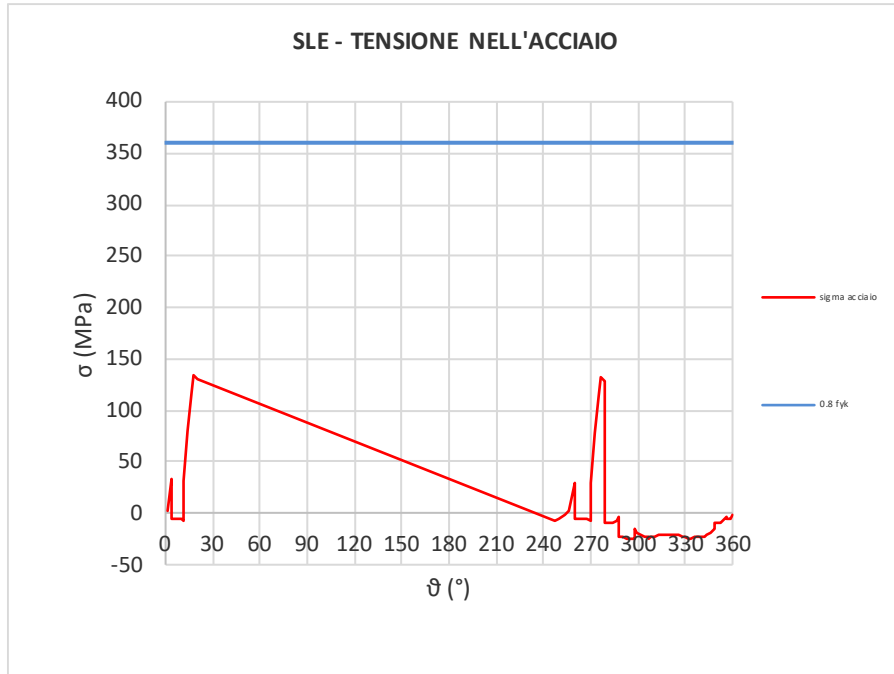


Figura 8-32: Verifica SLE tensione acciaio arco rovescio

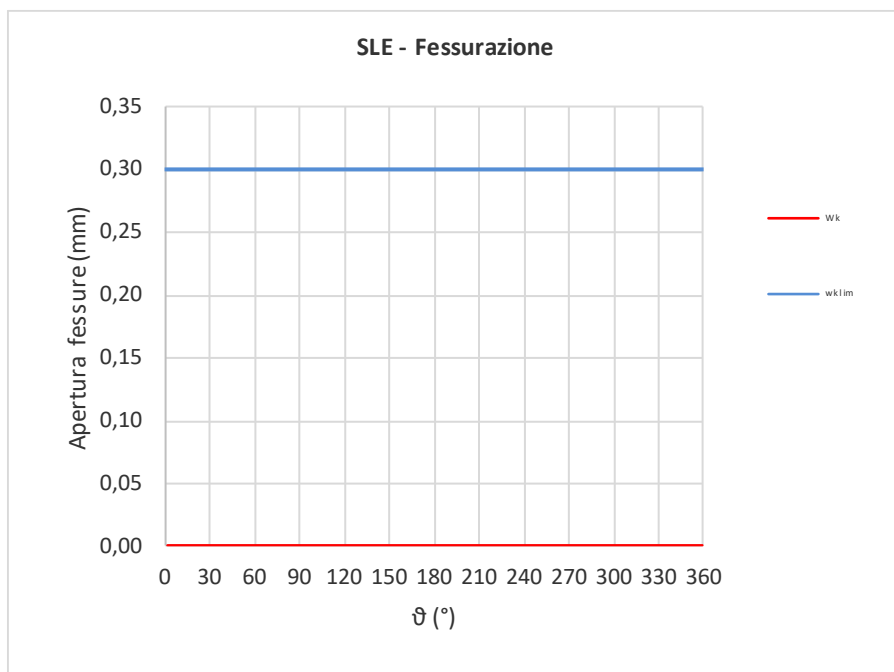


Figura 8-33: Verifica SLE fessurazione arco rovescio

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 57 di 89

## 9. VALUTAZIONE INFLUENZA INNESTO - MODELLO 3D

Attraverso la modellazione tridimensionale eseguita con il programma agli elementi finiti (FEM) PLAXIS 3D, è stato possibile considerare eventuali influenze che potevano generare reciprocamente gli scavi dei diversi by-pass tecnologici.

Il modello costitutivo utilizzato è lo stesso applicato per l'analisi 2D considerando i parametri geomeccanici più cautelativi impiegati per la valutazione della sezione 2 (Tabella 6-3). La modellazione numerica è stata eseguita con circa 15000 nodi in elementi triangolari a 15 nodi, e le dimensioni sono di circa 300m x 350m x 600m, come mostrato nella Figura 9.

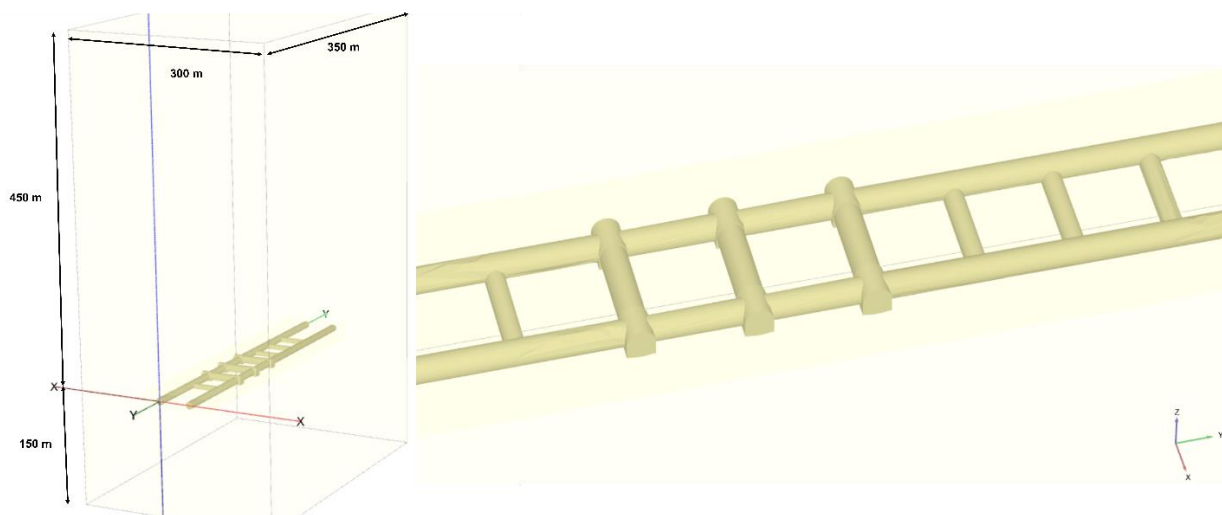


Figura 9-1: Nodo tecnologico di Albes\_Modello 3D

Al fine di simulare la situazione più cautelativa in termini di deformazioni plastiche si è effettuato lo scavo dei vari by-pass in singoli sfondi senza considerare il supporto dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Dai risultati ottenuti dall'analisi si evince, come riportato di seguito, che i raggi plastici sono contenuti, inferiori al metro e inoltre gli scavi dei by-pass non si influenzano reciprocamente.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 58 di 89

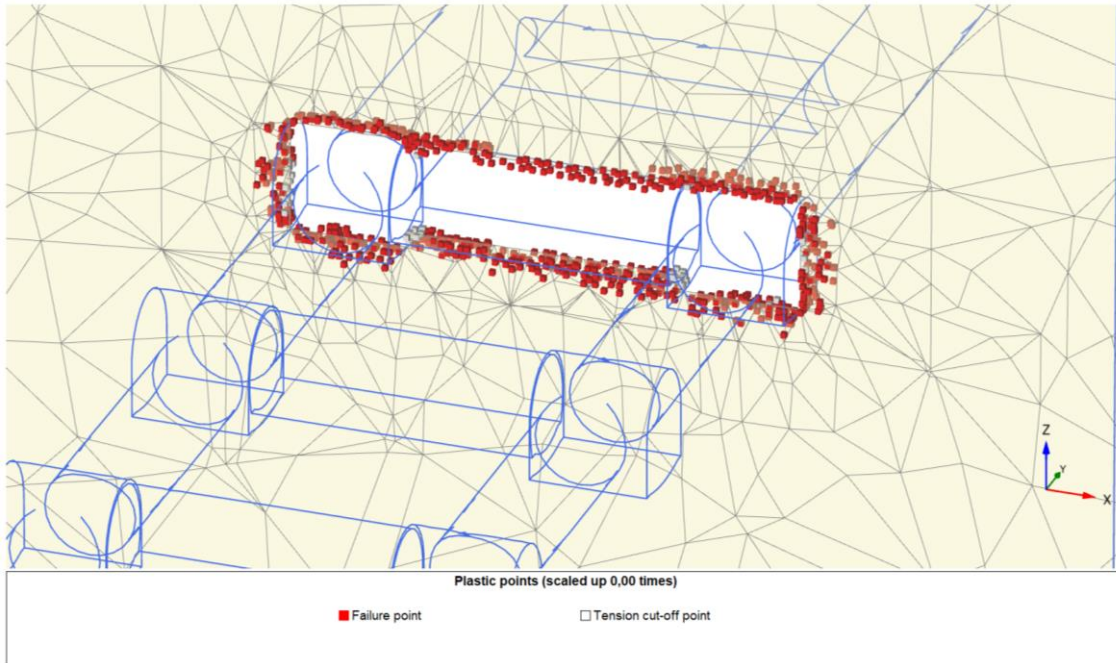


Figura 9-2: Punti plastici\_Sezione longitudinale by-pass tecnologico NBTN\_Modello 3D

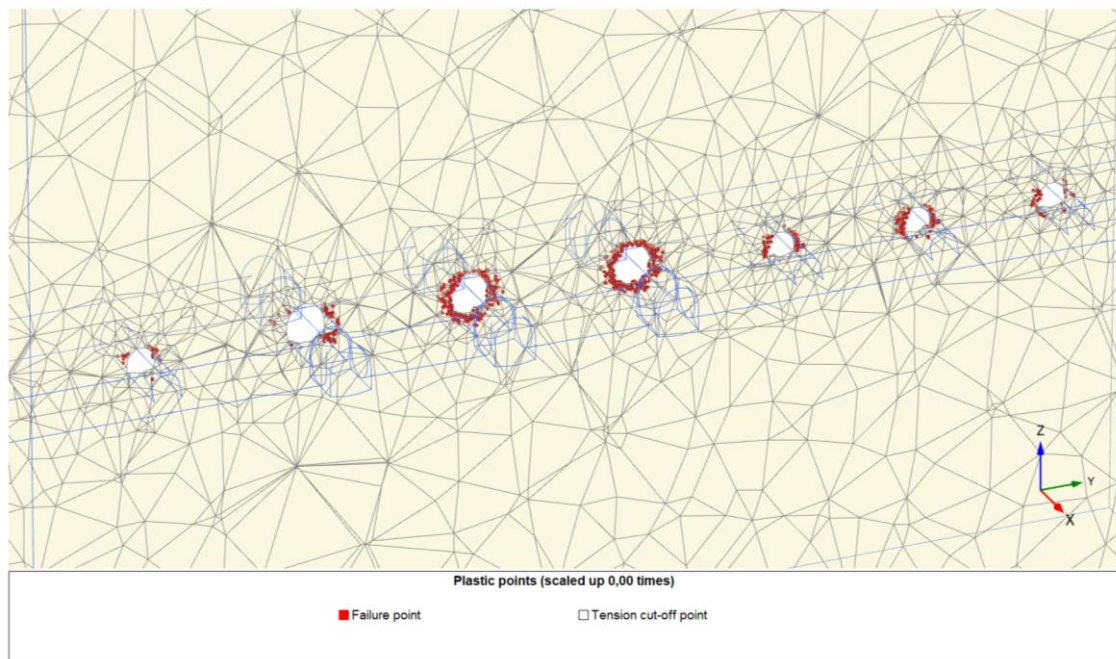


Figura 9-3: Punti plastici\_Sezione trasversale a tutti i by-pass\_Modello 3D

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 59 di 89

## 10. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

Per il monitoraggio in corso d'opera si rimanda alla Relazione tecnica di monitoraggio Rif. [22].

Il monitoraggio dello scavo dei by-pass costituenti il nodo tecnologico di Albes prevede esecuzioni di indagini sistematiche e puntuali da eseguire durante lo scavo.

Il monitoraggio previsto per le opere oggetto di analisi si divide in tre tipologie:

- Anello strumentato (sezioni in blu Figura 10-1);
- Monitoraggio della convergenza del cavo (sezioni in arancio e rosso Figura 10-1);
- Monitoraggio completo (sezioni in verde Figura 10-1);
- Vibrometri (in rosa Figura 10-1).

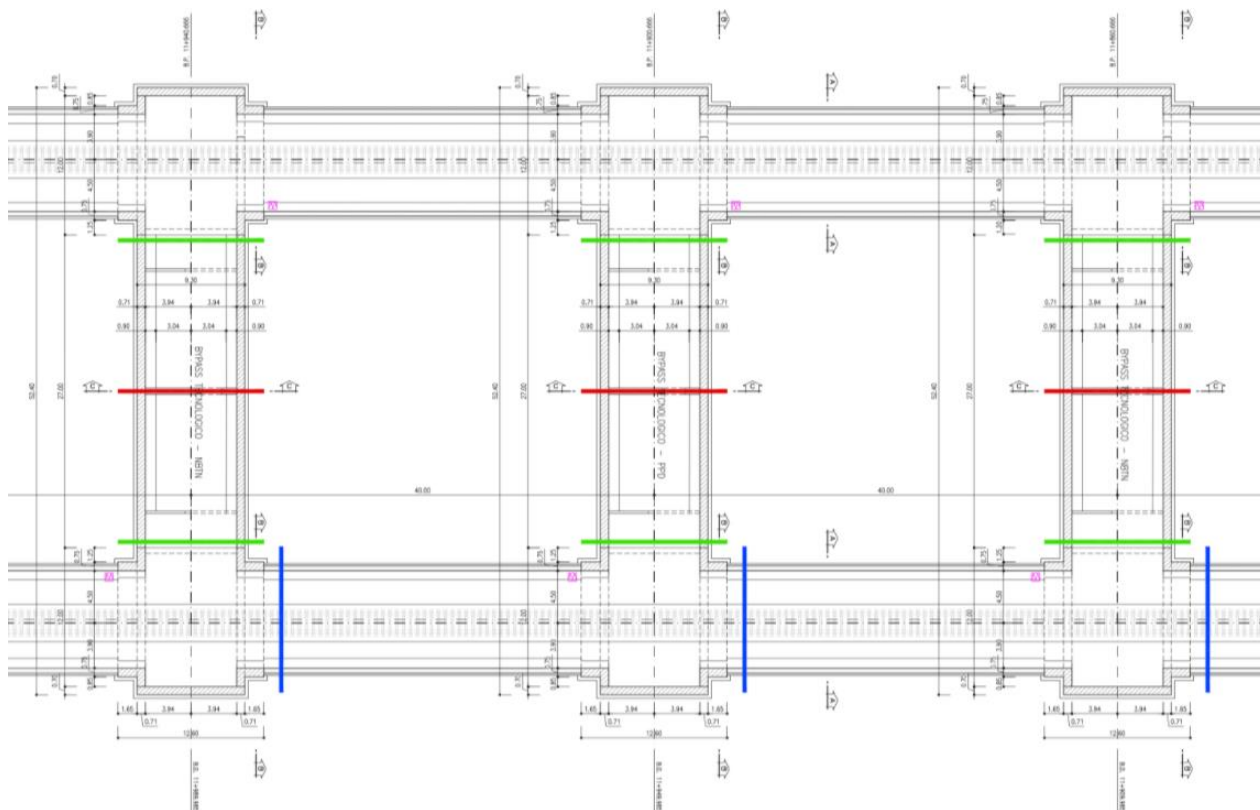


Figura 10-1: Monitoraggio Nodo tecnologico di Albes

### 10.1 ANELLO STRUMENTATO

L'obiettivo del monitoraggio in corso d'opera mediante strumentazione degli anelli della galleria di linea è volto allo studio e all'analisi delle caratteristiche dell'ammasso roccioso nelle zone limitrofe gli innesti dei by-pass. Si prevedono 5 sezioni di monitoraggio con anelli strumentati.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>60 di 89</b>

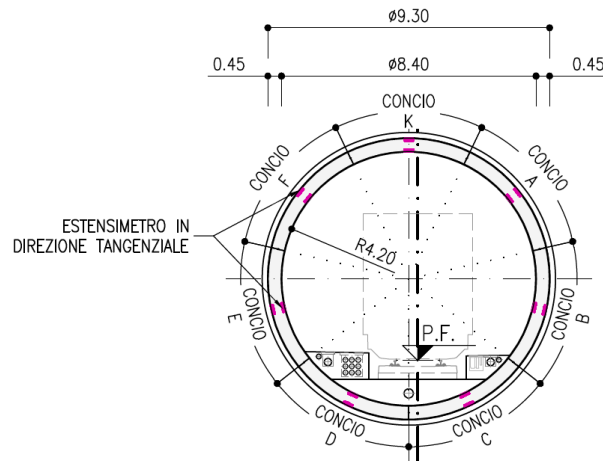


Figura 10-2: Anello strumentato

Gli anelli strumentati saranno 5 per un totale di 35 conci; tale strumentazione, per ciascun anello, è composta da 14 estensimetri in direzione trasversale e 7 scatole di lettura.

## 10.2 MONITORAGGIO COMPLETO

Per il monitoraggio dello scavo dei by-pass tecnologici di dimensioni maggiori (NBTN e PPD) si prevedono 6 sezioni di monitoraggio completo poste alle sezioni di innesto al fine di analizzare le proprietà dell'ammasso roccioso scavato ed il relativo comportamento.

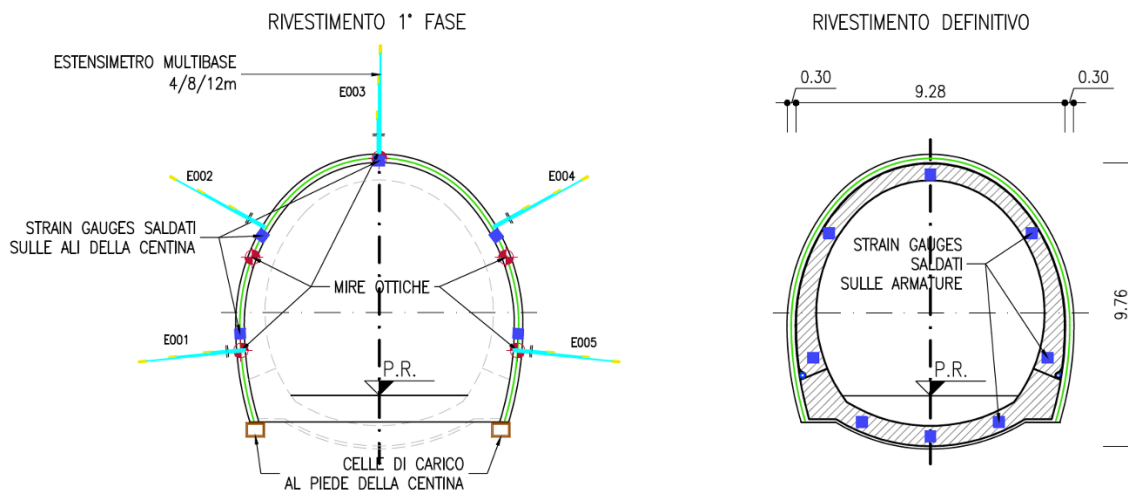


Figura 10-3: Monitoraggio completo

Le sezioni di monitoraggio completo per il rivestimento provvisorio sono composte da:

- 5 mire ottiche per la misura della convergenza da collocare in fase di avanzamento in prossimità del fronte;
- 5 coppie di Strain Gauges saldati sulle ali delle centine e due celle di pressione alle giunzioni delle centine;

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 61 di 89

- 2 celle di carico al piede delle centine;
- 2 celle di pressione alle giunzioni delle centine.
- 5 estensimetri multki-base a 3 basi di misura 4/8/12 m.

Per il rivestimento definitivo vengono saldate all'armatura 8 coppie di Strain Gauges.

### 10.3 MONITORAGGIO CONVERGENZA

L'analisi della convergenza del cavo della galleria durante lo scavo dei by-pass viene svolta mediante l'ausilio di 7 sezioni di monitoraggio installate sulle sezioni di innesto dei by-pass tecnologici più piccoli e in mezzaria dei tre di dimensioni maggiori.

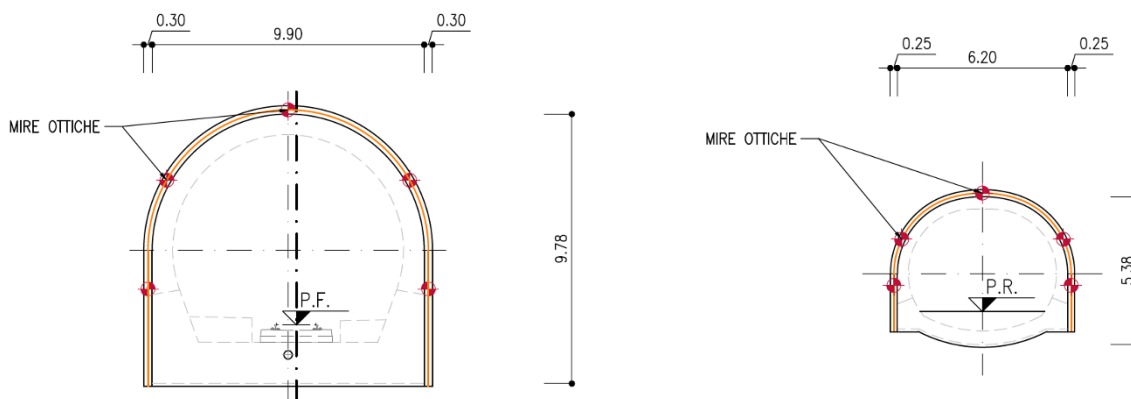


Figura 10-4: Monitoraggio convergenza

Le sezioni di monitoraggio della convergenza del cavo si compongono di 5 mire ottiche al fine di misurare la convergenza da collocare poi in fase di avanzamento in prossimità del fronte.

### 10.4 MONITORAGGIO VIBRAZIONI

Per quanto riguarda il monitoraggio vibro metrico dovuto allo scavo con esplosivo sulle opere preesistenti già realizzate (gallerie di linea e altri eventuali by-pass già scavati), sono stati inseriti dei vibrometri in corrispondenza delle gallerie di linea, le quali risultano già scavate nel momento in cui si procede allo scavo dei by-pass.

Le vibrazioni saranno misurate attraverso vibrometri triassiali ad acquisizione automatica con 1 velocimetro triassiale con un range  $\pm 30$  mm/sec, temperatura operativa da  $-20^\circ$  a  $+75^\circ$ , risposta in frequenza  $1\text{Hz} \div 1\text{kHz}$ , con precisione 0.1%;

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>62 di 89</b>

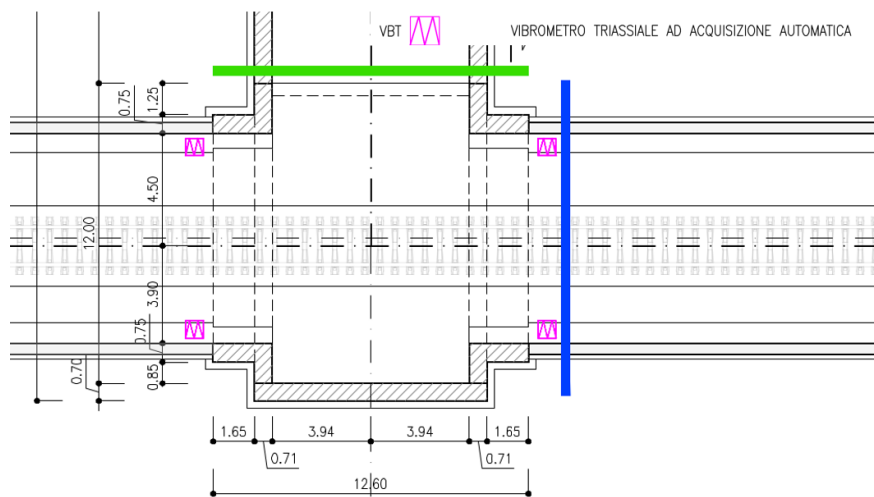


Figura 10-5: Monitoraggio vibrometrico

## 10.5 SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME

Le soglie di attenzione ed allarme dei parametri acquisiti dal monitoraggio vengono definite in relazione ai modelli di calcolo e dimensionamento delle strutture e alla risposta attesa dall'interazione terreno-struttura.

Per le misure di convergenza le soglie sono state valutate utilizzando i risultati di calcolo numerico Plaxis. Al fine di tenere conto della tempistica di installazione della strumentazione di monitoraggio rispetto all'avanzamento dello scavo, le convergenze radiali di calcolo sono state decurtate della quota parte di spostamento che avviene prima dell'installazione delle mire ottiche.

I criteri di definizione delle soglie di attenzione e allarme sono presentati di seguito:

### Convergenze radiali:

- soglia di attenzione = valore atteso: è assunto pari al 100% del valore dai calcolo numerico (depurato della convergenza persa prima dell'installazione delle mire ottiche)
- soglia di allarme = 150% del valore atteso

### Tensione nell'acciaio (monitorata per mezzo delle barrette estensimetriche):

- soglia di attenzione = valore massimo atteso, pari al 80% della tensione ideale di calcolo
- soglia di allarme = 100% del valore atteso

In merito ai valori di progetto, si riassumono nelle tabelle che seguono, per ogni galleria naturale monitorata, le sezioni tipo con i corrispondenti valori delle soglie di attenzione e allarme.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 63 di 89

<b>Soglie di attenzione (100% dei valori attesi)</b>			
Sezione Tipo	Estrusione (mm)	Convergenza radiale (mm)	
		Calotta	Piedritto
A0	-	-	-
A1	5	5	5
B	15	10	10
C	30	20	20

Tabella 10-1: sezione di scavo by-pass – Soglie di attenzione

<b>Soglie di allarme (150% dei valori attesi)</b>			
Sezione Tipo	Estrusione (mm)	Convergenza radiale (mm)	
		Calotta	Piedritto
A0	5	5	5
A1	8	8	8
B	20	15	15
C	45	30	30

Tabella 10-2: sezione di scavo by-pass – Soglie di allarme

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: 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>RH</td> <td>GN0400004</td> <td>B</td> <td>64 di 89</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	64 di 89													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio																		

## 11. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle opere scavate in tradizionale del nodo tecnologico di Albes .

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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	65 di 89

## 12. ALLEGATI

### 12.1 CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI DIAGNOSI

#### 12.1.1 Galleria tecnologica Sezione A1 con caratteristiche ammasso cautelative – Diagnosi

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

Solutore analitico analisi base - ver S.5.1 gen.2021

Nodo tecnologico di Albes  
By-pass tecnologico Sezione C-C  
Fase di diagnosi

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

#### D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....	5.11000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	12.15000
Modulo di Young [MPa] .....	11000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	1.60500
Angolo attrito picco [deg] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.60500
Angolo attrito residuo [deg] .....	36.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000

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

Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..	.000000
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....	.011309
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	7.219585
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.004758
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001936
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.003280
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.886307

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

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.011309
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.219585

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 66 di 89	

## 12.1.2 Sezione di innesto – Diagnosi

Gv4s.1.07 - Calcolo Gallerie - Licenza: SWS Engineering SpA  
by Sial.tec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2020



### GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

Solutore numerico analisi base - ver S.5.1 mar.2018

Sezione allargata Albes  
BSSa  
analisi base

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

#### D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 5.80000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
Tensione originaria [MPa] ..... 7.30000  
Modulo di Young [MPa] ..... 11100.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .20000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m<sup>3</sup>] . .00000  
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000  
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000  
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 5.80000  
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000  
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 5.80000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... 1.60000  
Angolo attrito picco [deg] ..... 36.00000  
Coesione residua [MPa] ..... 1.60000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 36.00000  
Angolo dilatanza [deg] ..... .00000  
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000  
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale galleria [m] ..... .005647  
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.113123  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .002527  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001509  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .001638  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.228794

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spont. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .005647  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.113123

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	67 di 89

## 12.2 CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI TERAPIA

### 12.2.1 Galleria tecnologica Sezione A0– Terapia

#### GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

Solutore numerico analisi base - ver S.5.1 mar.2018

Nodo tecnologico di Albes  
By-pass tecnologico Sezione C-C  
Fase di terapia

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

#### D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....	5.11000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	12.15000
Modulo di Young [MPa] .....	14000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.20000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....	5.11000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	5.11000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	1.82600
Angolo attrito picco [deg] .....	38.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.82600
Angolo attrito residuo [MPa] .....	38.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	3.00000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	1.00000
Forma del prerivestimento .....	CIRCOLARE APERTO
SPRITZ-BETON E CENTINE -----	
Spessore spritz [m] .....	.25000
Modulo Young spritz [MPa] .....	31440.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.25000
Sezione centina [m2] .....	.00000
Altezza sezione centina [m2] .....	.00000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.00000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00000000
Passo centine [m] .....	.00000
Modulo Young ferro centine [MPa] .....	.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] .....	25.00000
Resistenza ferro centine [MPa] .....	.00000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	10.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.25000
Resistenza compressione CLS [MPa] .....	14.11000
Opzione calcolo rivestimento .....	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	68 di 89

[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale galleria [m] ..... .007573  
 Raggio plastico galleria [m] ..... 6.727010  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .003298  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001587  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .002196  
 Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.688454

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

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00573  
 LAMBDA : .92139

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00713  
 LAMBDA : .98543

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
 U [m] : .00636  
 LAMBDA : .95408

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00589  
 LAMBDA : .93047

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00606  
 LAMBDA : .93936

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

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .00702  
 LAMBDA : .98116

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .00756  
 LAMBDA : .99953

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
 U [m] : .00691  
 LAMBDA : .99192

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .00667  
 LAMBDA : .98776

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .00676  
 LAMBDA : .98933

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .007573  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.727010

PRERIVESTIMENTO -----  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 6.49376  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .26478  
 Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .00694  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .00636

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	69 di 89

Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00058
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.954078
MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)	
E1 [MPa] .....	3067.29069
E2 [MPa] .....	2519.11102
COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	
Piano dei centri .....	1.04369
Piedritto .....	1.04632
COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI	
Calotta intradosso .....	.97315
Calotta estradosso .....	.89291
Rene intradosso .....	1.01039
Rene estradosso .....	.93955
Piedritto intradosso .....	.80522
Piedritto estradosso .....	.87381
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA .....	0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	4.04787
Tensione centine [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza spritz .....	6.17610
Coefficiente di sicurezza centine .....	1000.00000
Pressione rottura spritz [MPa] .....	1.19317
Pressione rottura centine [MPa] .....	.00000
Rigidezza spritz [MPa] .....	1709.34557
Rigidezza centinatura [MPa] .....	.00000
SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0006028
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0006043
Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] .....	.94419
Momento Flettente Calotta [MN*m/m] .....	-.00169
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] .....	3.93916
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] .....	3.61436
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] .....	.98664
Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] .....	-.00149
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	4.08991
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	3.80317
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	.00000
Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] .....	.84956
Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] .....	.00145
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	3.25944
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	3.53706
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	.00000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	6.55978
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.17991
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00713
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00694
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00019
Tensione CLS [MPa] .....	1.55312
Coefficiente di sicurezza CLS .....	9.08497
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.63445
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	4595.27153
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.991917

## 12.2.2 Galleria tecnologica Sezione A1 – Terapia

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

Solutore numerico analisi base - ver S.5.1 mar.2018

Nodo tecnologico di Albes  
By-pass tecnologico Sezione A1  
Fase di terapia

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio		IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	70 di 89

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

#### D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....	5.11000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	12.15000
Modulo di Young [MPa] .....	11000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.20000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....	5.11000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	5.11000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	1.60500
Angolo attrito picco [deg] .....	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.60500
Angolo attrito residuo [MPa] .....	36.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	3.00000
Coefficiente riduzione rigidezza .....	1.00000
Forma del prerivestimento .....	CIRCOLARE APERTO
SPRITZ-BETON E CENTINE -----	
Spessore spritz [m] .....	.30000
Modulo Young spritz [MPa] .....	31440.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.25000
Sezione centina [m2] .....	.00297
Altezza sezione centina [m2] .....	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00001673
Passo centine [m] .....	1.50000
Modulo Young ferro centine [MPa] .....	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] .....	25.00000
Resistenza ferro centine [MPa] .....	261.90000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	10.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa] .....	31447.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.25000
Resistenza compressione CLS [MPa] .....	14.11000
Opzione calcolo rivestimento .....	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000
R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O	
Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.011002
Raggio plastico galleria [m] .....	7.245586
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.004655
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001883
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.003191

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 71 di 89	

Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.893262

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00813  
LAMBDA : .92818

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01021  
LAMBDA : .98430

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00878  
LAMBDA : .94879

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00788  
LAMBDA : .91937

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00830  
LAMBDA : .93396

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01010  
LAMBDA : .98189

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01097  
LAMBDA : .99933

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00948  
LAMBDA : .99120

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00890  
LAMBDA : .98614

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00917  
LAMBDA : .98865

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .011002  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.245586

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 6.84583  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .38258  
Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .00952  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .00878  
Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .00074  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .948793

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)

E1 [MPa] ..... 1975.12274  
E2 [MPa] ..... 1563.80281

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

Piano dei centri ..... 1.12890  
Piedritto ..... 1.18121

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI

Calotta intradosso ..... 1.01479  
Calotta estradosso ..... .91565  
Rene intradosso ..... .96530  
Rene estradosso ..... .92980

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione tecnica e di monitoraggio	IBOU	1BEZZ	RH	GN0400004	B	72 di 89

Piedritto intradosso .....	.74971
Piedritto estradosso .....	.84753
CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA .....	0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)	
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa] .....	5.22473
Tensione centine [MPa] .....	30.23103
Coefficiente di sicurezza spritz .....	4.78494
Coefficiente di sicurezza centine .....	8.66328
Pressione rottura spritz [MPa] .....	1.48068
Pressione rottura centine [MPa] .....	2.68081
Rigidezza spritz [MPa] .....	2068.19302
Rigidezza centinatura [MPa] .....	81.36986
SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO)	
Spostamento orizzontale piano centri [m] .....	.0008304
Spostamento orizzontale piedritto [m] .....	.0008689
Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] .....	2.35865
Momento Flettente Calotta [MN*m/m] .....	-.00404
Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] .....	5.19176
Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] .....	4.85606
Tensione centine intradosso Calotta [MPa] .....	33.55667
Tensione centine estradosso Calotta [MPa] .....	32.36079
Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] .....	2.31546
Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] .....	-.00145
Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] .....	4.98968
Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] .....	4.86945
Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] .....	32.92646
Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] .....	32.49817
Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] .....	1.95153
Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] .....	.00398
Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] .....	3.98430
Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] .....	4.31550
Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] .....	27.71879
Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] .....	28.89863
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	6.93154
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.29430
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.00982
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.00952
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00030
Tensione CLS [MPa] .....	2.51626
Coefficiente di sicurezza CLS .....	5.60754
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.65031
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	4648.10303
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.991197

### 12.2.3 Galleria tecnologica Sezione di innesto – Terapia

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

Solutore numerico analisi base - ver S.5.1 mar.2018

Sezione di innesto Albes  
BSSa  
Terapia

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



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 73 di 89	

## D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 5.80000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
Tensione originaria [MPa] ..... 7.30000  
Modulo di Young [MPa] ..... 11100.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .20000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. .00000  
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000  
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000  
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 5.80000  
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000  
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 5.80000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... 1.60000  
Angolo attrito picco [deg] ..... 36.00000  
Coesione residua [MPa] ..... 1.60000  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 36.00000  
Angolo dilatanza [deg] ..... .00000  
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000  
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

PRERIVESTIMENTO -----  
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 3.00000  
Coefficiente riduzione rigidezza ..... 1.00000  
Forma del prerivestimento ..... CIRCOLARE CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] ..... .25000  
Modulo Young spritz [MPa] ..... 31440.00000  
Coefficiente di Poisson spritz ..... .25000  
Sezione centina [m2] ..... .00000  
Altezza sezione centina [m2] ..... .00000  
Posizione baricentro sezione centina [m] ..... .00000  
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00000000  
Passo centine [m] ..... .00000  
Modulo Young ferro centine [MPa] ..... .00000  
Resistenza compressione spritz [MPa] ..... .00000  
Resistenza ferro centine [MPa] ..... .00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale galleria [m] ..... .005647  
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.113123  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .002527  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001509  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .001638  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.228794

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

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00427  
LAMBDA : .88695  
Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00540  
LAMBDA : .98493  
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00474  
LAMBDA : .93455  
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
U [m] : .00445  
LAMBDA : .90678

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 74 di 89

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
U [m] : .00449  
LAMBDA : .91053

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000  
Spont. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .005647  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.113123

PRERIVESTIMENTO -----  
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento punto di equilibrio [m] ..... .00474  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .00474  
Convergenza radiale prerivestimento [m] ..... .00000  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .934547  
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
Tensione spritz [MPa] ..... .00000  
Tensione centine [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza spritz ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza centine ..... 1000.00000  
Pressione rottura spritz [MPa] ..... .00000  
Pressione rottura centine [MPa] ..... .00000  
Rigidezza spritz [MPa] ..... 1498.63615  
Rigidezza centinatura [MPa] ..... .00000

12.3 OUTPUT PLAXIS 2D

12.3.1 Galleria tecnologica Sezione A0

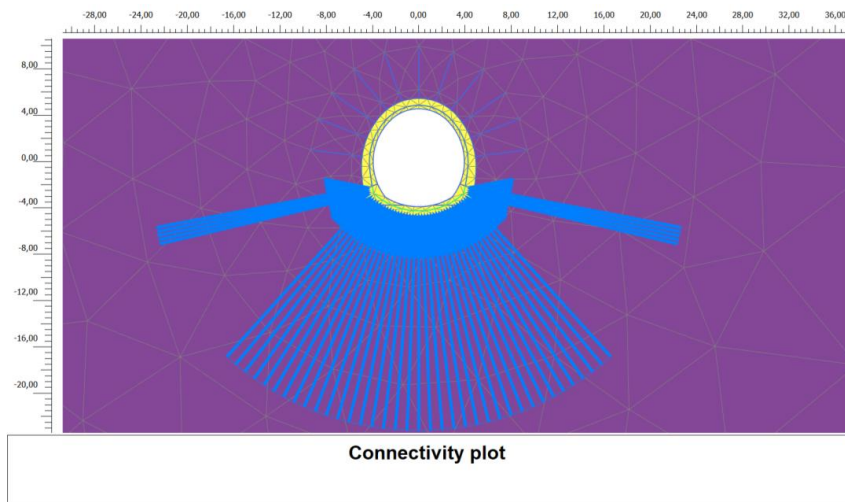
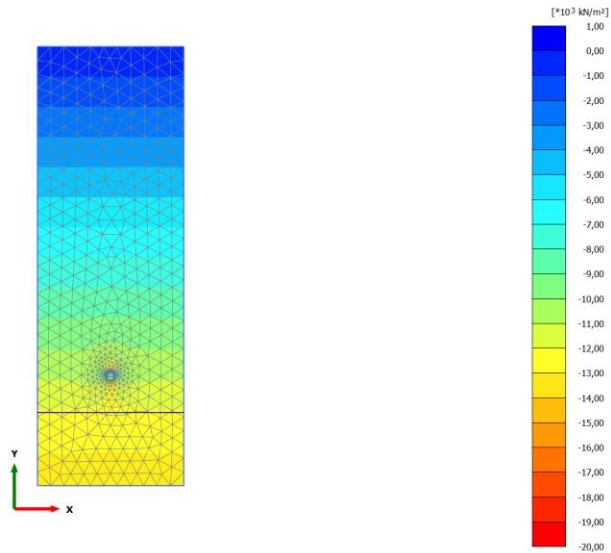


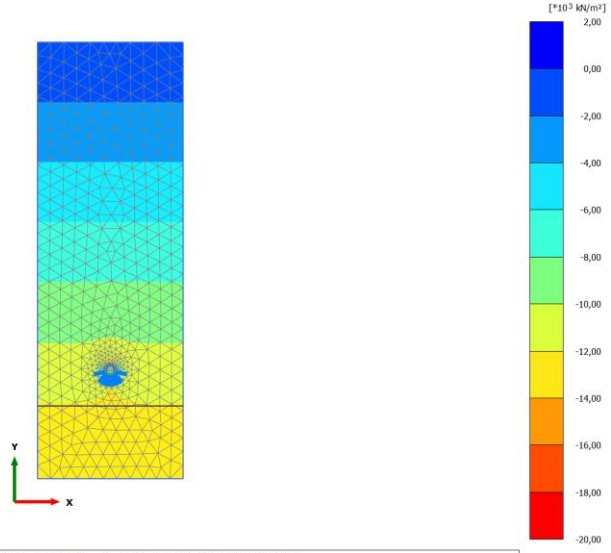
Figura 12-1: Mesh

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>75 di 89</b>



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{xx}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 722,0 kN/m<sup>2</sup> (Element 1358 at Node 9872)  
Minimum value = -19,04\*10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> (Element 1009 at Node 8340)

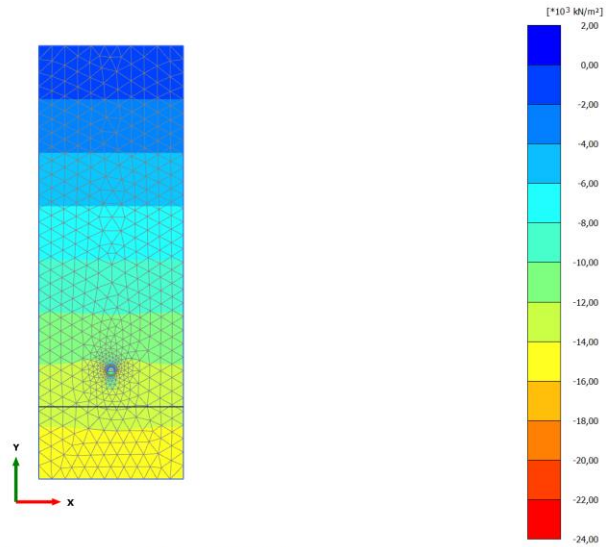
Figura 12-2: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 7



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{xx}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 1240 kN/m<sup>2</sup> (Element 1358 at Node 9872)  
Minimum value = -19,04\*10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> (Element 1086 at Node 8347)

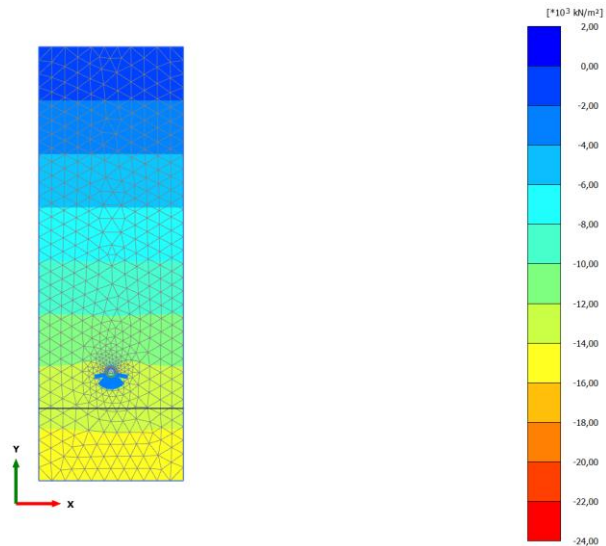
Figura 12-3: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 8

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 76 di 89



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{yy}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 838,8 kN/m<sup>2</sup> (Element 1112 at Node 9386)  
Minimum value =  $-23,09 \cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup> (Element 1039 at Node 8682)

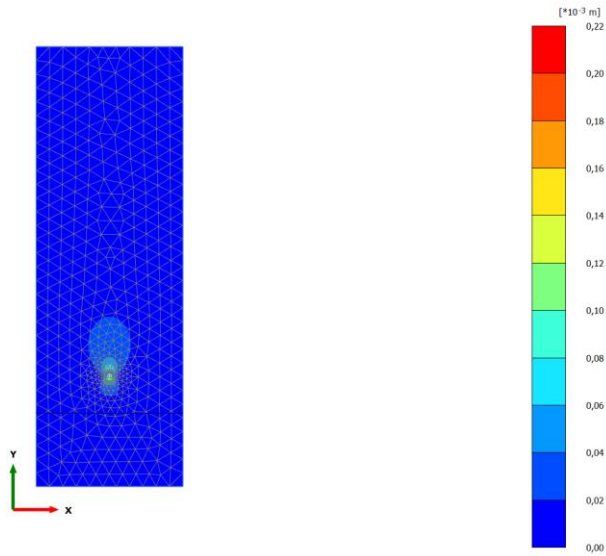
Figura 12-4: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 7



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{yy}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 908,5 kN/m<sup>2</sup> (Element 1112 at Node 9386)  
Minimum value =  $-23,15 \cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup> (Element 1039 at Node 8682)

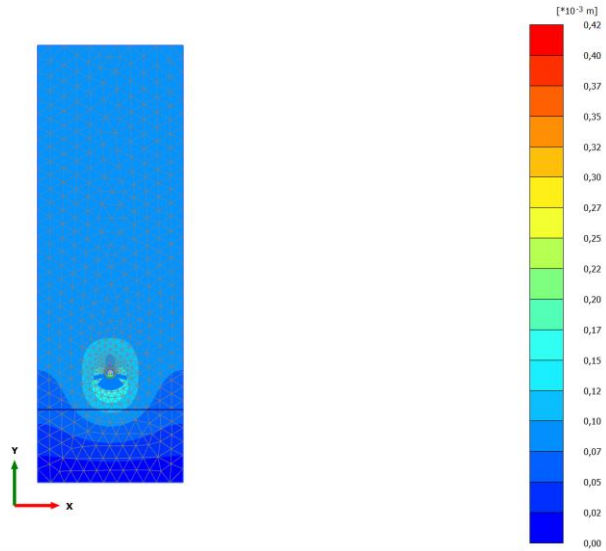
Figura 12-5: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 8

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 77 di 89



**Total displacements |u| (scaled up 50,0\*10<sup>3</sup> times)**  
Maximum value = 0,2140\*10<sup>-3</sup> m (Element 1193 at Node 10186)

Figura 12-6: Spostamenti |u| Fase 7



**Total displacements |u| (scaled up 50,0\*10<sup>3</sup> times)**  
Maximum value = 0,4226\*10<sup>-3</sup> m (Element 1055 at Node 9754)

Figura 12-7: Spostamenti |u| Fase 8

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>78 di 89</b>

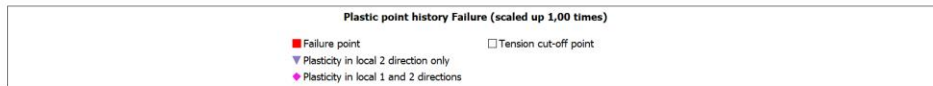


Figura 12-8: Zone di plasticizzazione Fase 7

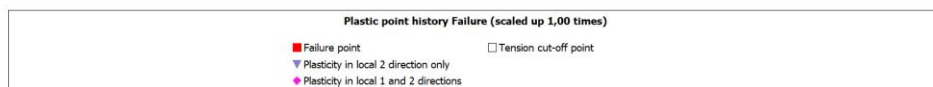


Figura 12-9: Zone di plasticizzazione Fase 8

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>79 di 89</b>

### 12.3.2 Galleria tecnologica Sezione A1

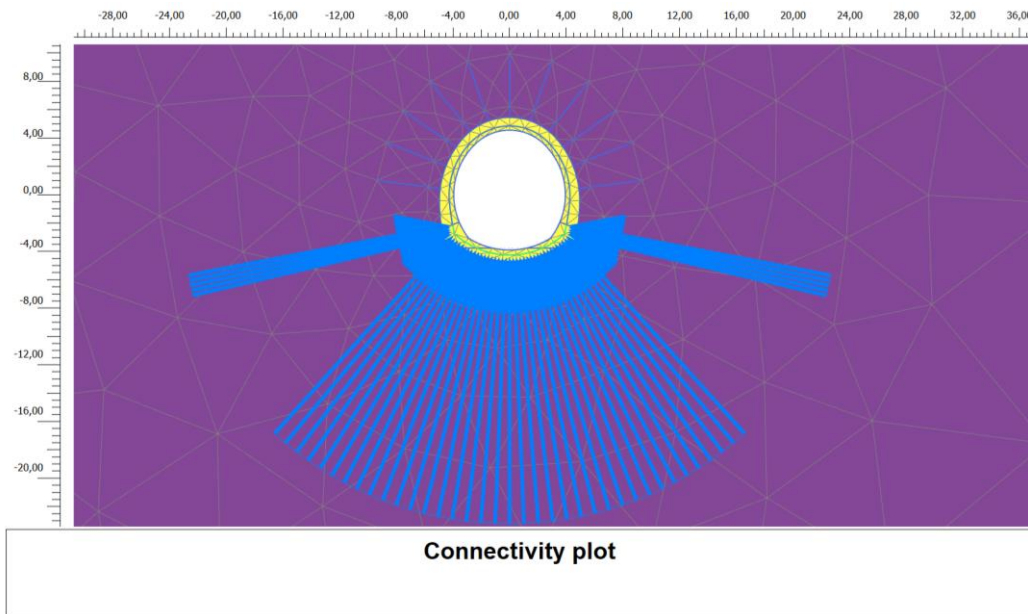


Figura 12-10: Mesh

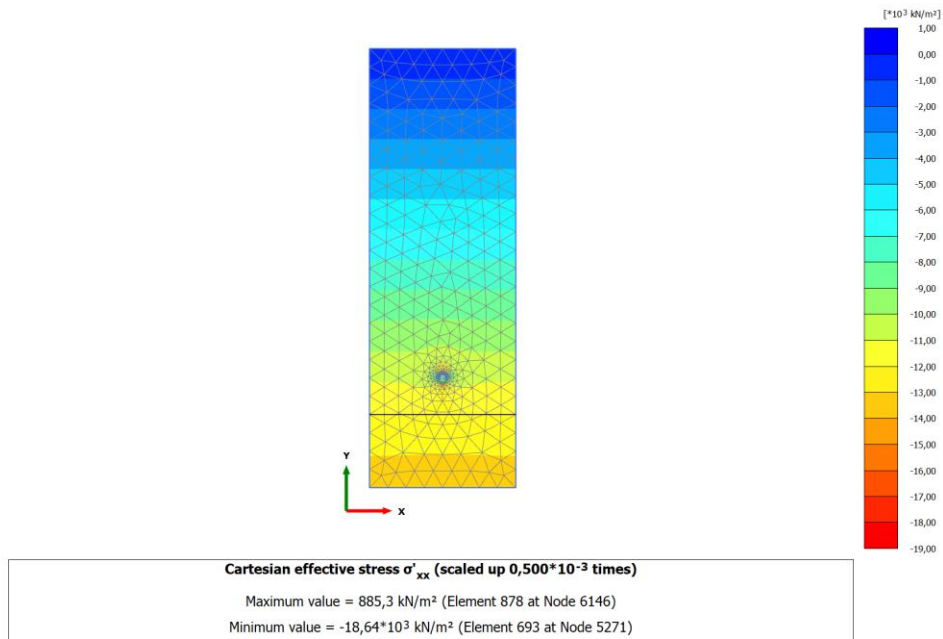
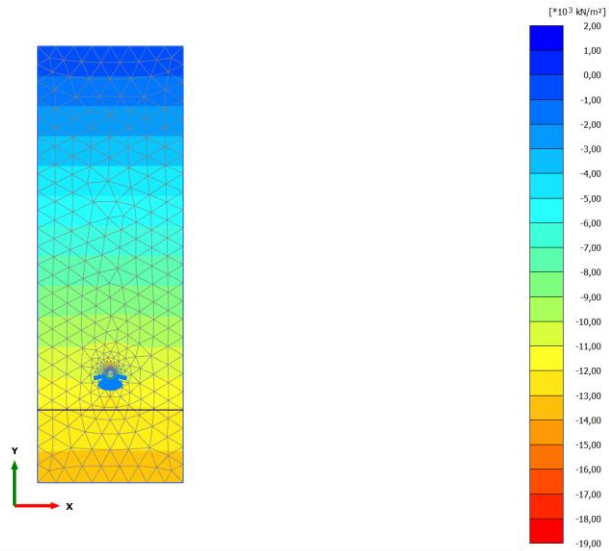


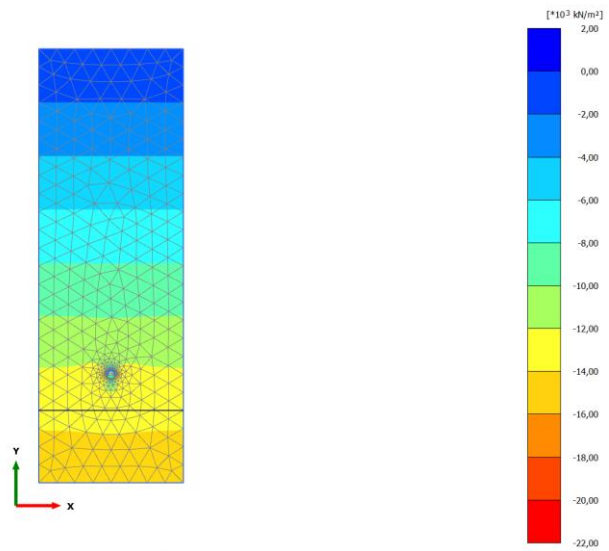
Figura 12-11: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 7

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 80 di 89



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{xx}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 1106 kN/m<sup>2</sup> (Element 878 at Node 6146)  
Minimum value = -18,63\*10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> (Element 693 at Node 5271)

Figura 12-12: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 8

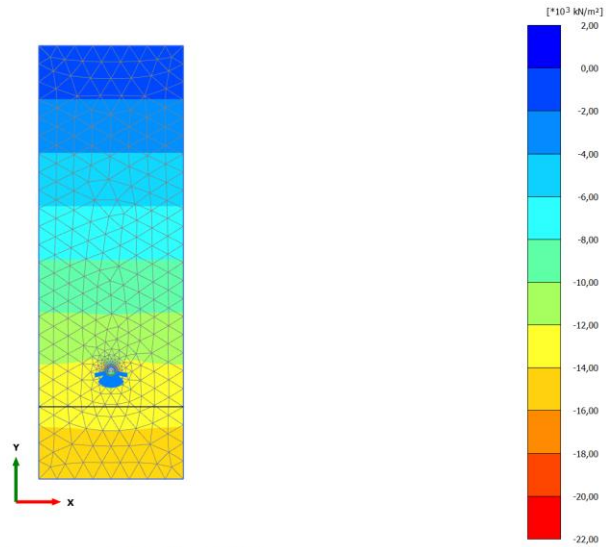


**Cartesian effective stress  $\sigma'_{yy}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 255,8 kN/m<sup>2</sup> (Element 639 at Node 6178)  
Minimum value = -21,55\*10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> (Element 614 at Node 4997)

Figura 12-13: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 7

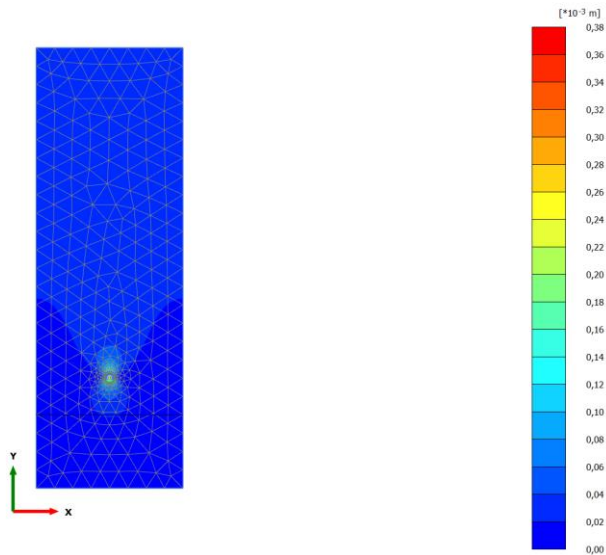


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>81 di 89</b>



**Cartesian effective stress  $\sigma'_{yy}$  (scaled up  $0,500 \cdot 10^{-3}$  times)**  
Maximum value = 373,7 kN/m<sup>2</sup> (Element 639 at Node 6178)  
Minimum value = -21,62  $\cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup> (Element 614 at Node 4997)

Figura 12-14: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 8



**Total displacements  $|u|$  (scaled up  $50,0 \cdot 10^3$  times)**  
Maximum value = 0,3705  $\cdot 10^{-3}$  m (Element 743 at Node 6266)

Figura 12-15: Spostamenti  $|u|$  Fase 7

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 82 di 89

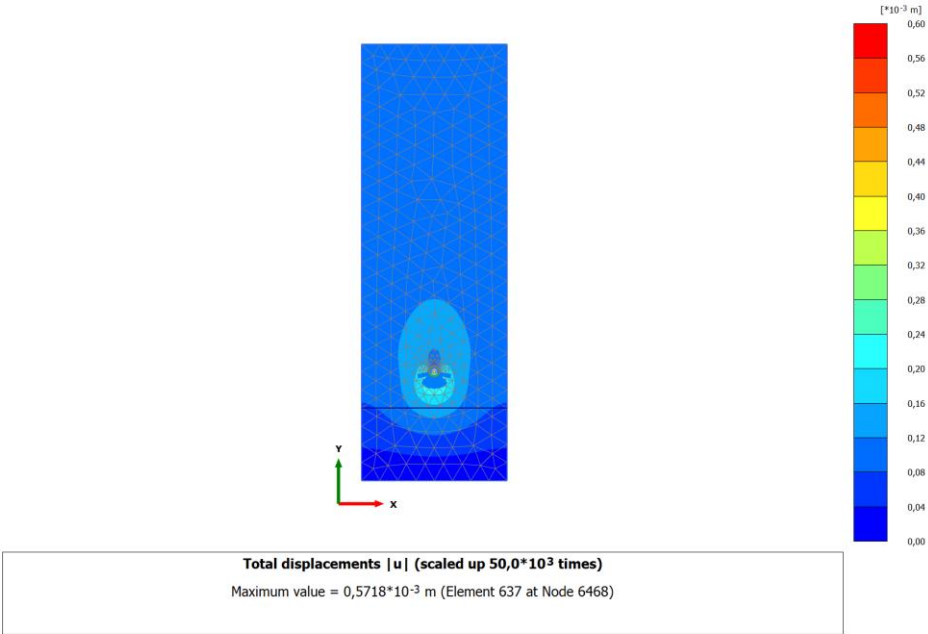


Figura 12-16: Spostamenti |u| Fase 8

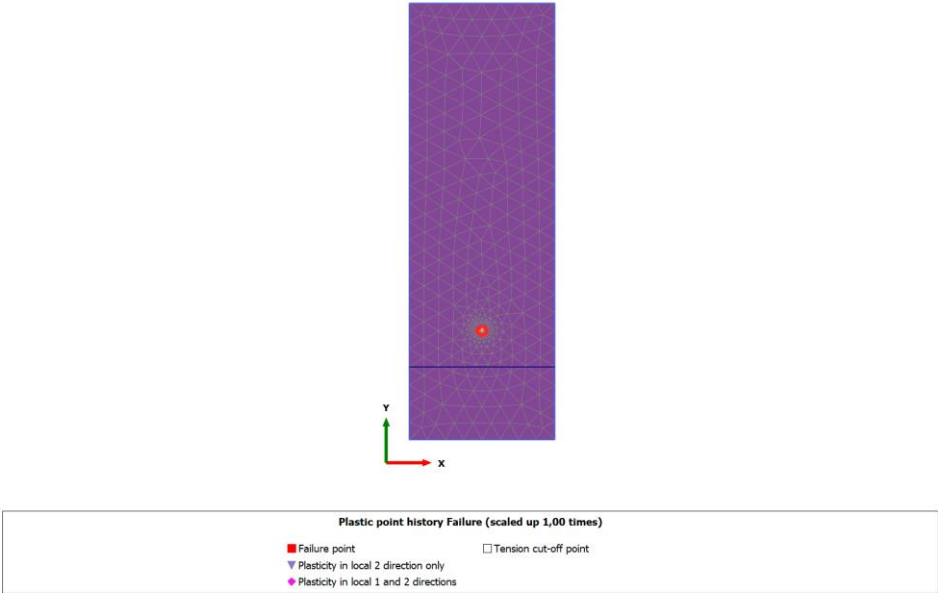


Figura 12-17: Zone di plasticizzazione Fase 7

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 83 di 89

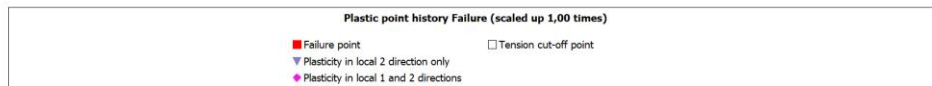


Figura 12-18: Zone di plasticizzazione Fase 8

### 12.3.3 Galleria tecnologica Sezione di innesto

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0400004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>84 di 89</b>

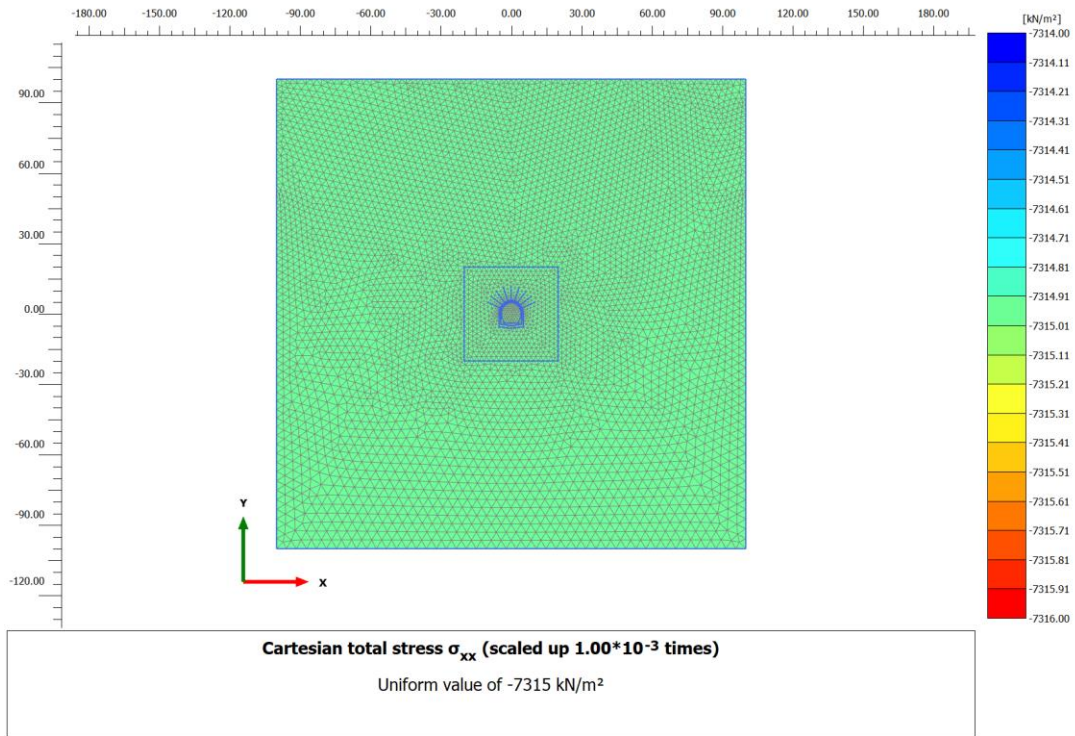


Figura 12-19: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase iniziale

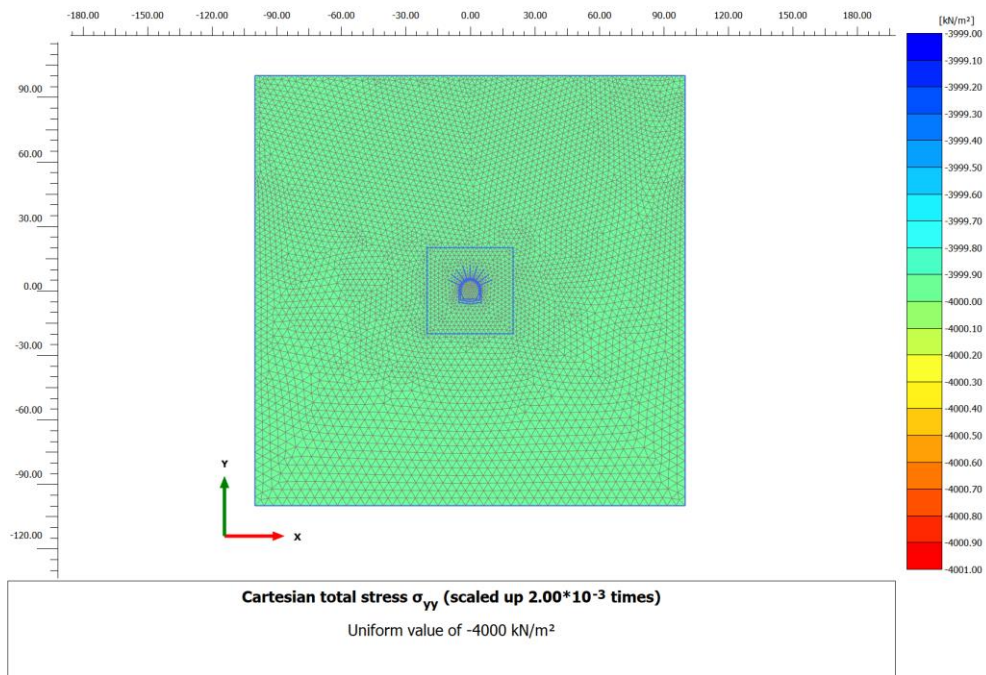


Figura 12-20: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase iniziale

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 85 di 89

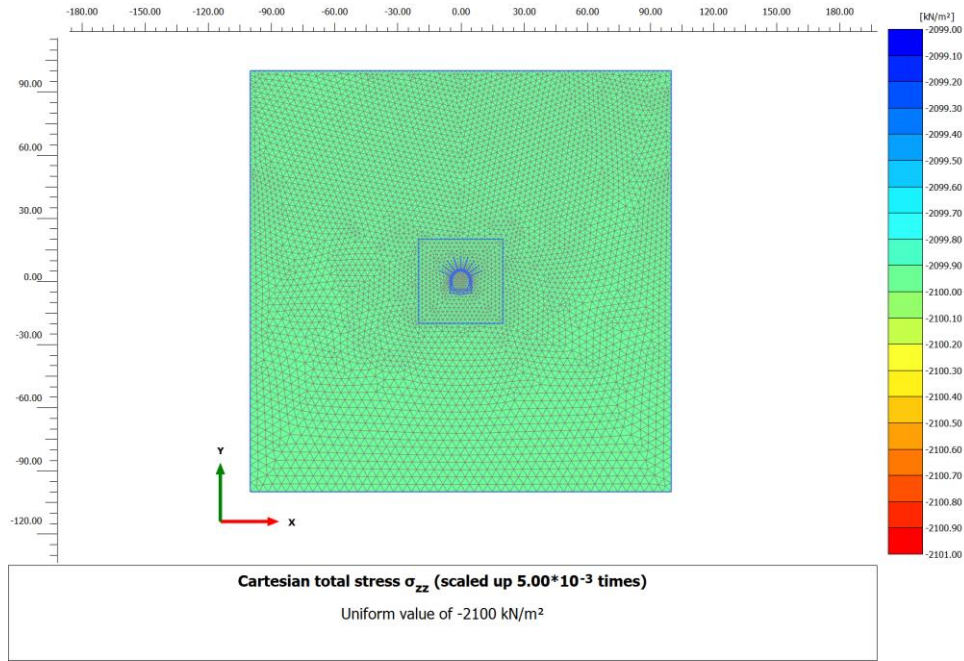


Figura 12-21: Stress  $\sigma_{zz}$  Fase iniziale

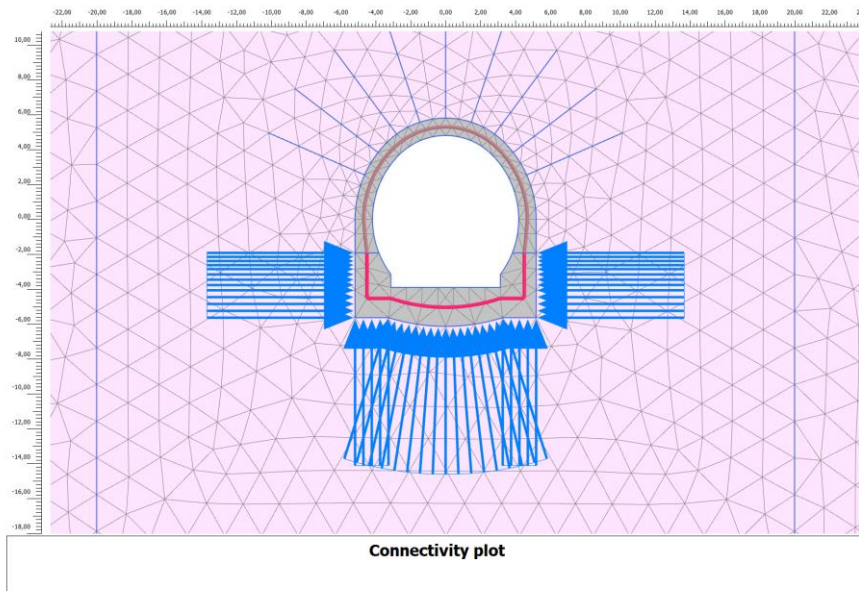


Figura 12-22: Connectivity plot

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 86 di 89

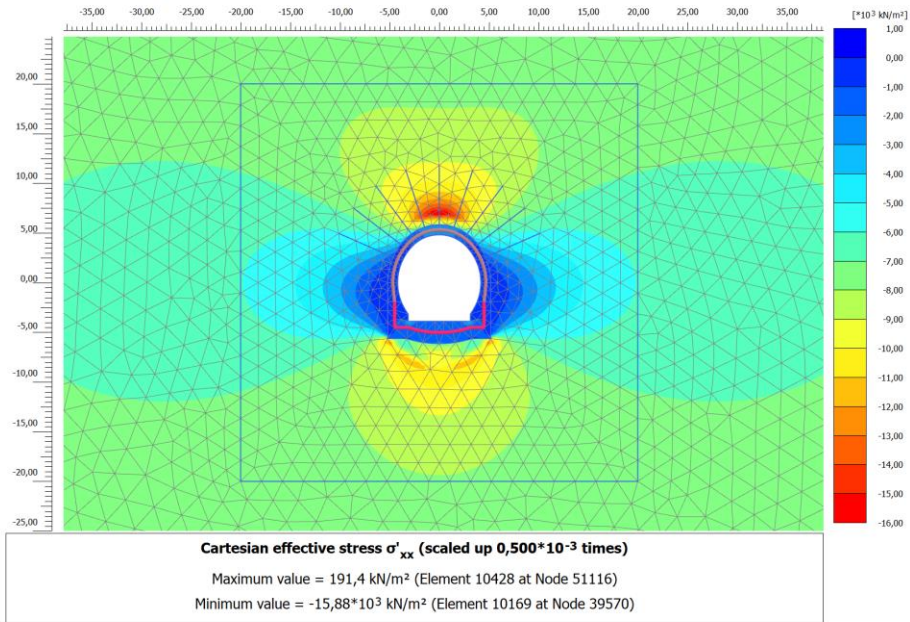


Figura 12-23: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 7

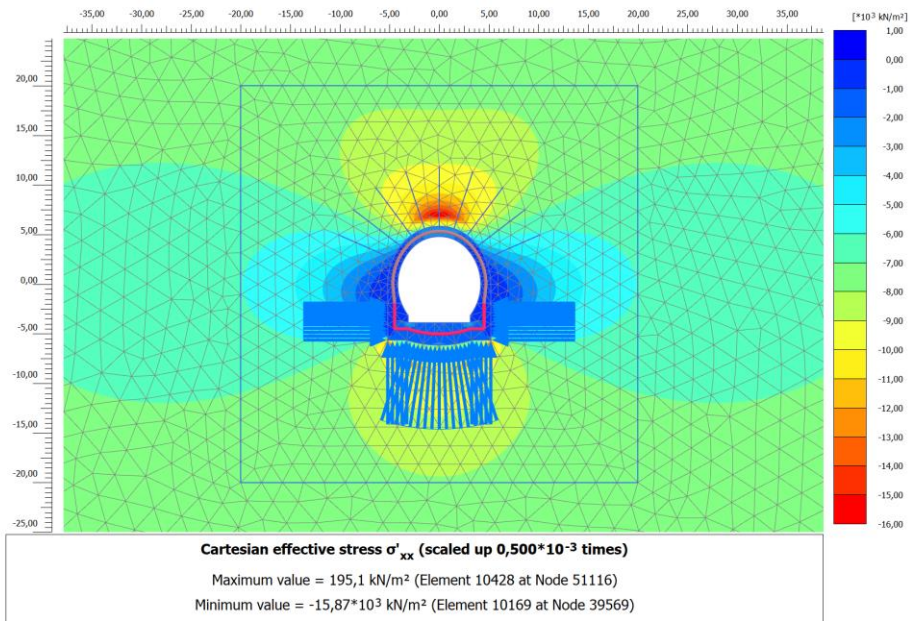


Figura 12-24: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 8

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 87 di 89

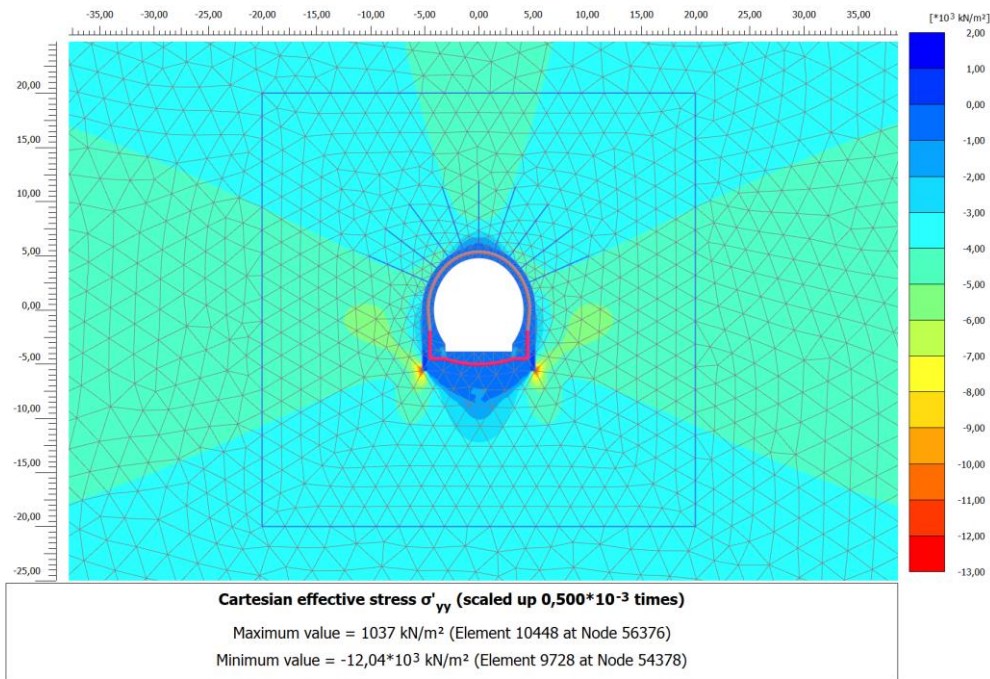


Figura 12-25: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 7

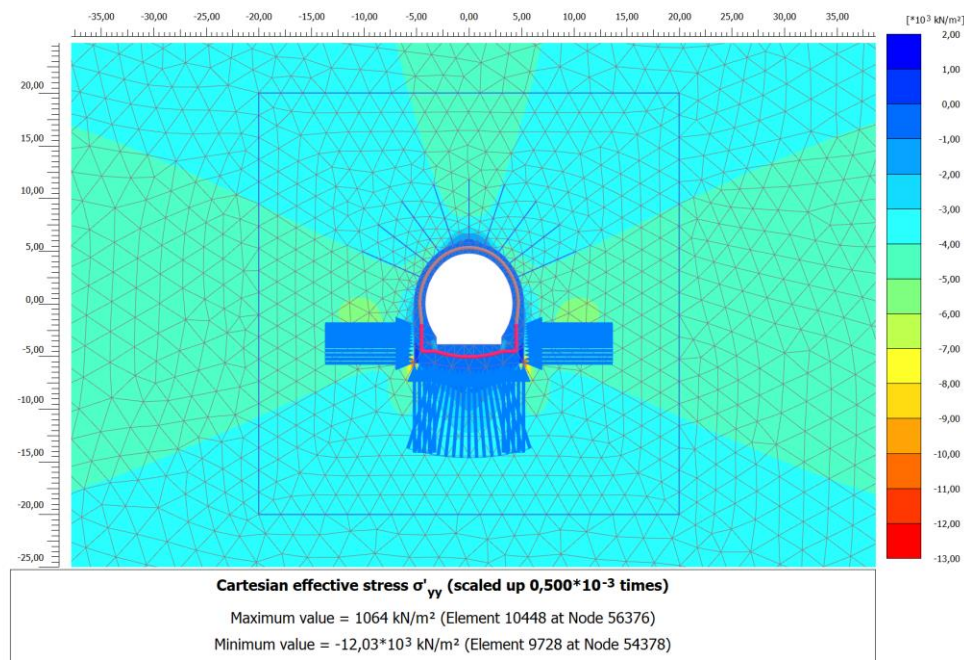


Figura 12-26: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 8

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 88 di 89

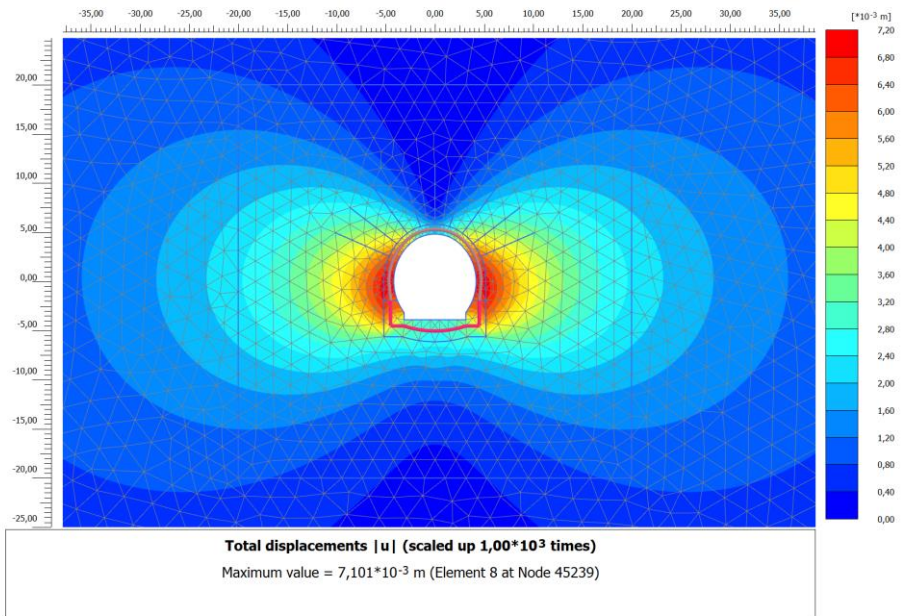


Figura 12-27: Spostamenti |u| Fase 7

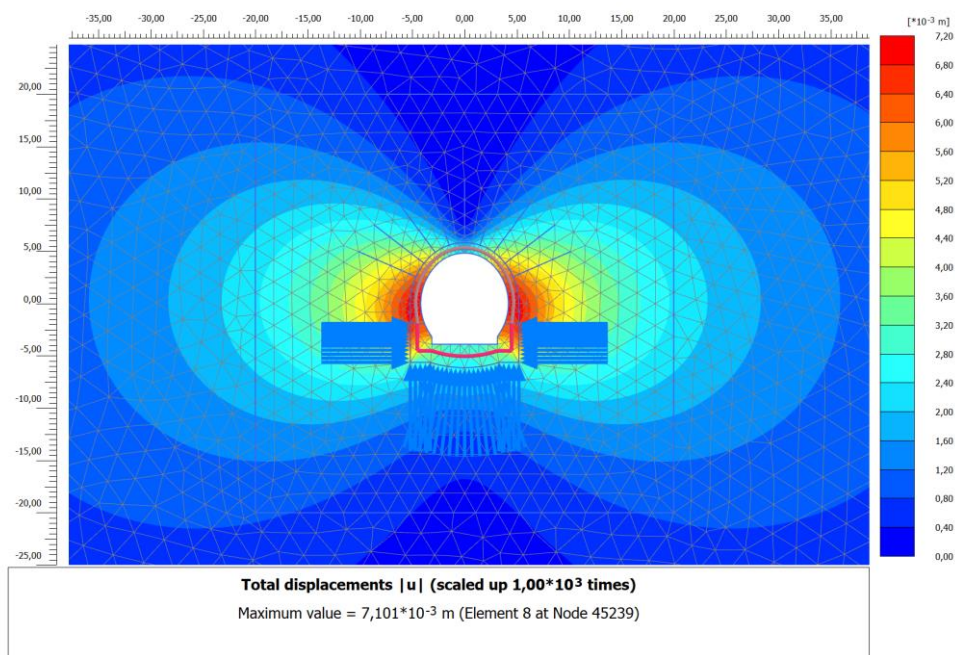


Figura 12-28: Spostamenti |u| Fase 8



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione tecnica e di monitoraggio	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0400004	REV. B	FOGLIO. 89 di 89

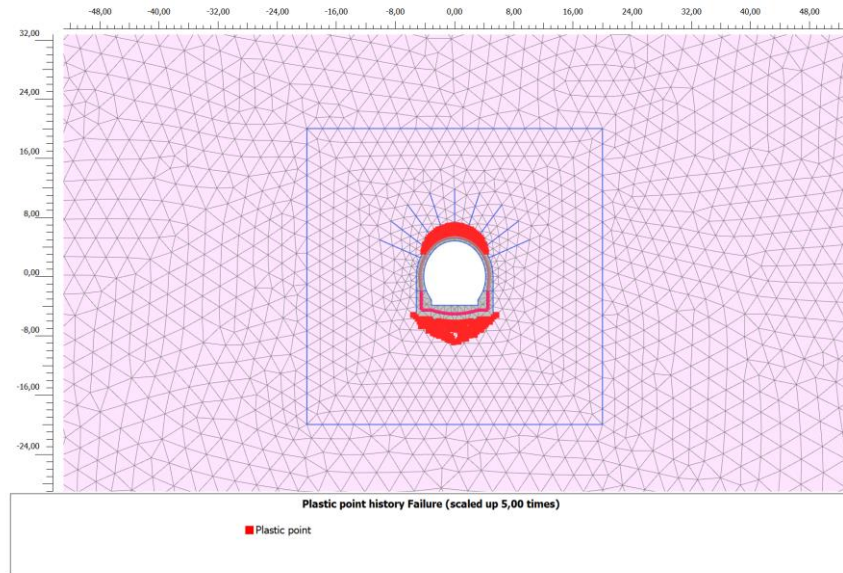


Figura 12-29: Zone di plasticizzazione Fase 7

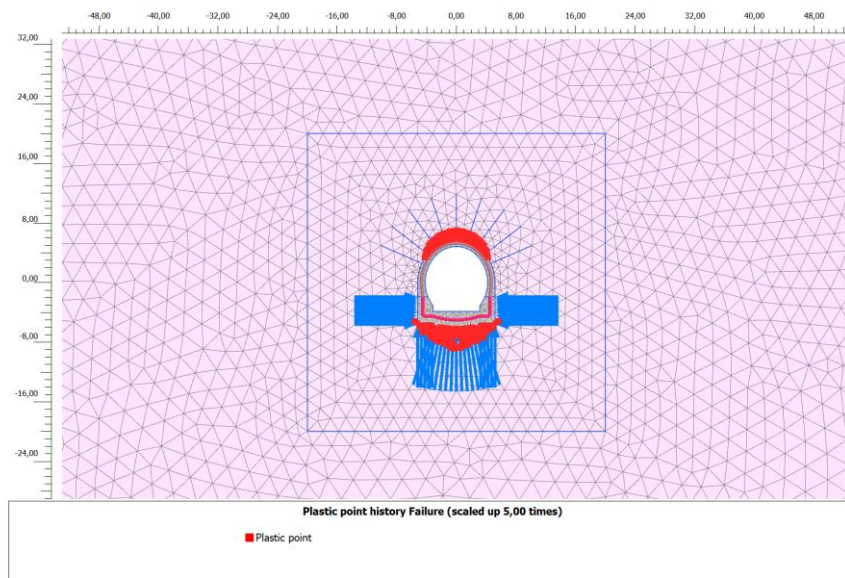


Figura 12-30: Zone di plasticizzazione Fase 8