

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
DOTT. PAOLO CUCINO  
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

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

H-FINESTRA FORCH

-

Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2

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	C L	G N 0 3 0 0	0 0 4	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	F.De Scrolli	20/12/2021	C. Iasiello	29/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO DOTT. PAOLO CUCINO ISCRIZIONE ALBO N° 2216 16/03/2023
B	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	M. Aganetti	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	M. Aganetti	13/03/2023	C. Iasiello	14/03/2023	D. Buttafoco	15/03/2023	

File: IB0U1BEZZCLGN0300004C.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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 2 di 148

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI</b> .....	<b>7</b>
3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	7
3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	7
3.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	7
3.4 SOFTWARE UTILIZZATI .....	8
<b>4. DESCRIZIONE DELL'OPERA</b> .....	<b>9</b>
4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO .....	9
<b>5. FASE CONOSCITIVA</b> .....	<b>10</b>
<b>6. FASE DI DIAGNOSI</b> .....	<b>11</b>
6.1.1 Classi di comportamento del fronte di scavo.....	11
6.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO .....	12
6.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche .....	12
6.2.2 Analisi con il metodo dell'equilibrio limite.....	15
6.2.3 Sezioni analizzate .....	17
6.2.4 Risultati delle analisi di stabilità .....	19
6.2.5 Analisi del rischio di "squeezing" .....	21
<b>7. FASE DI TERAPIA</b> .....	<b>24</b>
<b>8. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI</b> .....	<b>24</b>
8.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO .....	26
8.2 COPRIFERRO .....	27
<b>9. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE</b> .....	<b>28</b>
9.1 SEZIONE 1 KM. 0+279.....	29
9.1.1 Interazione galleria – terreno.....	29
9.1.2 Verifiche .....	33
9.2 SEZIONE 2 KM. 0+580.....	40
9.2.1 Interazione galleria - terreno .....	40
9.2.2 Verifiche RC Tipo 2 .....	43

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 3 di 148

9.2.3	Verifiche FRC Tipo 1 .....	47
9.3	SEZIONE 3 KM. 0+680.....	51
9.3.1	Metodo delle curve caratteristiche.....	51
9.3.2	Interazione galleria - terreno .....	52
9.3.3	Verifiche .....	55
9.4	SEZIONE 4 KM. 0+865.....	58
9.4.1	Metodo delle curve caratteristiche.....	58
9.4.2	Interazione galleria - terreno .....	59
9.4.3	Verifiche .....	63
9.5	SEZIONE 5 KM. 1+123.....	65
9.5.1	Metodo delle curve caratteristiche.....	65
9.5.2	Interazione galleria - terreno .....	66
9.5.3	Verifiche .....	72
9.6	SEZIONE 6 KM. 1+187.....	75
9.6.1	Metodo delle curve caratteristiche.....	75
9.6.2	Interazione galleria - terreno .....	76
9.6.3	Verifiche .....	82
9.7	SEZIONE 7 KM. 1+235.....	85
9.7.1	Metodo delle curve caratteristiche.....	85
9.7.2	Interazione galleria - terreno .....	86
9.7.3	Verifiche .....	92
<b>10.</b>	<b>MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....</b>	<b>95</b>
<b>11.</b>	<b>RISULTATI DEI CALCOLI .....</b>	<b>96</b>
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>97</b>
<b>13.</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>98</b>
13.1	CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI DIAGNOSI.....	98
13.1.1	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680) – Diagnosi.....	98
13.1.2	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865) – Diagnosi.....	98
13.1.3	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123) – Diagnosi.....	99
13.1.4	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187) – Diagnosi.....	100
13.1.5	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+235) – Diagnosi.....	101

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 4 di 148	

13.2	CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI TERAPIA .....	102
13.2.1	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680) – Terapia.....	102
13.2.2	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865) – Terapia.....	104
13.2.3	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123) – Terapia.....	106
13.2.4	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187) – Terapia.....	108
13.2.5	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+235) – Terapia con extrascavo.....	111
13.3	OUTPUT PLAXIS 2D.....	114
13.3.1	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 1 (pk. 0+279).....	114
13.3.2	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 2 (pk. 0+580).....	118
13.3.3	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680).....	122
13.3.4	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865).....	126
13.3.5	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123).....	130
13.3.6	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187).....	137
13.3.7	Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+258).....	141

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	5 di 148

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari alla realizzazione della galleria naturale di Forch con scavo meccanizzato, nell'ambito del progetto della tratta ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 – Finestra di Forch.

In particolare, la presente relazione affronta le verifiche geotecniche e strutturali in fase definitiva dei conci prefabbricati con armatura tradizionale (**Tipo 2**) nella tratta dalla pk 0+144 alla pk 0+648 e dei conci prefabbricati fibro-rinforzati (**Tipo 1**) previsti a partire dalla pk 0+648 dove la galleria naturale incontra la transizione tra i depositi di versane e l'ammasso roccioso più competente.

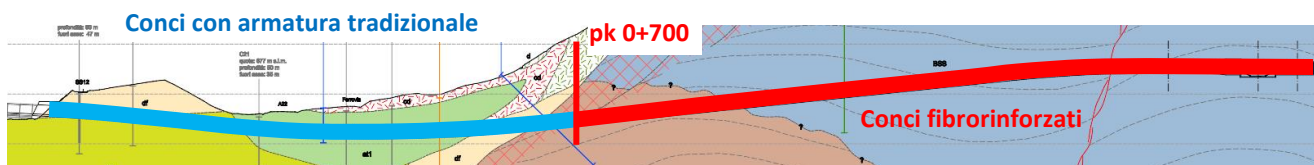


Fig. 1-1 Profilo Geotecnico di Forch

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	6 di 148

## 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 0;
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 0 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.

La galleria naturale di Forch sarà realizzata con metodo di scavo meccanizzato per circa 1294 m. La galleria è provvista in un cunicolo trasversale di collegamento con la galleria tecnica al km 1+290 circa.

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IB0U	1BEZZ	CL	GN0300004	C	7 di 148

### 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] "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)" - DM Infrastrutture 17.01.2018.
- [4] "Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche" - C.S.LL.PP., Maggio 2022.

#### 3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [5] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [1] AFTES N° GT38R1A1 (FR) – Design, dimensioning and execution of precast steel fibre reinforced concrete arch segments;
- [6] 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;
- [7] Rousset G. (1992). La « nouvelle methode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Geotechnique, N° 60;
- [8] G. Anagnostou e K. Kovari (1996). Face stability conditions with Earth – Pressure – Balanced Shileds;
- [9] Tamez E. (1984) "Estabilidad de tuneles excavados en suelos" - Mexican Engineering Academy;
- [10] Wang J.N., (1993) - Seismic design of tunnel – A simple state of the art design approach. Parson Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc., New York, Monograph 7.

#### 3.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- [11] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZFZGE0001015 "Profilo geologico finestra di Forch";
- [12] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZRHGN0300001 "Relazione di rispondenza funzionale del PE e comparativa con PD";
- [13] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZRHGN0300002 "Relazione monitoraggio";
- [14] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZRHGN0300003 "Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo in Scavo Meccanizzato;
- [15] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZRHGN0300004 "Relazione sui parametri macchina";
- [16] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZGEGN0000001A "Relazione geotecnica Galleria Scaleres"
- [17] U.O. Geotecnica, documento n° IB0U1BEZZFZGN0300001 "Profilo geotecnico Finestra di Forch"
- [18] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZCLGN0300001 – "Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Conci Tipo 2".
- [19] U.O. Gallerie, documento n° IB0U1BEZZCLGN0300002 – "Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo fibro-rinforzato - Conci Tipo 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>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0300004</td> <td>C</td> <td>8 di 148</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	8 di 148													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2																		

### 3.4 SOFTWARE UTILIZZATI

I software utilizzati per la progettazione sono:

- GV4                                      versione 4H 2003                      Sial.tec Engineering
- Plaxis 2D                                      versione 2021 v21                      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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 9 di 148

## 4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La Finestra Forch, da realizzarsi con metodo di scavo meccanizzato, è una galleria costruttiva che si innesta in corrispondenza della canna dispari della Galleria Scaleres al km 3+474.84 ed è propedeutica ai lavori di scavo della galleria di linea. In esercizio, la finestra verrà utilizzata come uscita di emergenza.

Il tracciato planimetrico della Finestra Forch è costituito da un unico tratto rettilineo che dall'innesto con la Galleria Scaleres.

Dal punto di vista altimetrico, la galleria naturale inizia dalla pk 0+146.50 con una pendenza decrescente del 5% studiata per il posizionamento della sella di montaggio e partenza della TBM.

Tra le pk 0+171.28 e 0+238.24 il tracciato presenta un raccordo verticale con raggio altimetrico di 1500 m compatibile con la macchina selezionata e il progetto geometrico dell'anello universale.

Il tracciato prosegue con una pendenza decrescente del 9,5 % fino alla pk 0+347.71 dove inizia un altro raccordo verticale, avente sempre raggio altimetrico di 1500 m fino alla progressiva 0+644.08.

Questo lungo raccordo verticale permette di sottopassare le interferenze presenti lungo il tracciato, quali l'autostrada A22 e la ferrovia del Brennero.

Il tracciato prosegue con una pendenza crescente pari al 10.33 % fino alla pk 1+130.11 dove inizia l'ultimo raccordo altimetrico che conduce alla quota di innesto con la galleria di linea.

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

- Da pk. 0+25.00 a pk. 0+146.50 (L= 121.50 m) galleria artificiale;
- Da pk. 0+146.50 a pk. 1+440.17 (L=1293.67 m) galleria naturale scavo meccanizzato.
- Da pk 1+336,82 a pk 1+429,37 (L=92,55 m) galleria di innesto.



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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	11 di 148

## 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. [5]), 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. [5]) 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	12 di 148

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0300004</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>13 di 148</b>

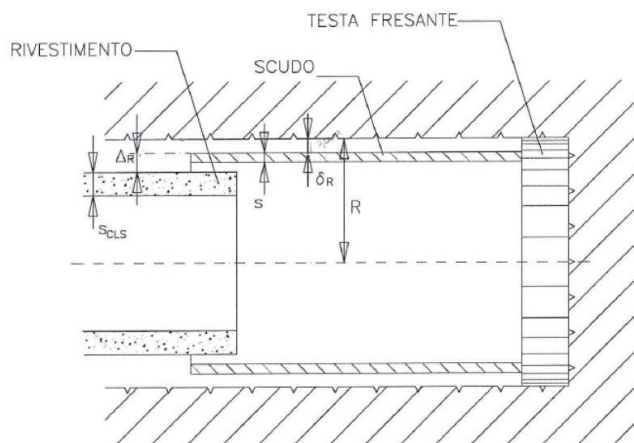


Fig. 6-1 Schematizzazione della fresa scudata

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

$$u_i = u_F + \delta_R$$

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 14 di 148

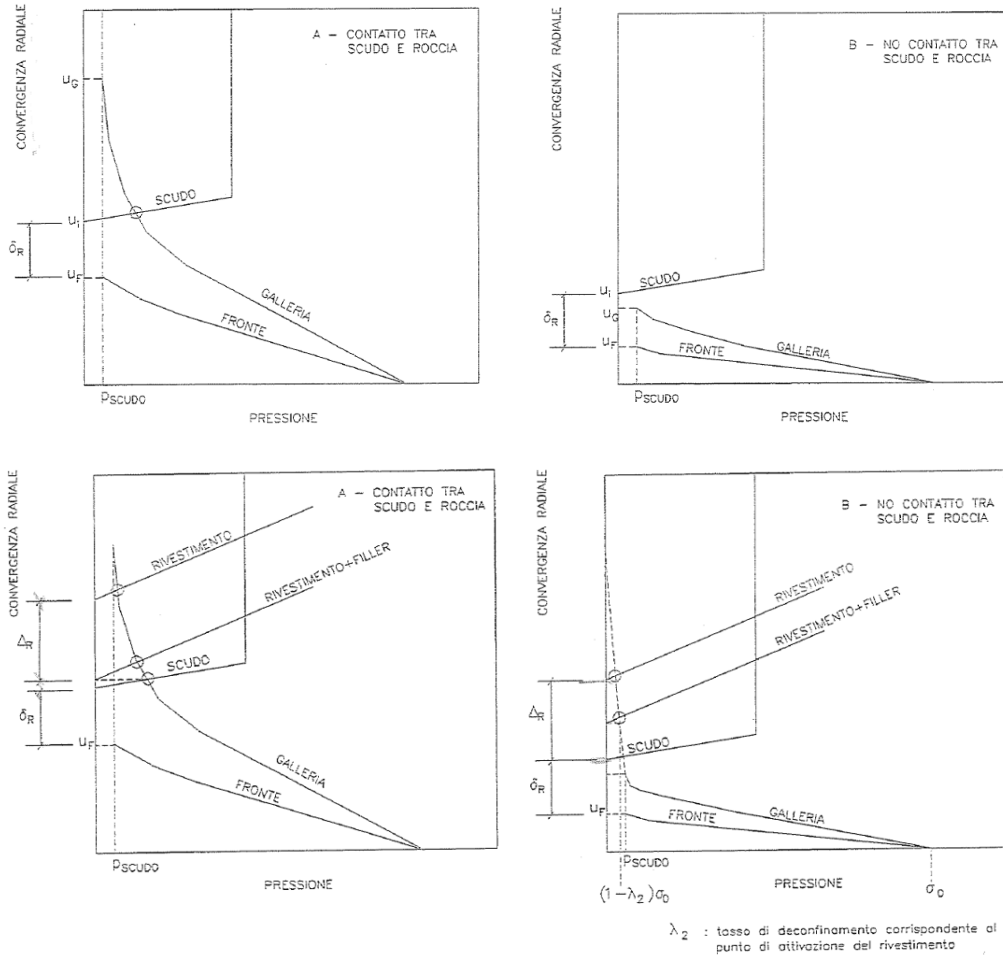


Fig. 6-2 Curve caratteristiche – galleria scavata con fresa scudata

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.

$$K_S = \frac{E_S [R^2 - (R-s)^2]}{(1+\nu_S)[(1-2\nu_S)R^2 + (R-s)^2]}$$

$$u_{LIM} = \frac{1}{2K_S} \sigma_S^c \frac{R^2}{R^2 - (R-s)^2}$$

Dove:

$k_S$ : rigidezza dell'anello di calcestruzzo

$E_S$ : modulo elastico del calcestruzzo

$\nu_S$ : coefficiente di Poisson del calcestruzzo

$\sigma_S^c$ : 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.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 15 di 148

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

## 6.2.2 Analisi con il metodo dell'equilibrio limite

### 6.2.2.1. Anagnostou e Kovari (1996)

Nel caso di scavo mediante il sistema EPB il mantenimento della pressione avviene meccanicamente attraverso la compensazione dei volumi di terra scavati e dei volumi passanti attraverso la coclea in corrispondenza della testa della fresa.

Il valore della pressione di sostegno da applicare in presenza di moti di filtrazione, con riferimento al meccanismo di scivolamento tridimensionale di Horn [1961], si ottiene dalla seguente espressione (Anagnostou e Kovari, 1996):

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 16 di 148

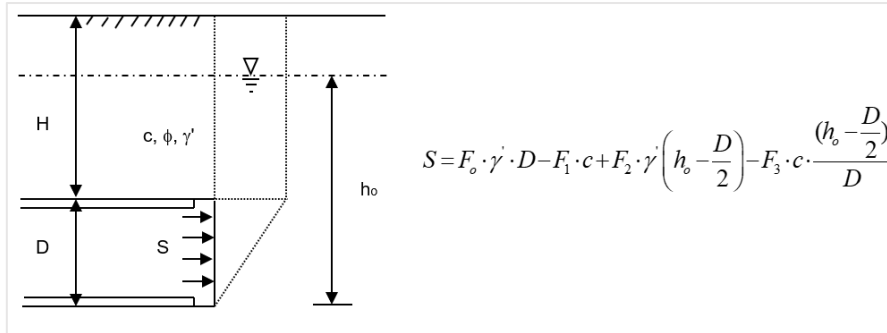


Fig. 6-3 Stabilità del fronte secondo il metodo Anagnostou e Kovari

In cui:

- $S'$  = valore della pressione efficace stabilizzante da applicare al fronte;
- $\Delta h = h_0 - h_f$  (differenza di carico idraulico al fronte);
- $h_0$  = altezza della falda libera (a partire dalla quota arco rovescio);
- $h_f$  = carico idraulico all'interno della camera di scavo (fino alla quota arco rovescio);
- $F_0, F_1, F_2, F_3$  = coefficienti adimensionali dipendenti dall'angolo di attrito del terreno  $\phi'$ , dai rapporti  $H/D$  (copertura/diametro della galleria) e  $(h_0 - D)/D$ .

La forza efficace di stabilizzazione viene determinata integrando le forze di massa associate al cuneo di spinta finale. Nel caso specifico il calcolo è stato condotto ipotizzando l'assenza di moti di filtrazione verso il fronte, assumendo cioè  $h_0 = h_f$ .

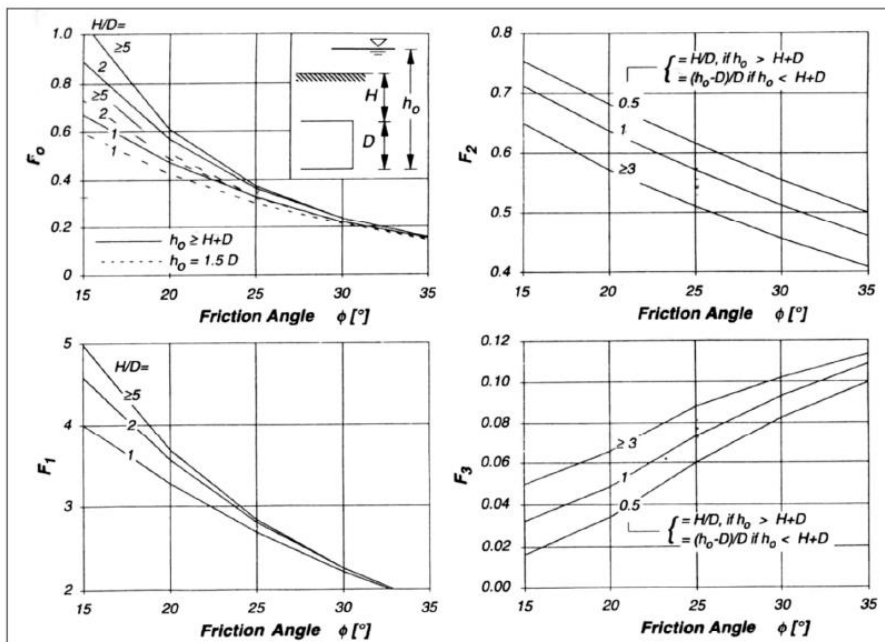


Fig. 6-4 Abachi per la definizione dei coefficienti adimensionali



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 17 di 148

### 6.2.3 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.

Per la galleria naturale di Forch, le sezioni di calcolo sono le seguenti:

- Sezione 1 – Sezione con copertura di 38 metri (progressiva km. 0+279), nei depositi deltizi glaciolacustri (Dlt);
- Sezione 2 – Sezione con copertura di 33 metri (progressiva km. 0+580), all'interno delle alluvioni antiche (at1);
- Sezione 3 – Sezione con copertura di 70 metri (progressiva km. 0+680), nella Formazione delle Scisti cornubiatici (MPC);
- Sezione 4 – Sezione con copertura di 180 metri (progressiva km. 0+865), nella Formazione delle Filladi con struttura scistosa (BSS);
- Sezione 5 – Sezione con copertura di 294 metri (progressiva km. 1+123), nella formazione delle Filladi con struttura scistosa (BSS). In questa sezione di calcolo è stata assunta la falda ad una quota di circa 90m al di sopra della calotta;
- Sezione 6 – Sezione di copertura di 332 metri (progressiva km. 1+187), nella formazione delle Filladi con struttura scistosa (BSS). In questa sezione di calcolo è stata assunta la falda ad una quota di circa 85m al di sopra della calotta;
- Sezione 7 – Sezione di copertura di 370 metri (progressiva km. 1+235), nella formazione delle Filladi con struttura scistosa (BSS) in zona di danneggiamento. In questa sezione di calcolo è stata assunta la falda ad una quota di circa 82m al di sopra della calotta.

Il rivestimento definitivo in conci prefabbricati del tratto realizzato con scavo meccanizzato della Finestra di Forch è stato analizzato nelle condizioni geotecniche e litostatiche più critiche ammissibili, riepilogate nella sottostante tabella.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
<b>08 - GALLERIE</b>					
Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	18 di 148

	SEZIONE DI CALCOLO	Unità	H (m)	D <sub>scavo</sub> (m)	R <sub>eq</sub> (m)	k <sub>0</sub> (-)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	σ <sub>0</sub> (MPa)	c' <sub>kp</sub> (kPa)	φ' <sub>kp</sub> (°)	E <sub>k</sub> (MPa)
1	0+279	Dlt	38	10.70	5.35	0.48	20	0.76	0	31	120
2	0+580	at1	33	10.70	5.35	0.47	20	0.66	0	32	250
3	0+680	Zona detensionamento	75	10.70	5.35	0.90	27	2.03	304	41	380
4	0+865	BSS	180	10.70	5.35	0.90	27	4.86	1100	40	1379
5	1+123	BSS	294	10.70	5.35	0.90	27	7.94	1100	38.5	1222
6	1+187	BSS	332	10.70	5.35	0.90	27	8.96	1120	37	1332
7	1+258	BSS (zona di danneggiamento)	370	10.70	5.35	0.90	27	9.99	702	30	877

H = copertura rispetto alla calotta della galleria  
σ<sub>0</sub> = tensione totale iniziale al livello del cavo  
D<sub>scavo</sub> = diametro di scavo  
k<sub>0</sub> = coefficiente di spinta a riposo  
γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
c'<sub>kp</sub> = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso  
φ'<sub>kp</sub> = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso  
E<sub>k</sub> = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 6-3: Caratteristiche ammasso roccioso

APPALTATORE: 	<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 19 di 148

## 6.2.4 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.

I parametri utilizzati nelle analisi sono riportati al §6.2.3 (Tabella 6-3).

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 imprevedibili, 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.

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente; i tabulati di calcolo con la rappresentazione delle curve caratteristiche sono invece riportati integralmente in Allegato 1.

	$\sigma_c$ [Mpa]	$k_p$	$p_c$ [Mpa]	$\sigma_c/p_c$	$U_f$	$U_f/Req$	$R_{pf}$	$R_{pf}/Req$	$u_{\infty}$	$R_p$	CRITERIO 1	CRITERIO 2.1	CRITERIO 2.2
3	1.668	4.815	0.258	6.471	0.006	0.001	5.876	1.063	0.014	6.577	A	B	B
4	5.915	4.599	0.270	21.926	0.001	0.000	5.648	1.021	0.002	6.088	A	A	B
5	5.067	4.298	1.426	3.554	0.003	0.000	6.109	1.105	0.006	7.145	A	A	B
6	5.343	4.023	1.792	2.982	0.003	0.001	6.209	1.123	0.007	7.405	A	A	B
7	3.038	3.000	3.413	0.890	0.022	0.004	7.423	1.342	0.058	10.763	A/B	B	B

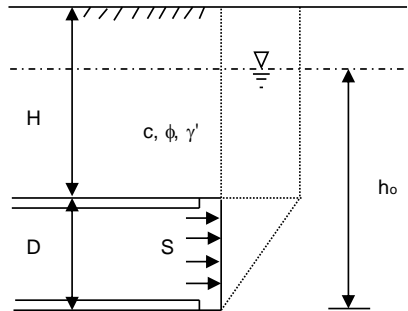
$\sigma_c = (2c \cos \phi) / (1 - \sin \phi)$  = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)  
 $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$  = pressione critica al fronte (con  $K_p$  coefficiente di spinta passiva)  
 $U_f$  = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $u_{inf}$  = convergenza radiale galleria  
 $R_{pf}$  = raggio plastico al fronte  
 $R_p$  = raggio plastico finale al contorno del cavo  
 $R_{req}$  = raggio di scavo equivalente della galleria (= 4,65 m)

Tabella 6-4: Risultati analisi in fase di diagnosi

Come si può osservare dalla tabella Tabella 6-4, le sezioni invece mostrano un comportamento al più stabile a breve termine (B).

Per quanto riguarda le sezioni 1 e 2, essendo depositi glaciali/alluvionali e a bassa copertura è stato impiegato il metodo all'equilibrio limite di Anagnostou e Kovari (1996) (Rif. [8]), ottenendo una pressione minima per garantire la stabilità del fronte pari a 0.79 bar e 0.76 bar rispettivamente per la sezione 1 e sezione 2, come riportato in Figura 6-1 e Figura 6-2.

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 20 di 148



$$S = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c + F_2 \cdot \gamma' \left( h_0 - \frac{D}{2} \right) - F_3 \cdot c \cdot \frac{(h_0 - \frac{D}{2})}{D}$$

DATI DI PARTENZA			
D	10.7	[m]	Diametro della galleria
H	38	[m]	Copertura in calotta
$\gamma'$	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso per unità di volume
c	0	[kPa]	Coesione
$\phi$	31	[°]	Angolo di attrito
h <sub>0</sub>	48.7	[m]	Altezza della falda rispetto al piano della galleria

PARAMETRI CORRETTIVI (Vedi grafici)			H/D	3.55
F <sub>0</sub>	0.18418352	-	Parametro correttivo funzione di $\phi, H/D, H+D$ e h <sub>0</sub> H+D= 48.7    h <sub>0</sub> = 1.5D = 16.05	
F <sub>1</sub>	2.19725156	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e H/D H/D= 3.55	
F <sub>2</sub>	0	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e min(h <sub>0</sub> -D,H)/D min(h <sub>0</sub> -D,H)/D = 3.55	
F <sub>3</sub>	0	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e min(h <sub>0</sub> -D,H)/D min(h <sub>0</sub> -D,H)/D = 3.55	

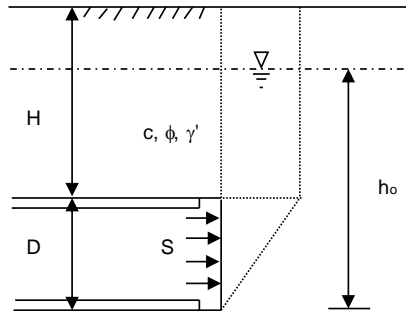
SPINTA MINIMA da applicare per avere la stabilità del fronte		
S	0.39	[bar]    In condizioni di EQ LIMITE

Applicando un fattore di sicurezza di **2** si ottiene:

<b>S</b>	<b>0.79</b>	[bar]
----------	-------------	-------

Figura 6-1: Stabilità del fronte – Sezione 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 21 di 148



$$S = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c + F_2 \cdot \gamma' \left( h_0 - \frac{D}{2} \right) - F_3 \cdot c \cdot \frac{(h_0 - \frac{D}{2})}{D}$$

DATI DI PARTENZA			
D	10.7	[m]	Diametro della galleria
H	33	[m]	Copertura in calotta
$\gamma'$	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso per unità di volume
c	0	[kPa]	Coesione
$\phi$	32	[°]	Angolo di attrito
h <sub>0</sub>	43.7	[m]	Altezza della falda rispetto al piano della galleria

PARAMETRI CORRETTIVI (Vedi grafici)			H/D	3.08
F <sub>0</sub>	0.17698018	-	Parametro correttivo funzione di $\phi, H/D, H+D$ e $h_0$ H+D= 43.7    h <sub>0</sub> = 1.5D = 16.05	
F <sub>1</sub>	2.14739202	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e H/D H/D= 3.08	
F <sub>2</sub>	0	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = 3.08$	
F <sub>3</sub>	0	-	Parametro correttivo funzione di $\phi$ e $\min(h_0-D, H)/D$ $\min(h_0-D, H)/D = 3.08$	

SPINTA MINIMA da applicare per avere la stabilità del fronte			
S	0.38	[bar]	In condizioni di EQ LIMITE

Applicando un fattore di sicurezza di **2** si ottiene:

<b>S</b>	<b>0.76</b>	[bar]
----------	-------------	-------

Figura 6-2: Stabilità del fronte – Sezione 2

Per garantire la stabilità del fronte durante le fasi di avanzamento si assume una pressione minima di 0.80 bar per le sezioni 1 e 2.

### 6.2.5 Analisi del rischio di "squeezing"

Il termine squeezing identifica grandi deformazioni che si sviluppano nel tempo attorno al cavo per il raggiungimento della soglia di creep dell'ammasso. Entità e velocità delle deformazioni sono funzione delle

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 22 di 148

caratteristiche geotecniche dell'ammasso, dello stato tensionale, delle caratteristiche strutturali (scistosità, piani di stratificazione), delle condizioni idrauliche.

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

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

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{p_o} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H}$$

Dove:

$\sigma_{cm}$  = resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

$p_o$  = tensione litostatica

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso roccioso

H = profondità della galleria

E fornisce la seguente classificazione:

$\frac{\sigma_{cm}}{p_o}$	Comportamento
< 0.4	Highly squeezing
0.4 – 0.8	Moderately squeezing
0.8 – 2.0	Mildly squeezing
>2.0	Non squeezing

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per le sezioni analizzate.

Sezione	$p_o$ [Mpa]	$\sigma_{cm}$ [Mpa]	$N_c$
<b>1</b>	2.03	2.03	1.00
<b>2</b>	4.86	7.58	1.56
<b>3</b>	7.94	7.00	0.88
<b>4</b>	8.96	7.96	0.89
<b>5</b>	9.99	6.55	0.66

$\sigma_{cm} = (2c \cos \phi) / (1 - \sin \phi)$  = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)  
 $p_c = \gamma H$  = pressione litostatica  
 $N_c = \sigma_{cm} / p_c$  Metodo Jethwa et al. (1984)

Tabella 6-5 Risultati analisi squeezing con metodo Jethwa et al. (1984)

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 GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	23 di 148

L'approccio di Hoek e Marinos (2000) si basa sulla relazione tra il rapporto  $\frac{\sigma_{cm}}{p_o}$  e la deformazione del cavo  $\varepsilon_t$ .

$$\varepsilon_t = 0.15 \left( 1 - \frac{p_i}{p_o} \right) \frac{\sigma_{cm}}{p_o}^{-\left( \frac{3p_i}{p_o} + 1 \right) / \left( 3.8 \frac{p_i}{p_o} + 0.54 \right)}$$

Dove:

$\sigma_{cm}$  = resistenza a compressione uniaassiale dell'ammasso roccioso

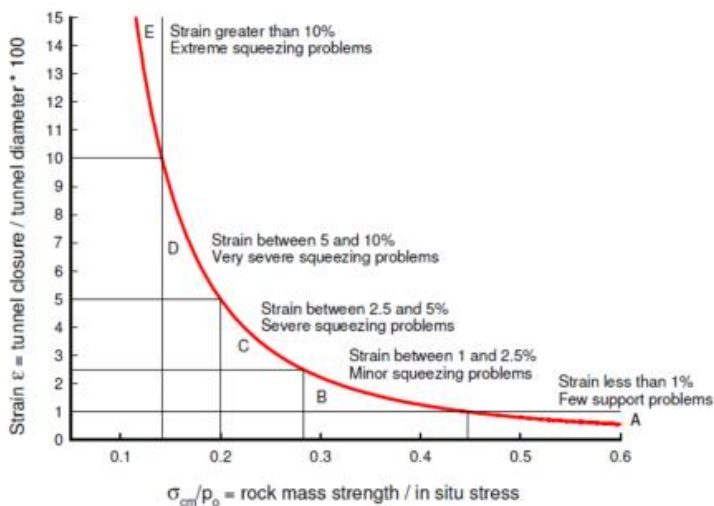
$p_o$  = tensione litostatica

$p_i$  = pressione esercitata da un supporto interno

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

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

Sulla base di numerosi casi reali, la correlazione tra la deformazione  $\varepsilon_t$  e il rapporto  $\frac{\sigma_{cm}}{p_o}$  è associata a classi di comportamento e alla seguente classificazione in termini di squeezing.



$\varepsilon_t$ (%)	Livello di squeezing
< 1	Few support problem
1 - 2,5	Minor squeezing
2,5 - 5	Severe squeezing
5-10	Very severe squeezing
>10	Extreme squeezing

Nel caso della galleria naturale di Forch sono stati utilizzati entrambi i metodi allo scopo di identificare la possibilità di squeezing nell'attraversamento delle formazioni rocciose.

In particolare, per la zona di faglia identifica tra la progressiva km. 1+200 e la progressiva km. 1+264.43, si sono ottenuti i seguenti 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:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	24 di 148
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2							

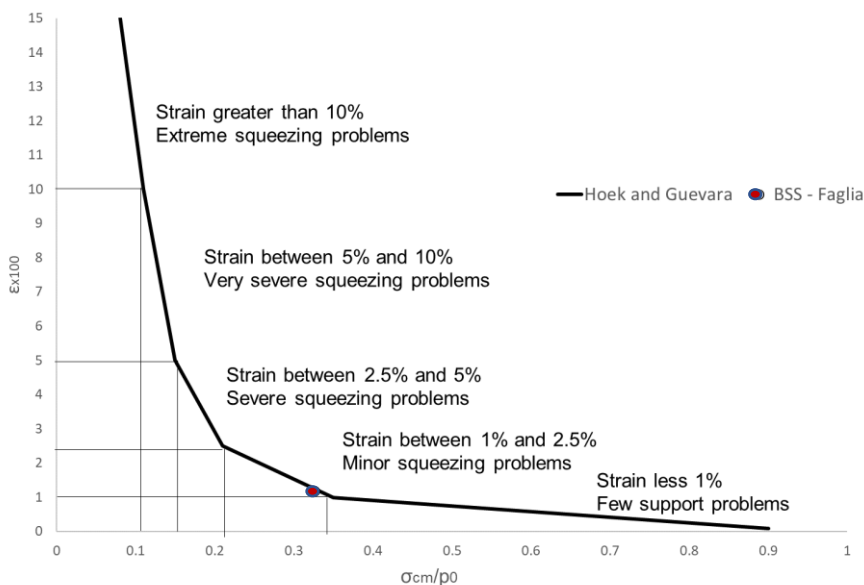


Figura 6-3: Valutazione rischio squeezing per zona in faglia

Si osserva che per la zona di faglia ritenuta più critica all'interno dell'ammasso roccioso attraversato presenta, secondo il metodo Jethwa et al., un rischio moderato di squeezing. Per questo motivo si prevede un sovrascavo nella tratta che interessa la zona di danneggiamento 12.

## 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. Le sezioni di analisi sono state scelte 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 ciascuna sezione tipo oggetto di verifica, le sezioni di analisi sono state definite individuando le condizioni (stratigrafiche e di copertura) più gravose nell'ambito della relativa tratta di applicazione come sezione prevalente.

## 8. 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]).



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	25 di 148

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).

I conci prefabbricati saranno realizzati calcestruzzo di classe C45/55 le cui caratteristiche si riportano nella tabella seguente:

<b>Calcestruzzo armato (conci spessore 40 cm)</b>	
Classe di resistenza di calcolo	C45/55
Resistenza caratteristica cls	$f_{ck} = 45 \text{ Mpa}$
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5 = 25,87 \text{ Mpa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 36416 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_c = 0,55 f_{ck} = 25,11 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,40 f_{ck} = 18,26 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente
Tensione massima in condizioni di esercizio (NTC 2008)	$\sigma_c = 0,6 f_{ck} = 27,39 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 20,54 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

Tabella 8-1: Caratteristiche calcestruzzo

I conci in armatura lenta sono costituiti da acciaio di classe B450C.

<b>Acciaio per barre di armatura</b>	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_{lim} = 0,75 f_{yk} = 337,5 \text{ MPa}$

Tabella 8-2: Caratteristiche acciaio per barre di armatura

Si riepilogano nella seguente tabella le principali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo fibro-rinforzato a trazione utilizzato nelle verifiche:

<b>PARAMETRI DEL FIBRO-RINFORZATO A TRAZIONE</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:		<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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	26 di 148

Resistenza caratteristica a flessione per CMOD=0.5mm	$f_{R1k} = 4.0$ [MPa]
Resistenza caratteristica a flessione per CMOD=2.5mm	$f_{R3k} = 3.6$ [MPa]
Resistenza a trazione per il modello rigido plastico	$f_{Ftu} = f_{R3k} / 3 = 2.4$ [MPa]
Resistenza di progetto a trazione	$f_{Ftud} = f_{Ftu} / \gamma_F = 0.8$ [MPa]
Deformazione Ultima a trazione	$\epsilon_{tu} = \min(2.5\text{mm}/l_{cs}; 2\%)$
Resistenza a trazione media per classi $\leq C50/60$	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 3.79$ [MPa]
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm} = 4.55$ [MPa]

Tabella 8-3: Parametri di resistenza meccanica del fibro-rinforzato a trazione

La tipologia di rivestimento in calcestruzzo fibro-rinforzato (Tipo 1) viene proposta per le tratte ad elevate coperture e con formazioni con buone caratteristiche di resistenza. Non è previsto il suo impiego in terreni sciolti, a basse coperture e con scarse caratteristiche di resistenza (da circa pk. 0+181 a circa pk. 0+650), in tali zone si propongono conci in calcestruzzo armato con armatura 12+12Φ14 (Tipo 2).

#### **Rivestimento provvisorio – Galleria Tecnologica e By pass**

<b>Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)</b>	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,5} = 14.17$ MPa
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 31475$ 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	35 kg/m <sup>3</sup>
Classe di assorbimento energetica minima	E700

### **8.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO**

Viene proposto l'utilizzo di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato e in calcestruzzo armato (full reinforcement) per le opere a carattere definitivo. Per le informazioni relative ai conci in calcestruzzo fibro-rinforzato si rimanda all'elaborato IB0U1BEZZCLGN0300002, mentre per i conci in calcestruzzo armato si fa riferimento all'elaborato IB0U1BEZZCLGN0300001.

Come citato, gli elementi saranno caratterizzati da una classe di resistenza C45/55, in calcestruzzo fibro-rinforzato e armati con barre in direzione circonferenziale (intradosso ed estradosso).

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	27 di 148

Si ipotizzano due diverse tipologie per le armature di rinforzo per i conci prefabbricati:

- Conci in calcestruzzo fibro-rinforzato "Conci di **Tipo 1**" (dalla pk 0+648):
  - Classe fibre: 4C
- Conci con armatura tradizionale "Conci di **Tipo 2**" (fino alla pk 0+648)
  - ferri circolari: 6+6  $\phi$ 14mm e 8+8  $\phi$ 12mm
  - staffatura corrente: tot.4 bracci  $\phi$ 10, passo 250mm

La staffatura corrente per i conci con armatura tradizionale è la minima prevista da normativa Rif. [1] al §4.1.6.1.1.

## 8.2 COPRIFERRO

Per le sezioni in calcestruzzo armato **Tipo 2** i copriferri netti (sul ferro più esterno), da realizzare al fine di garantire i limiti di apertura delle fessure per l'estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e per l'intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3) sono i minimi previsti dalla Circolare n.617/2009 Rif. [2] al §C4.1.6.1.3.

$C_{min}$	$C_o$	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 8-4: Copriferri minimi in mm, Circolare n.617/2009

Per limitare fenomeni di sbeccatura degli spigoli e di fessurazione dei conci si prescrive una tolleranza di posa di 5 mm così da ottenere un copriferro pari a 40 mm all'estradosso (classe XA2) e 40 mm all'intradosso (classe XC3).

**Cautelativamente si prevede un copriferro dello spessore pari a 50 mm.**

APPALTATORE: 	<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 28 di 148

## 9. ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE

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

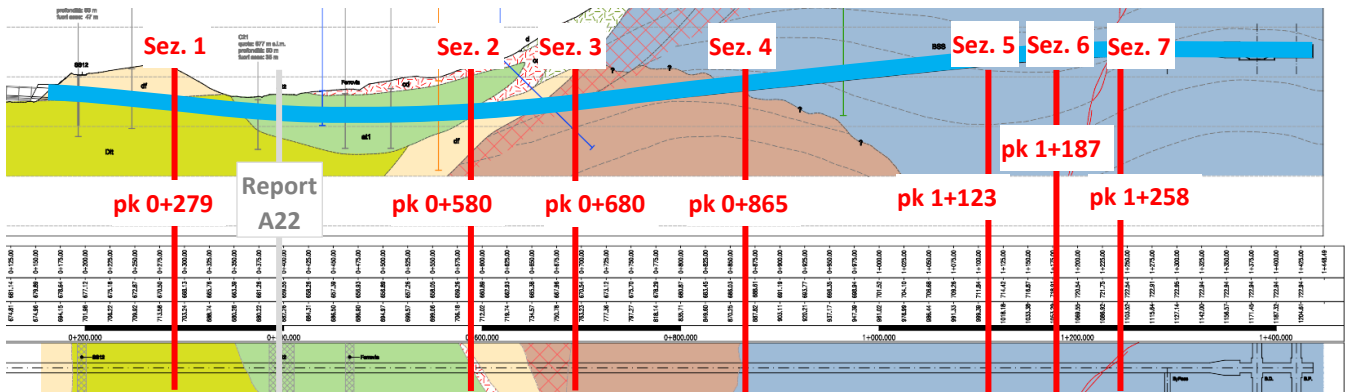


Fig. 9-1 sezioni di calcolo analizzate – Finestra di Forch

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 29 di 148

## 9.1 SEZIONE 1 KM. 0+279

### 9.1.1 Interazione galleria – terreno

In allegato si riportano le linee caratteristiche in fase di diagnosis e terapia ma, essendo la sezione di calcolo in terreni al di sotto dei tre diametri di copertura (bassa copertura), si è cautelativamente ipotizzato il rilascio del 100 % del carico litostatico sull'anello. Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 1 della Finestra di Forch.

Lo strato di depositi alluvionali è stato modellato con il criterio di resistenza Hardening Soil ( $m=0.5$ ).

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
df	35	-	20	0	40	70	0.357
Dlt	2	-	20	0	37	120	0.398

*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 9-1: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 30 di 148

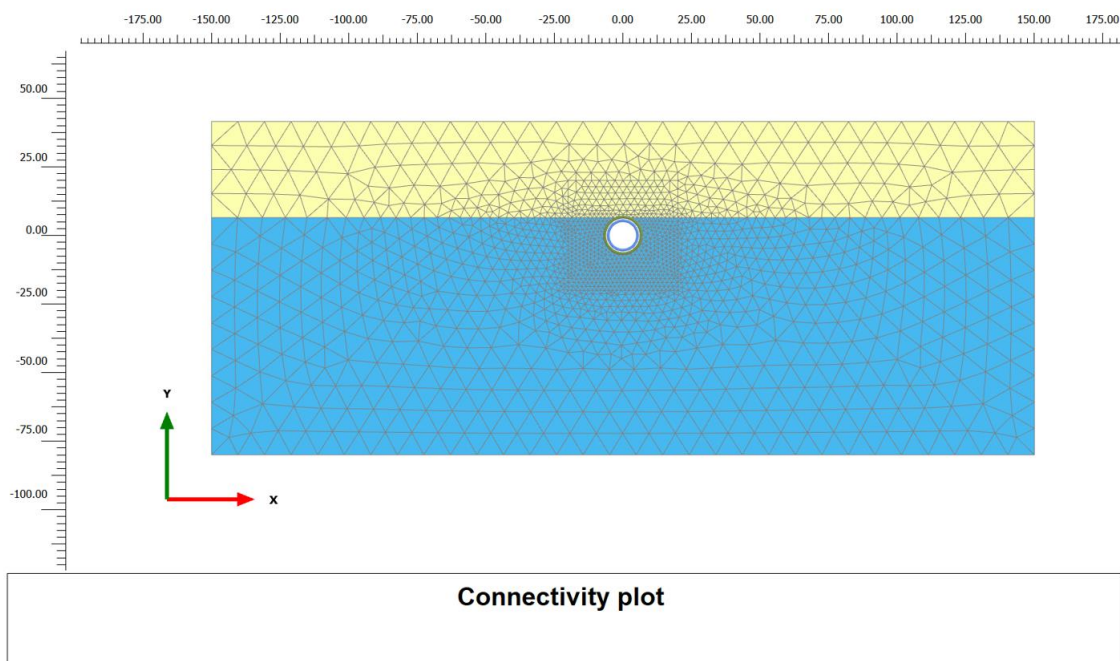


Figura 9–1: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 1

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.

Nelle sezioni in corrispondenza dei depositi alluvionali o glaciali, il dimensionamento dei conci prefabbricati è stato valutato nella condizione più sfavorevole e cioè andando ad applicare l'intero carico prodotto dal ricoprimento sugli elementi strutturali.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

- 1) Inizializzazione dello stato tensionale;
- 2) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati.

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8\text{m}$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

Fase 2	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-2063.67	169.31	-2.59	-4828.99	538.81	-6.06
<b>Nmin</b>	-3509.12	-104.36	5.29	-8211.33	-332.11	12.38

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 31 di 148

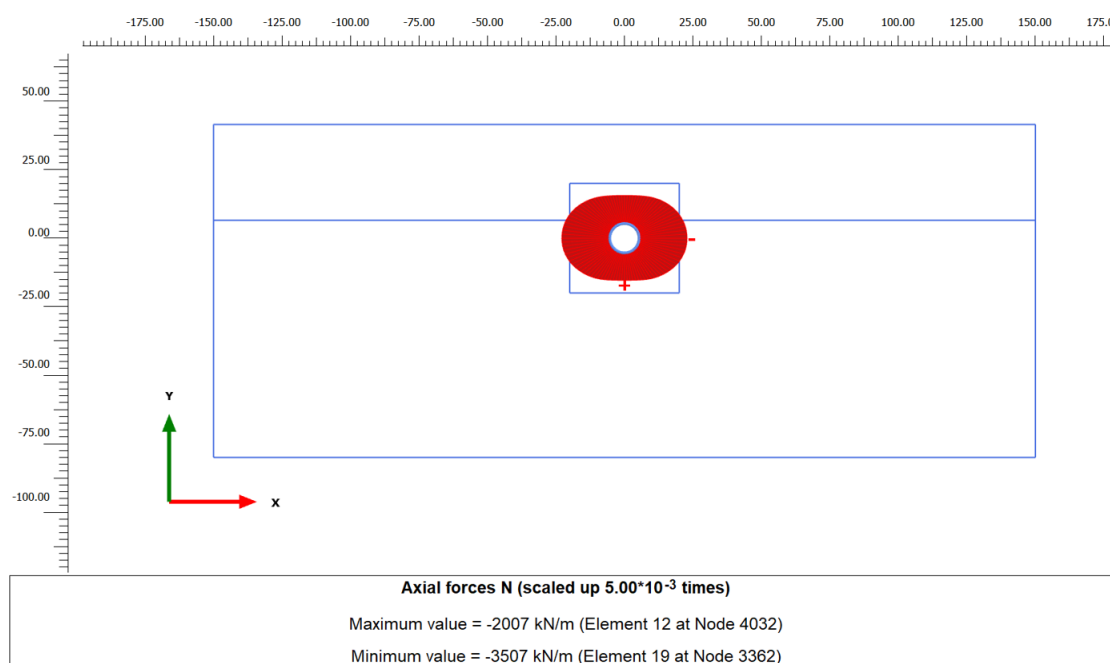
<b>Mmax</b>	-2070.69	169.99	-0.48	-4845.42	540.98	-1.11
<b>Mmin</b>	-3206.71	-149.20	0.25	-7503.69	-474.83	0.60
<b>Tmax</b>	-3373.32	-133.46	25.38	-7893.57	-424.73	59.40
<b>Tmin</b>	-2662.57	-4.47	-110.03	-6230.40	-14.21	-257.46

Tabella 9-2: Sollecitazioni sui conci – Sezione 1

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 S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 32 di 148

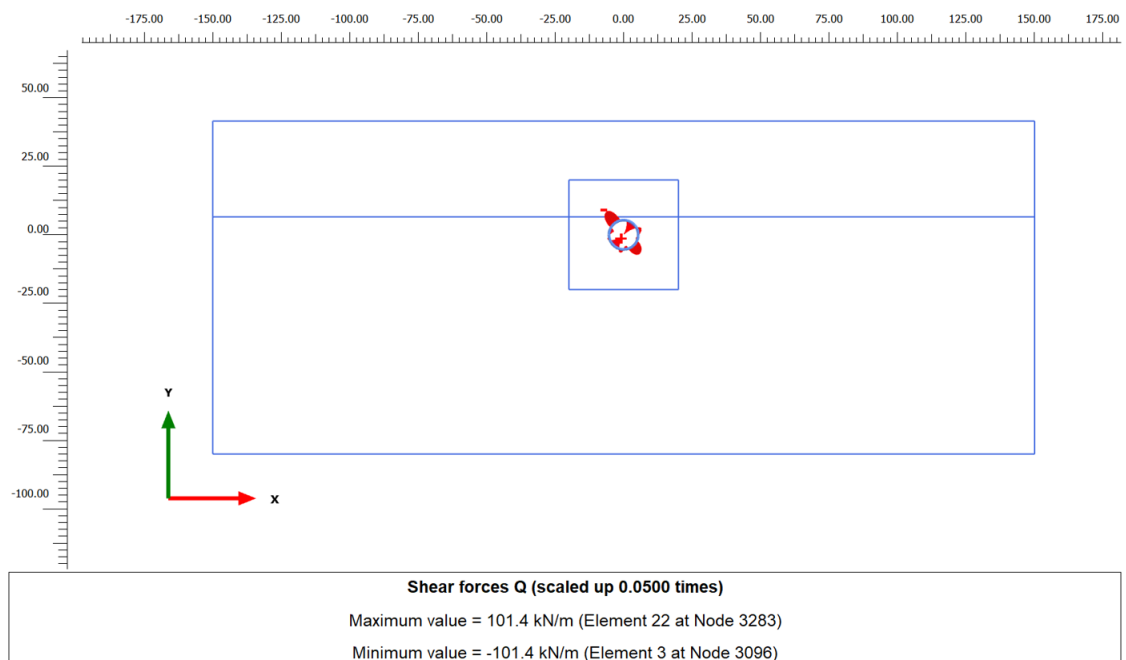
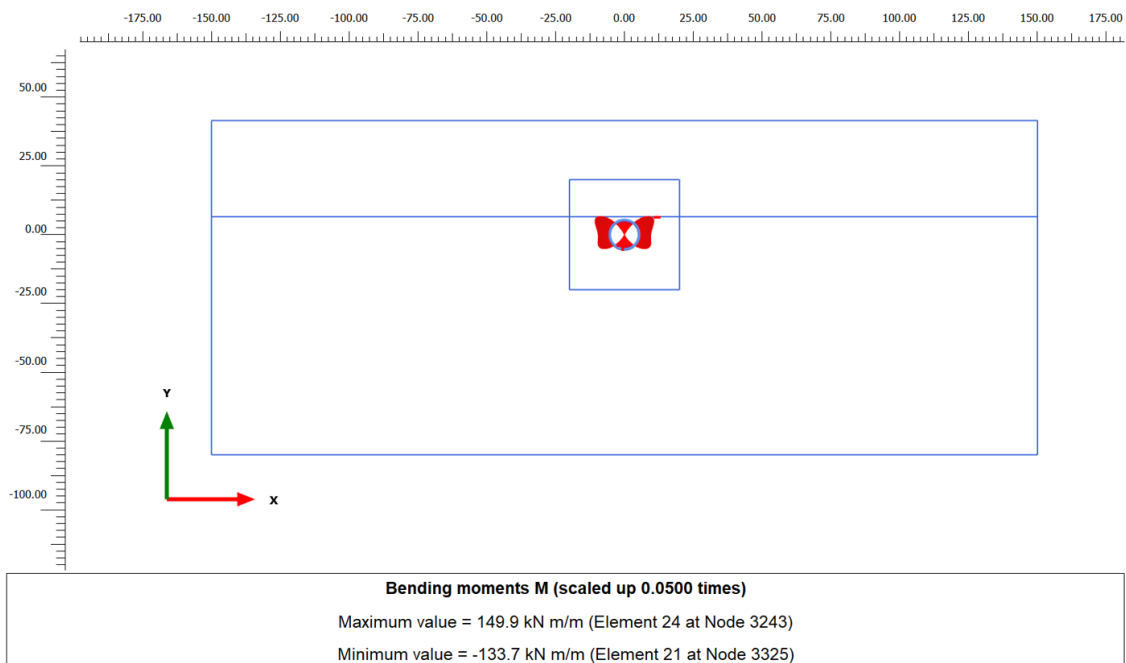


Figura 9–2: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 1.

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione del concio Tipo 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 33 di 148

### 9.1.2 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300001.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

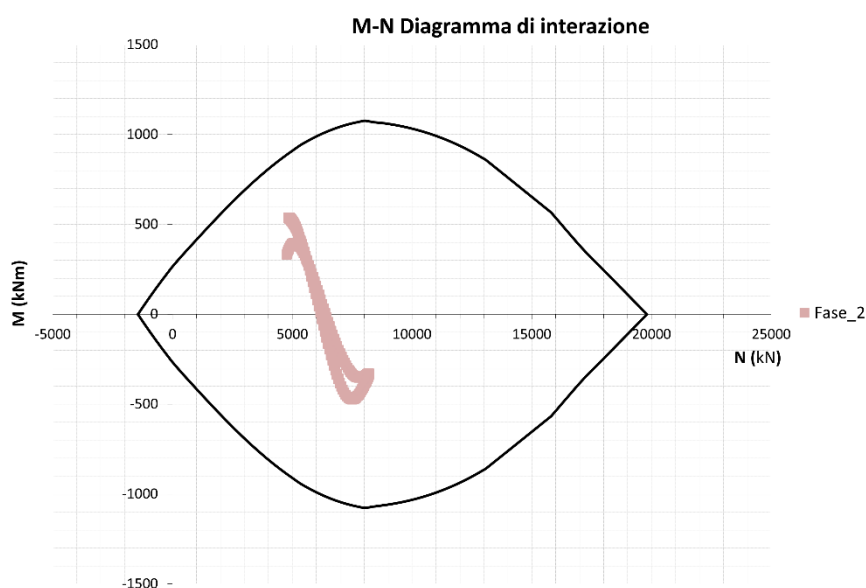


Figura 9-3: Dominio M-N Fase 2 – Sezione 1

#### **Verifica a taglio allo SLU**

Nella figura seguente si riportano le verifiche allo SLU delle sezioni più significative. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente pari ad 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo  $\theta$  che descrive l'anello, nella fase più critica.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 34 di 148

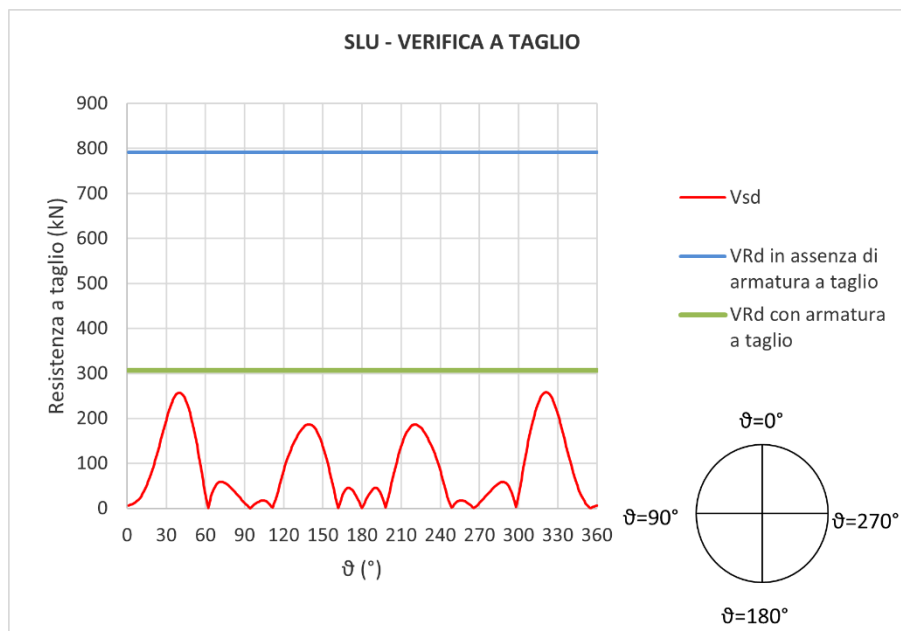


Figura 9-4: Verifica a taglio Fase 2 – Sezione 1

### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.2$  mm in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e pari a  $w_k=0.30$  mm in intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3), in accordo con quanto prescritto dalla Norma vigente ed una tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in accordo con quanto previsto dal DM 14/01/2008 (cfr. 10.2) Rif. [1].

Il copriferro netto (sul ferro più esterno) considerato nelle verifiche che seguono è assunto pari a 4 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 35 di 148

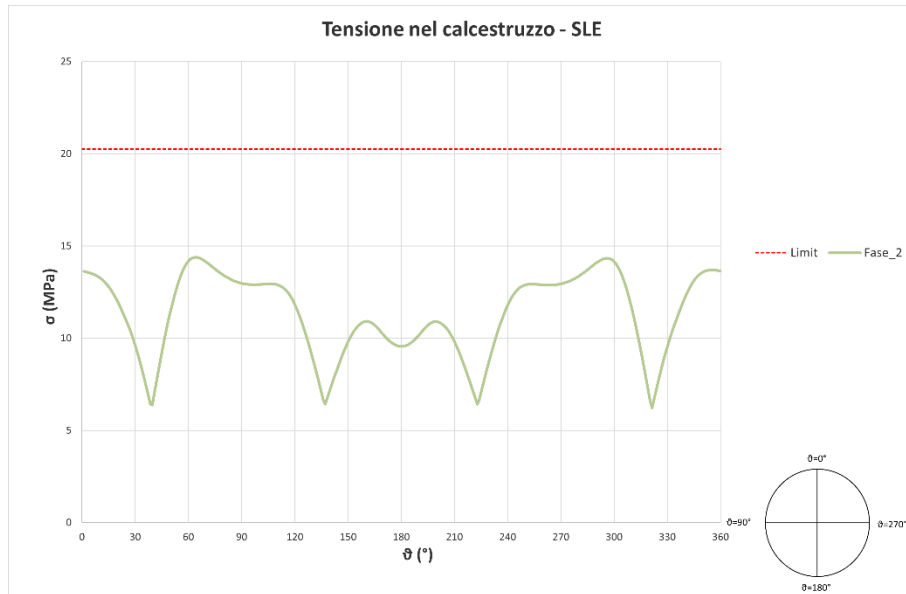


Figura 9–5: Stato tensionale sul calcestruzzo Fase 2 – Sezione 1

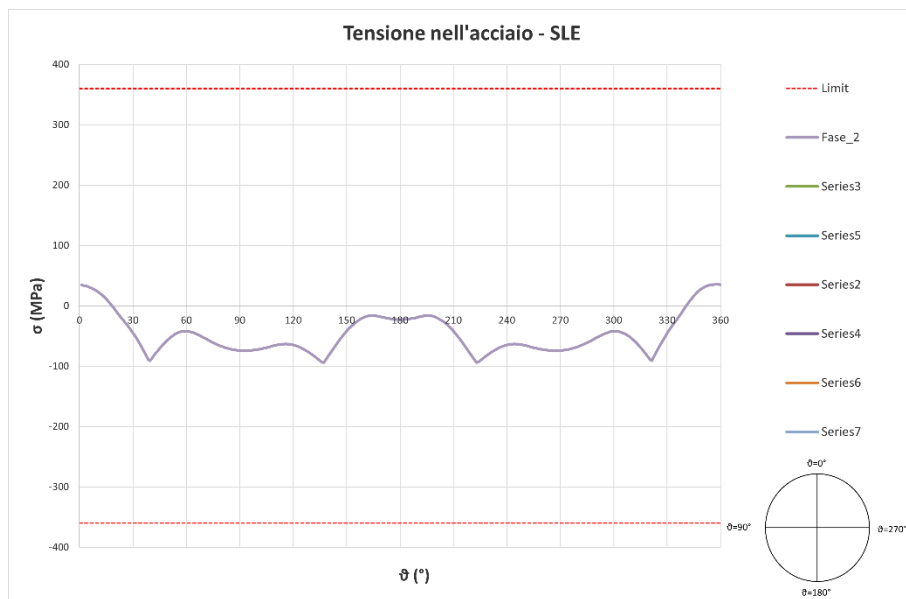


Figura 9–6: Stato tensionale acciaio Fase 2 – Sezione 1

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 36 di 148

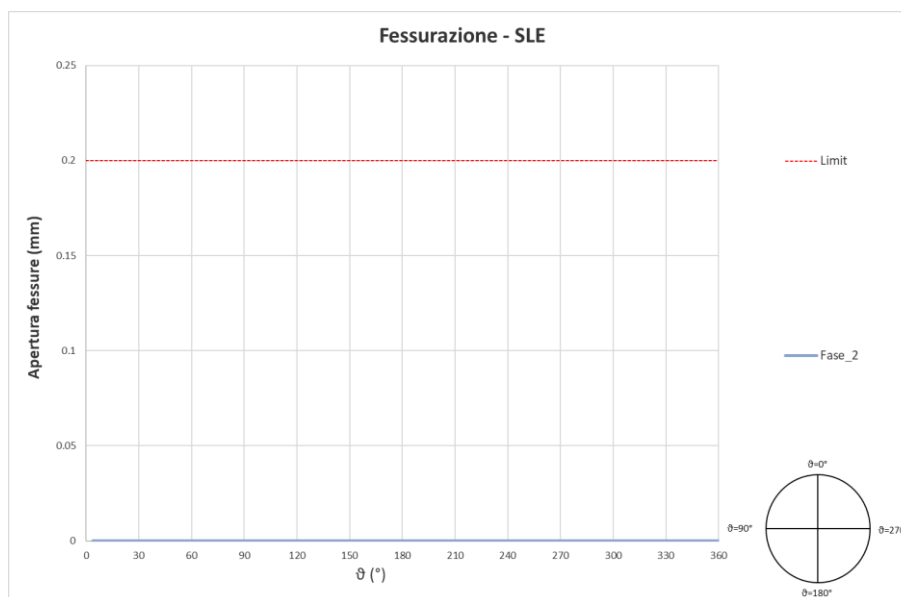


Figura 9-7: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 1

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

### **Verifica Sismiche dei conci**

L'analisi di interazione opera-terreno è stata condotta anche nei confronti dell'azione sismica, mediante approccio semplificato pseudo-statico. L'analisi è stata eseguita in riferimento alla sezione trasversale della galleria considerando la deformazione tangenziale  $\gamma$  prodotta dall'azione sismica e trascurando l'interazione cinematica tra il rivestimento ed il terreno. La deformazione è quindi utilizzata per stimare gli incrementi di sollecitazione sul rivestimento della galleria, tramite soluzioni analitiche in forma chiusa. La tensione tangenziale massima agente alla quota della galleria è stimata mediante la seguente espressione, ottenuta dall'equilibrio dinamico di una colonna di terreno:

$$\tau_{max} = \sigma_v(z) \cdot r_d(z) \cdot \frac{a_{max,s}}{g}$$

dove:

- $\sigma_v(z)$ : tensione verticale totale alla profondità  $z$ ;
- $r_d(z)$ : fattore di attenuazione con la profondità che tiene conto del sincronismo del moto sismico assunto pari a:  $r_d(z) = 1 - 0.015z$  (Iwasaki et al., 1978); nell'equazione la profondità  $z$  è espressa in metri;
- $a_{max,s}$ : accelerazione massima in superficie ( $a_{max,s} = S \cdot a_g$ ).

La deformazione tangenziale massima del terreno alla quota della galleria è calcolata come:

$$\gamma_{max} = \frac{\tau_{max}}{G}$$

Il modulo di rigidità  $G$ , nell'ipotesi di analisi lineare, coincide con quello iniziale  $G_0$  (ricavato a partire dalle indagini geofisiche a disposizione).

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 37 di 148

Si riportano nel seguito i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica:

Sezione	1
Formazione	Dlt
Copertura	38
$T_R$	1898
$a_g/g$	0.07
Categoria di sottosuolo	B
$S_s$	1.2
Categoria topografica	T1
$S_T$	1.0
$a_{max}/g$	0.085

Tabella 9-3: Parametri per la definizione dell'azione sismica per la sezione 1

Per la galleria naturale è stata considerata una vita nominale VN pari a 100 anni e una classe d'uso IV, a cui corrisponde il coefficiente Cu pari a 2.0 (§ 2.4.2, DM 17/01/2008).

Gli incrementi di sollecitazione sono stati stimati con le soluzioni analitiche proposte da Wang (Rif. [10]) riferite al caso di galleria circolare in semispazio omogeneo ed isotropo nell'ipotesi, a favore di sicurezza, di perfetta aderenza ("no-slip") all'interfaccia tra rivestimento e terreno.

La soluzione di Wang presenta le seguenti ipotesi:

- suolo definito come mezzo infinito, elastico, omogeneo e isotropo;
- rivestimento della galleria assimilato ad un tubo a pareti sottili;
- condizioni di aderenza e slittamento tra la galleria e il terreno.

Secondo la formulazione di Wang l'incremento delle sollecitazioni massime sul rivestimento della galleria è calcolato come segue:

$$N_{max} = \pm K_2 \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} R_l \gamma_{max}$$

$$M_{max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1 + \nu_m)} R_l^2 \gamma_{max}$$

$$\frac{\Delta D_{max}}{D} = \pm \frac{1}{3} K_1 F \gamma_{max}$$

$$K_1 = \frac{12(1 - \nu_m)}{2F + 5 - 6\nu_m}$$

$$K_2 = 1 + \frac{F[(1 - 2\nu_m) - (1 - 2\nu_m)C] - \frac{1}{2}(1 - 2\nu_m)^2 + 2}{F[(3 - 2\nu_m) + (1 - 2\nu_m)C] + C\left[\frac{5}{2} - 8\nu_m + 6\nu_m^2\right] + 6 - 8\nu_m}$$

In cui  $k_1$  e  $k_2$  rappresentano i coefficienti di risposta.

I fattori di rigidezza a compressione e flessione che compaiono nelle espressioni di Wang sono i 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 38 di 148	

$$C = \frac{E_m(1 - \nu_l^2)R_l}{E_l t(1 + \nu_m)(1 - 2\nu_m)}$$

$$F = \frac{E_m(1 - \nu_l^2)R_l^3}{6E_l I_{l,1}(1 + \nu_m)}$$

in cui :

- $E_m$  rappresenta il modulo elastico dinamico del terreno;
- $\nu_m$  rappresenta il coefficiente di Poisson del terreno;
- $R_l$  è il raggio nominale della galleria;
- $E_l$  è il modulo elastico del calcestruzzo costituente il rivestimento;
- $\nu_l$  è il coefficiente di Poisson del calcestruzzo;
- $I_{l,1}$  è il momento di inerzia del rivestimento;
- $t_l$  è lo spessore dell'anello.

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'incremento delle sollecitazioni:

Sezione	$R_l$ (m)	$E_m$ (kPa)	$\nu_m$ (-)	$E_l$ (kPa)	$\nu_{CLS}$ (-)	$t_l$ (m)	$I_l$ (m <sup>4</sup> /m)	$\gamma_{max}$ (-)
1	5.53	600000	0.3	31447000	0.15	0.40	0.0053	9.23E-05

Tabella 9-4: Parametri per la definizione dell'incremento delle sollecitazioni

Sezione	C	F	K2	K1	$\Delta N$ (kN)	$\Delta M$ (kNm)
1	0.48	68.65	1.089	0.06	$\pm 124.0$	$\pm 12.1$

Tabella 9-5: Valori dei coefficienti adimensionali ed incremento delle sollecitazioni dovute al sisma

Si riportano di seguito allo SLV, i valori delle sollecitazioni di calcolo in condizioni sismiche sono stati ottenuti aggiungendo alle sollecitazioni della combinazione SLE il massimo valore dell'incremento dovuto all'effetto sismico (scorrimento impedito) secondo le combinazioni seguenti:

- 1)  $N + \Delta N_{sisma}$  e  $M + \Delta M_{sisma}$ ;
- 2)  $N - \Delta N_{sisma}$  e  $M + \Delta M_{sisma}$ .

APPALTATORE:		<b>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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 39 di 148

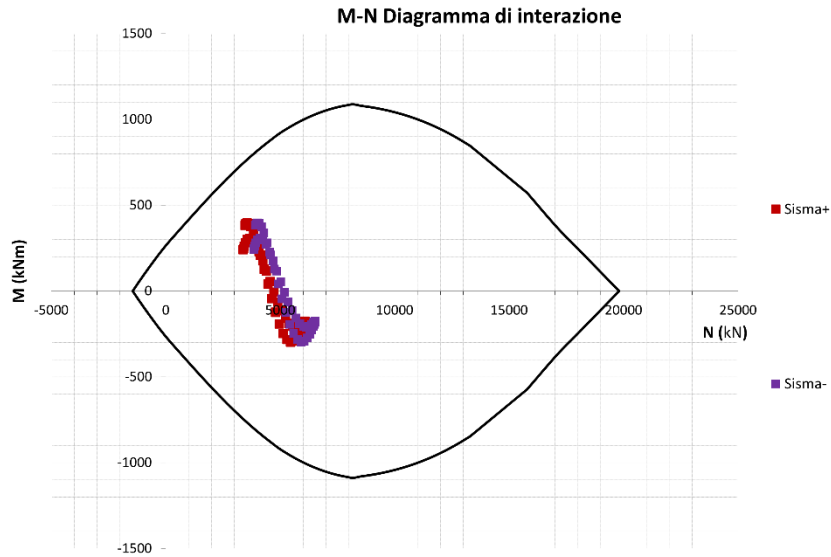


Figura 9–8: Dominio M-N verifiche sismiche

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 40 di 148

## 9.2 SEZIONE 2 KM. 0+580

### 9.2.1 Interazione galleria - terreno

In allegato si riportano le linee caratteristiche in fase di diagnosis e terapis ma, essendo la sezione di calcolo in terreni al di sotto dei tre diametri di copertura (bassa copertura), si è cautelativamente ipotizzato il rilascio del 100 % del carico litostatico sull'anello. Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 2 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
at1	33	-	20	0	34	250	0.384

*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 9-6: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 2

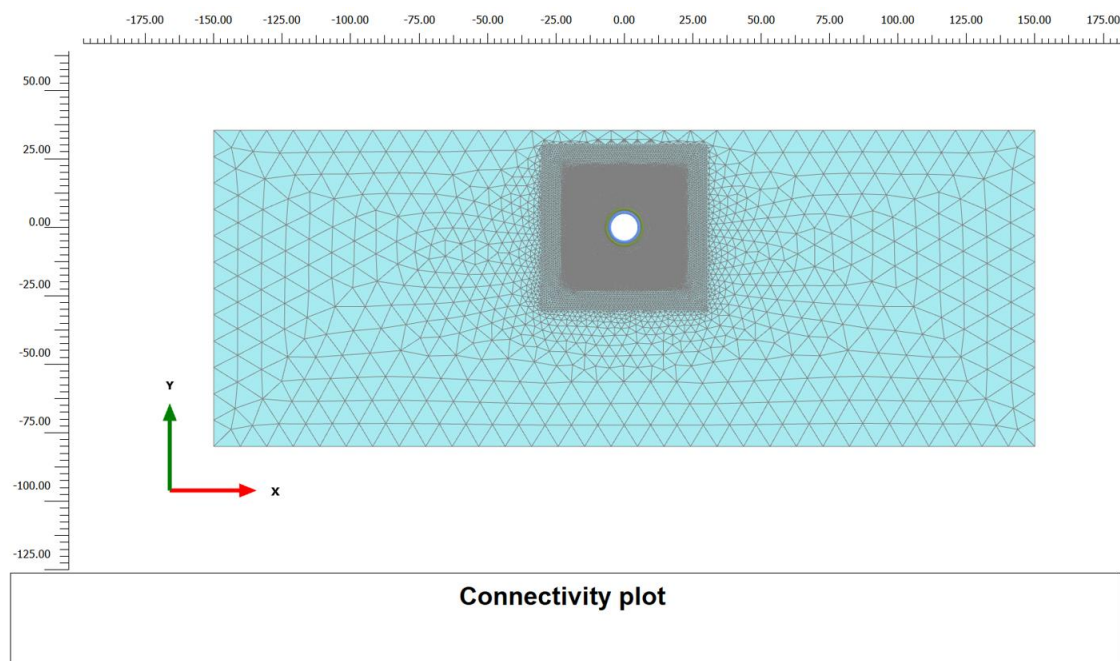


Figura 9-9: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 2

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



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	41 di 148

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.

Nelle sezioni in corrispondenza dei depositi alluvionali o glaciali, il dimensionamento dei conci prefabbricati è stato valutato nella condizione più sfavorevole e cioè andando ad applicare l'intero carico prodotto dal ricoprimento sugli elementi strutturali.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

- 1) Inizializzazione dello stato tensionale;
- 2) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati.

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8\text{m}$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

Fase 2	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-1563.45	21.34	0.00	-3658.47	67.92	0.01
<b>Nmin</b>	-2754.01	-32.75	4.11	-6444.39	-104.24	9.62
<b>Mmax</b>	-1726.83	47.81	1.43	-4040.79	152.15	3.35
<b>Mmin</b>	-2551.17	-54.03	-1.03	-5969.74	-171.95	-2.40
<b>Tmax</b>	-1631.65	37.25	21.04	-3818.05	118.55	49.23
<b>Tmin</b>	-2097.49	2.97	-36.08	-4908.12	9.45	-84.43

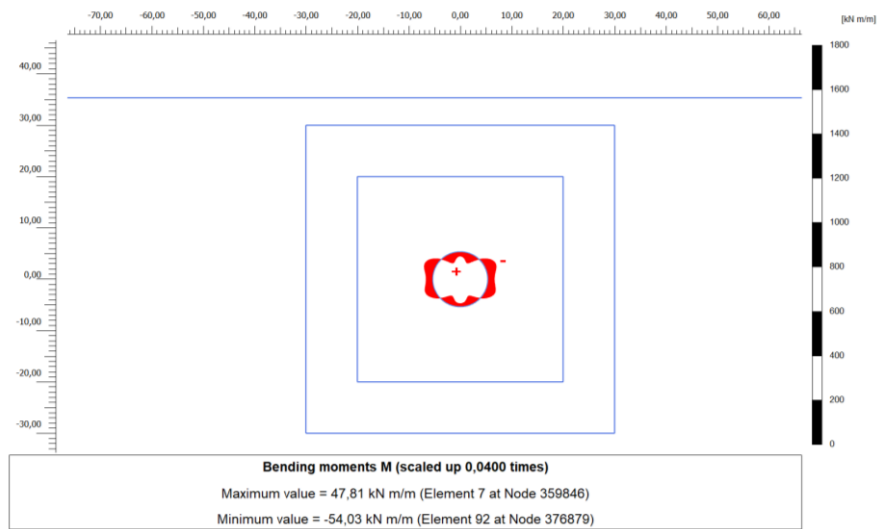
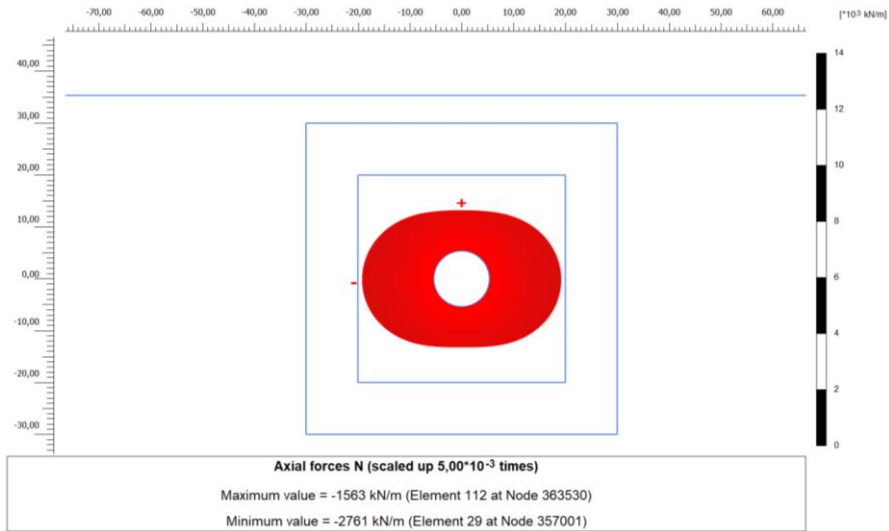
Tabella 9-7: Sollecitazioni sui conci – Sezione 2

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 S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 42 di 148



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 43 di 148

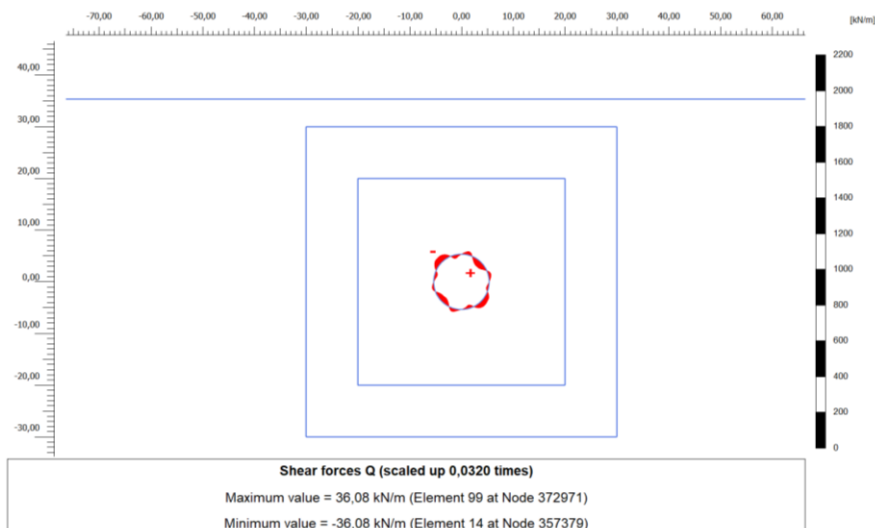


Figura 9–10: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 2.

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione del concio Tipo 2. Si riportano inoltre le verifiche svolte considerando un concio prefabbricato in calcestruzzo fibro-rinforzato Tipo 1.

### 9.2.2 Verifiche RC Tipo 2

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300001.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 44 di 148

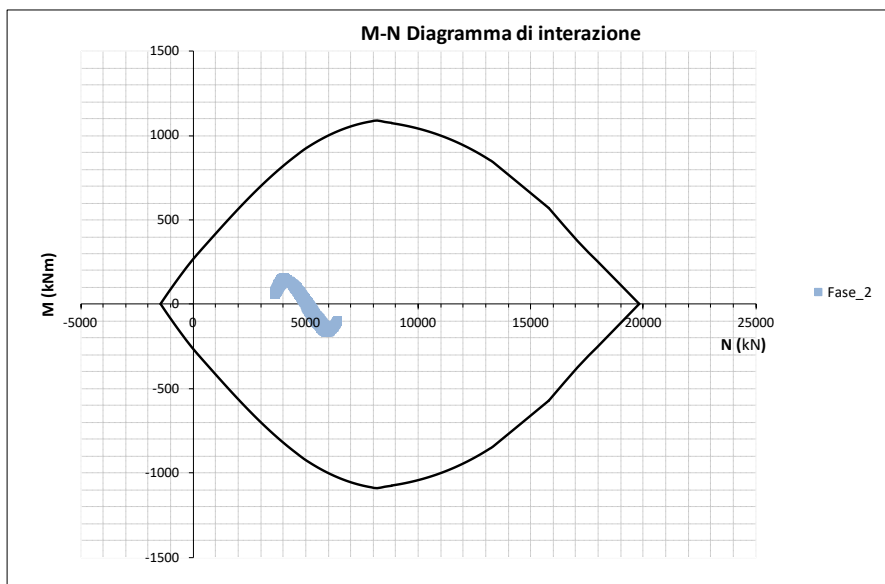


Figura 9–11: Dominio M-N Fase 2 – Sezione 2

### Verifica a taglio allo SLU

Nella figura seguente si riportano le verifiche allo SLU delle sezioni più significative. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente pari ad 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica. È stata verificata la sollecitazione di taglio, al variare dell'angolo  $\theta$  che descrive l'anello, nella fase più critica.

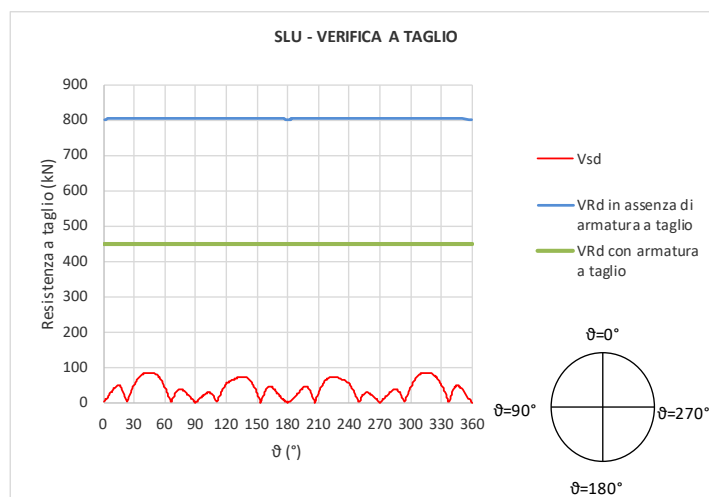


Figura 9–12: Verifica a taglio Fase 2 – Sezione 2

### Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.2$  mm in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e pari a  $w_k=0.30$  mm in intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3), in accordo con quanto prescritto dalla Norma

APPALTATORE:		<b>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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 45 di 148

vigente ed una tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in accordo con quanto previsto dal DM 14/01/2008 (cfr. 10.2) Rif. [1].

Il copriferro netto (sul ferro più esterno) considerato nelle verifiche che seguono è assunto pari a 4 cm.

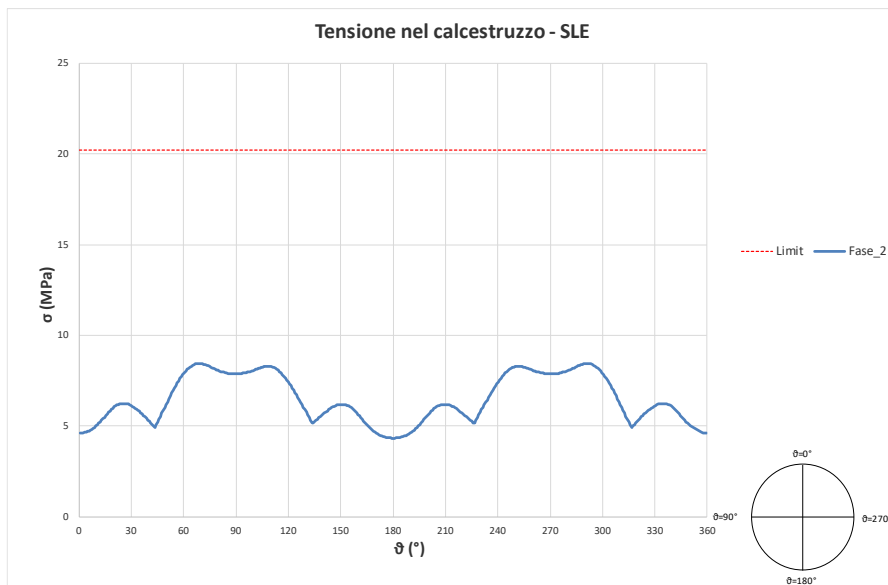


Figura 9–13: Stato tensionale sul calcestruzzo Fase 2 – Sezione 2

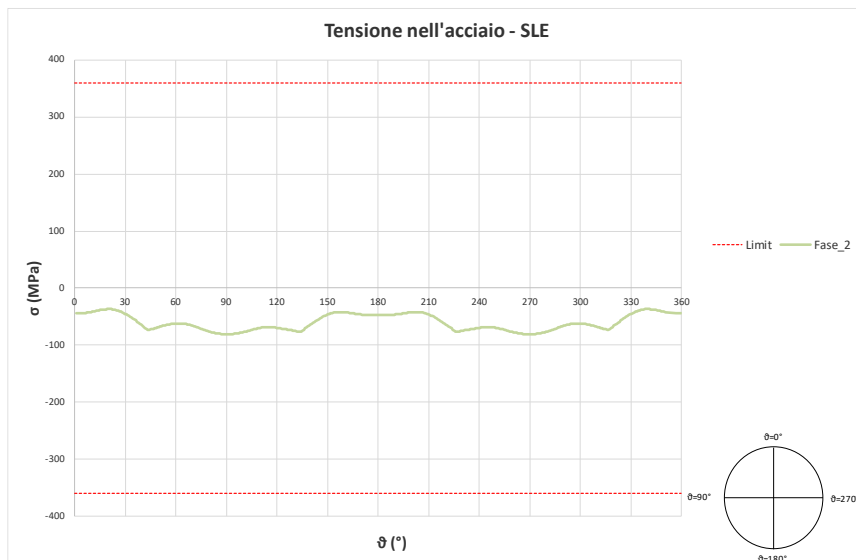


Figura 9–14: Stato tensionale acciaio Fase 2 – Sezione 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 46 di 148

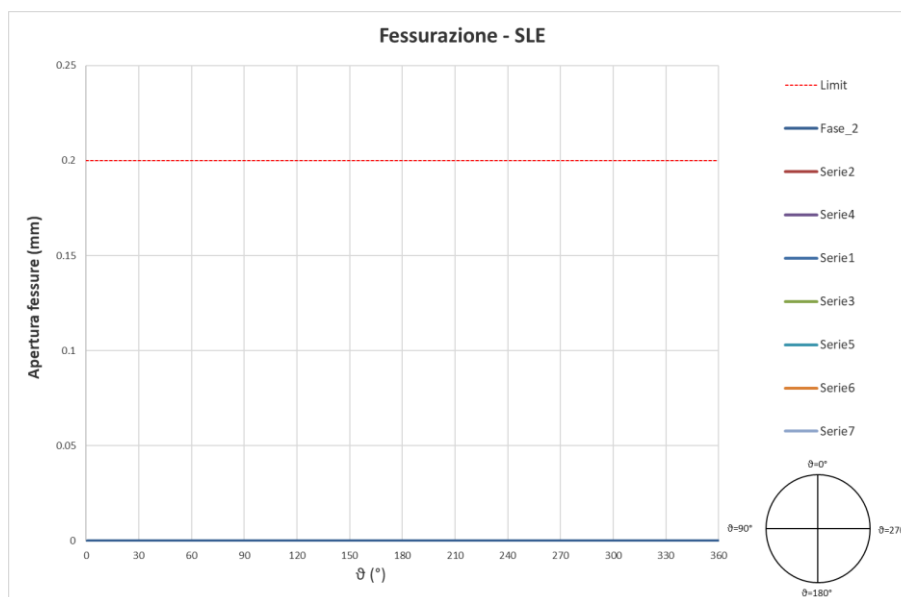


Figura 9–15: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 2

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

### Verifica Sismiche dei conci

Le verifiche sismiche vengono svolte come descritto al §9.1.2 utilizzando i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica di seguito definiti:

Sezione	2
Formazione	at1
Copertura	33
$T_R$	1898
$a_g/g$	0.07
Categoria di sottosuolo	B
$S_s$	1.2
Categoria topografica	T1
$S_T$	1.0
$a_{max}/g$	0.085

Tabella 9-8: Parametri per la definizione dell'azione sismica per la sezione 2

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'incremento delle sollecitazioni:

Sezione	$R_i$ (m)	$E_m$ (kPa)	$v_m$ (-)	$E_l$ (kPa)	$v_{cls}$ (-)	$t_i$ (m)	$I_i$ (m <sup>4</sup> /m)	$\gamma_{max}$ (-)
2	5.53	625000	0.3	31447000	0.15	0.40	0.0053	1.18E-04

Tabella 9-9: Parametri per la definizione dell'incremento delle sollecitazioni

Sezione	C	F	K2	K1	$\Delta N$ (kN)	$\Delta M$ (kNm)
2	0.50	71.51	1.085	0.057	$\pm 164.5$	$\pm 15.5$

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 47 di 148

Tabella 9-10: Valori dei coefficienti adimensionali ed incremento delle sollecitazioni dovute al sisma

Si riportano di seguito allo SLV, i valori delle sollecitazioni di calcolo in condizioni sismiche sono stati ottenuti aggiungendo alle sollecitazioni della combinazione SLE il massimo valore dell'incremento dovuto all'effetto sismico (scorrimento impedito) secondo le combinazioni seguenti:

- 1)  $N + \Delta N_{\text{sisma}}$  e  $M + \Delta M_{\text{sisma}}$ ;
- 2)  $N - \Delta N_{\text{sisma}}$  e  $M + \Delta M_{\text{sisma}}$ .

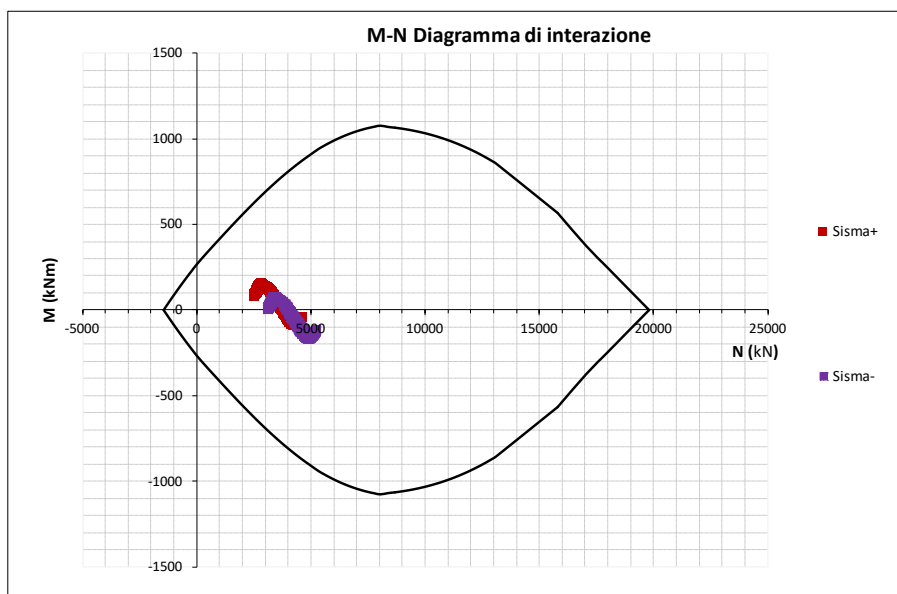


Figura 9-16: Dominio M-N verifiche sismiche

### 9.2.3 Verifiche FRC Tipo 1

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 48 di 148

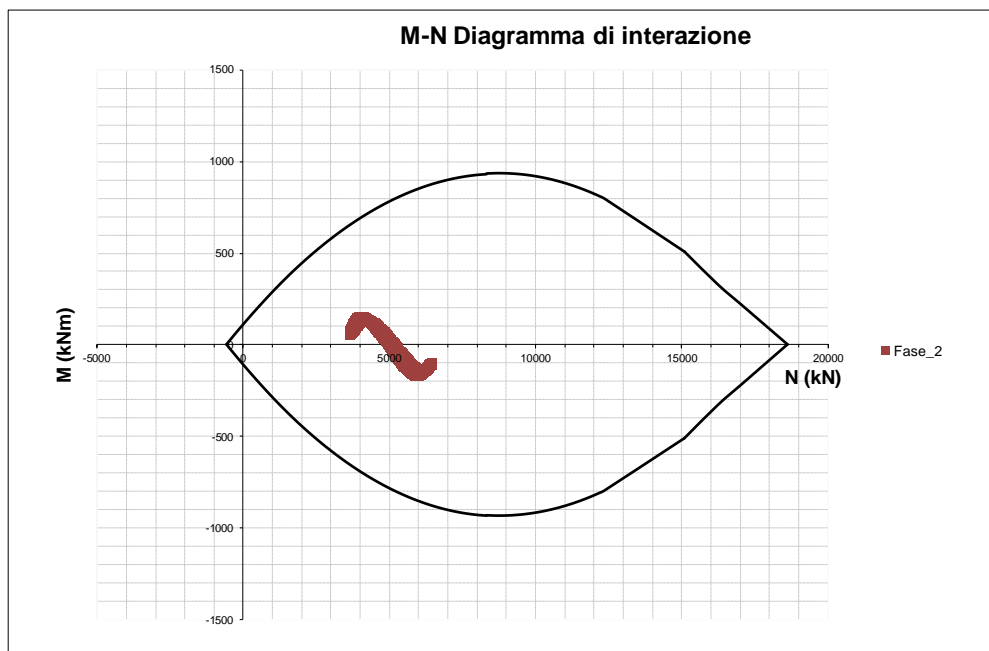


Figura 9–17: Dominio M-N Fase 2 – Sezione 2

### Verifica a taglio allo SLU

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{R3k} / \gamma_f \cdot bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 84.43 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

### Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linea Guida del CSLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 49 di 148

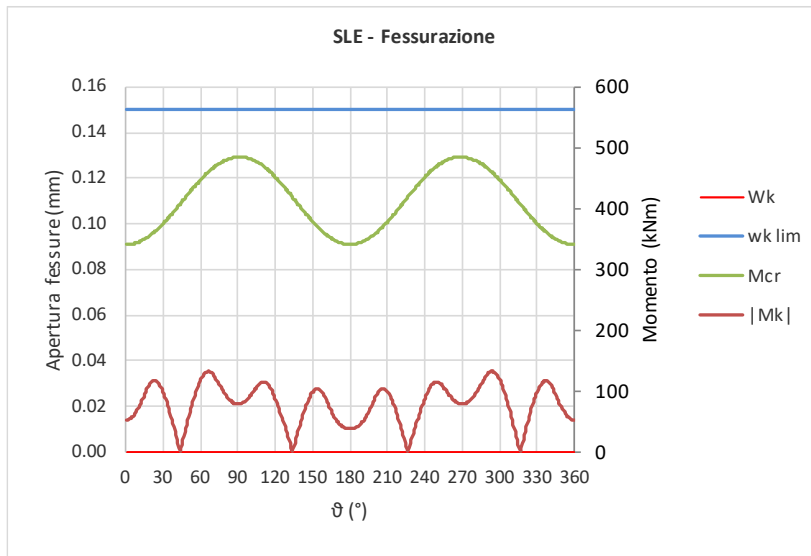


Figura 9-18: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 2

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

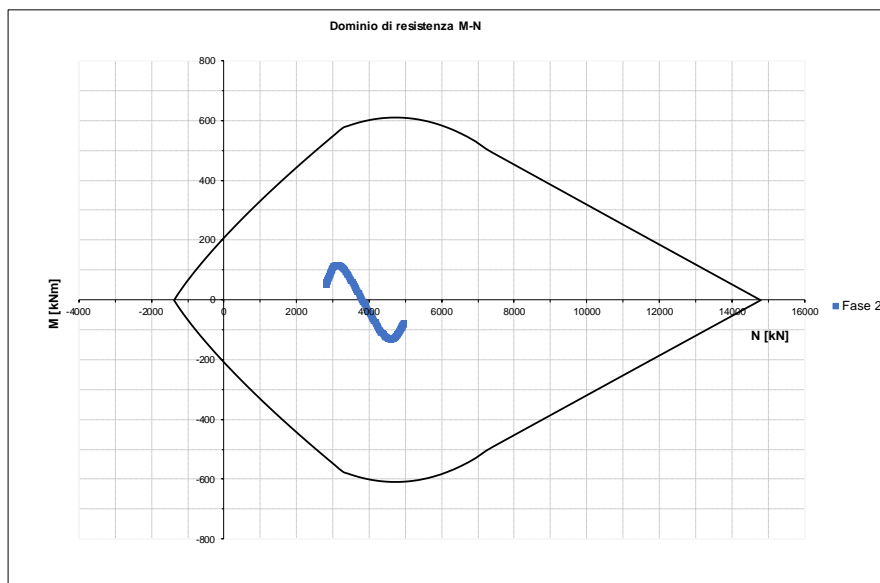


Figura 9-19: Dominio M-N Fase 2 - Sezione 2

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

### **Verifica Sismiche dei conci**

Le verifiche sismiche vengono svolte come descritto al §9.1.2 utilizzando i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica di seguito definiti:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 50 di 148

Sezione	2
Formazione	at1
Copertura	33
$T_R$	1898
$a_g/g$	0.07
Categoria di sottosuolo	B
$S_s$	1.2
Categoria topografica	T1
$S_T$	1.0
$a_{max}/g$	0.085

Tabella 9-11: Parametri per la definizione dell'azione sismica per la sezione 2

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati per il calcolo dell'incremento delle sollecitazioni:

Sezione	$R_i$ (m)	$E_m$ (kPa)	$\nu_m$ (-)	$E_l$ (kPa)	$\nu_{CLS}$ (-)	$t_i$ (m)	$I_i$ (m <sup>4</sup> /m)	$\gamma_{max}$ (-)
2	5.53	625000	0.3	31447000	0.15	0.40	0.0053	1.18E-04

Tabella 9-12: Parametri per la definizione dell'incremento delle sollecitazioni

Sezione	C	F	K2	K1	$\Delta N$ (kN)	$\Delta M$ (kNm)
2	0.50	71.51	1.085	0.057	$\pm 164.5$	$\pm 15.5$

Tabella 9-13: Valori dei coefficienti adimensionali ed incremento delle sollecitazioni dovute al sisma

Si riportano di seguito allo SLV, i valori delle sollecitazioni di calcolo in condizioni sismiche sono stati ottenuti aggiungendo alle sollecitazioni della combinazione SLE il massimo valore dell'incremento dovuto all'effetto sismico (scorrimento impedito) secondo le combinazioni seguenti:

- 1)  $N + \Delta N_{sisma}$  e  $M + \Delta M_{sisma}$ ;
- 2)  $N - \Delta N_{sisma}$  e  $M + \Delta M_{sisma}$ .

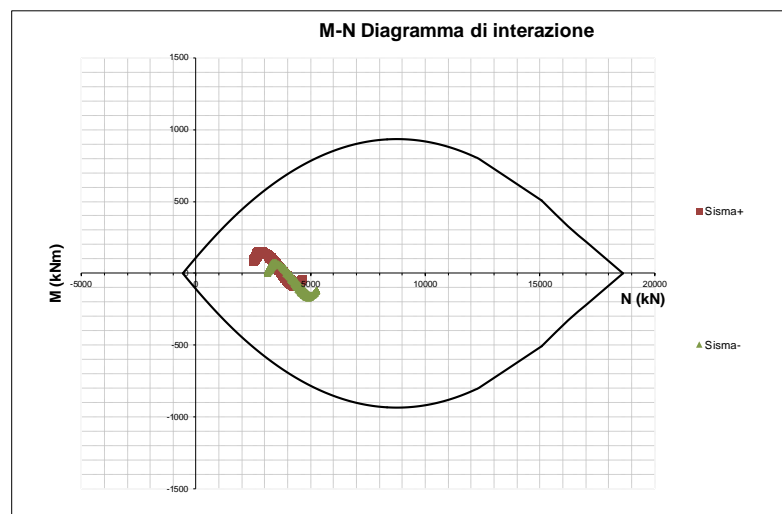


Figura 9-20: Dominio M-N verifiche sismiche

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 51 di 148

## 9.3 SEZIONE 3 KM. 0+680

### 9.3.1 Metodo delle curve caratteristiche

Al fine di definire quali siano le sollecitazioni agenti sul rivestimento in conci prefabbricati, si è fatto riferimento alla curva caratteristica per galleria scavata con fresa scudata utilizzando il programma di calcolo GV4, e assumendo un gioco radiale tra estradosso scudo e ammasso circostante pari a 3 cm. Inoltre, si è ipotizzata una lunghezza dello scudo pari a 12 m e, per ottenere delle sollecitazioni sufficientemente cautelative, si è supposto che l'intasamento dell'anello avvenga a una distanza dal fronte pari a 8.86 m (quindi immediatamente dietro lo scudo). Lo spessore dei conci prefabbricati è pari a 40 cm.

*Come si può osservare dall'output del programma di calcolo riportato in Allegato 1 (di cui nel seguito, in*

#### 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] ..... .002188
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.097590

```

```

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .000000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .000000
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00063
Convergenza radiale scudo [m] ..... .000000
Tensione scudo [MPa] ..... .000000
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .000000
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362
Rigidezza scudo [MPa] ..... 2815.00237

```

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

```

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .000000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .000000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03063
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03063
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .000000
Tensione CLS [MPa] ..... .000000
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.000000
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3030.79639
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999516

```

Figura 9–21, si riporta solo un breve stralcio) in questo caso né lo scudo né l'anello di rivestimento giungono mai in contatto con l'ammasso roccioso circostante. Pertanto, è stato considerato come rilascio tensionale in corrispondenza della posa in opera dell'anello in conci prefabbricati il valore che si verifica alla distanza di 8.86 m dal fronte e pari a  $\lambda = 0.999$ .

Si sottolinea che l'assenza del contatto scudo-ammasso circostante è visibile anche dalla curva caratteristica riportata in Allegato 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2					<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0300004</td> <td>C</td> <td>52 di 148</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	52 di 148
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	52 di 148													

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] .....	.002188
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	6.097590
-----	
FRESA SCUDATA	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	.000000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.000000
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.00063
Convergenza radiale scudo [m] .....	.000000
Tensione scudo [MPa] .....	.000000
Coefficiente di sicurezza scudo .....	.000000
Pressione rottura scudo [MPa] .....	2641.40362
Rigidezza scudo [MPa] .....	2815.00237
Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.	
-----	
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	.000000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.000000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.03063
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03063
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.000000
Tensione CLS [MPa] .....	.000000
Coefficiente di sicurezza CLS .....	1000000.00000
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.76753
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	3030.79639
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999516

Figura 9–21: Output programma di calcolo GV4

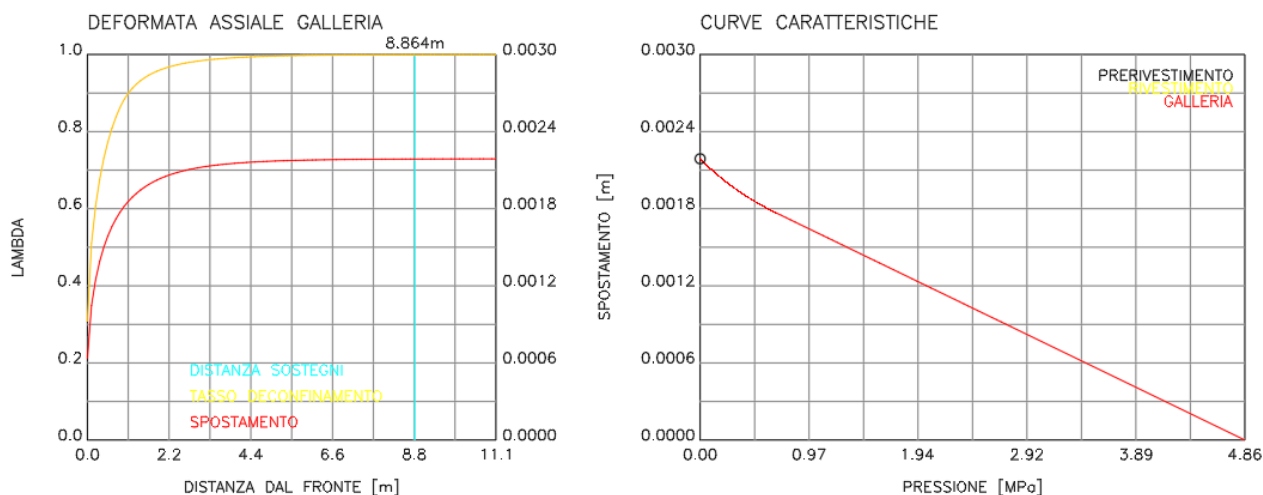


Fig. 9–22 – Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

### 9.3.2 Interazione galleria - terreno

Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 3 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>															
<b>08 - GALLERIE</b>	Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2					<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0300004</td> <td>C</td> <td>53 di 148</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	53 di 148
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	53 di 148													

Df	70	-	20	0	45	70	0.357
Zona detensionamento	5	-	25	380	41	1200	0.90
MPC	-20	-	27	975	42	12600	0.9

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

Tabella 9-14: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 3

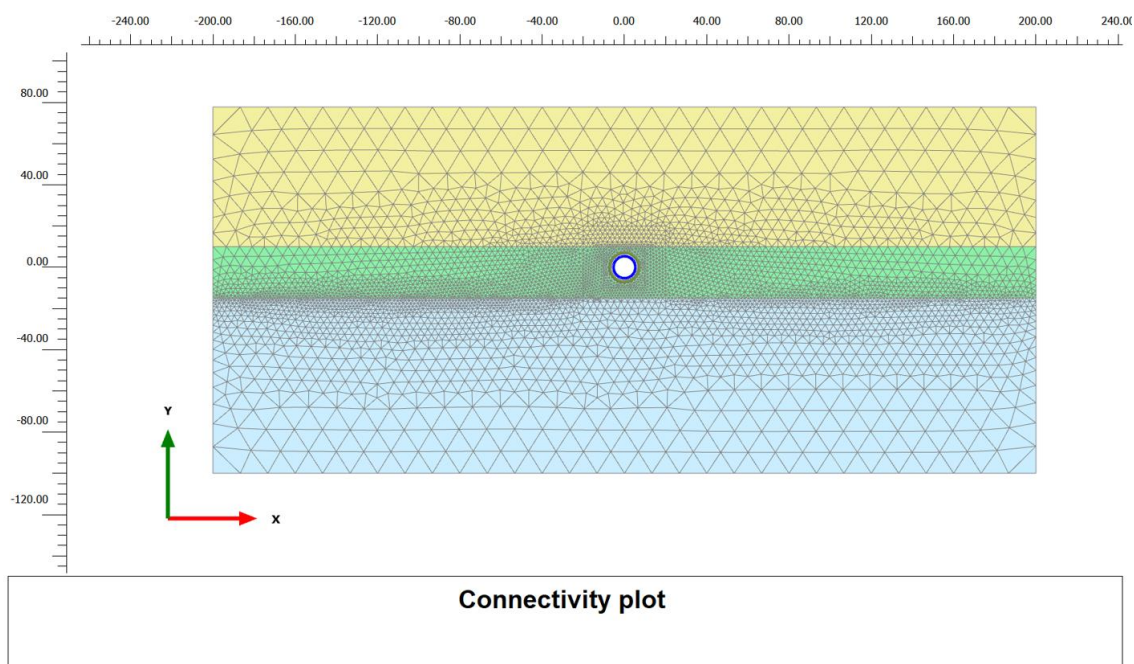


Figura 9-23: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 3

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;
- 2) Pre – convergenza del fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.9% ( $\lambda=0.999$ );
- 3) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 54 di 148

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8\text{m}$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

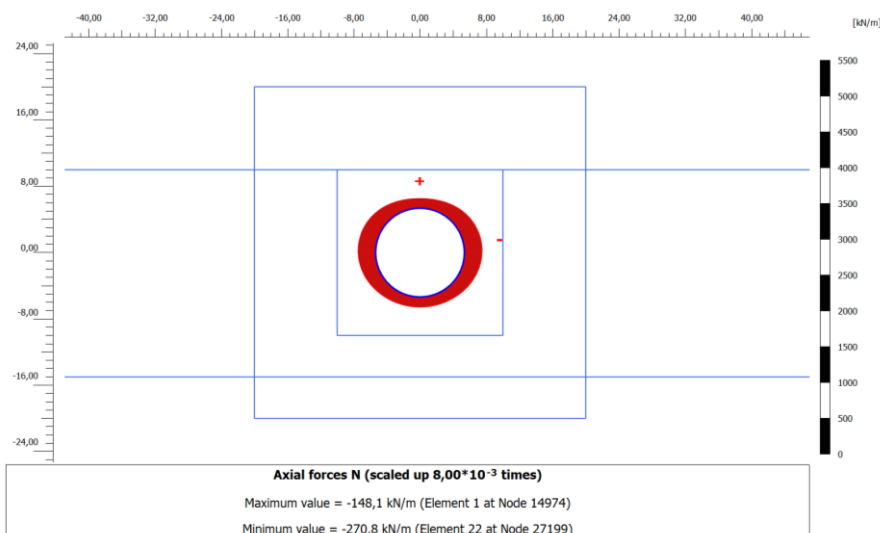
Fase 2	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-148.07	-0.31	0.29	-346.48	-1.00	0.67
<b>Nmin</b>	-270.83	-0.38	-0.04	-633.73	-1.22	-0.09
<b>Mmax</b>	-201.66	0.24	0.02	-471.89	0.76	0.06
<b>Mmin</b>	-254.88	-0.72	0.54	-596.41	-2.28	1.25
<b>Tmax</b>	-209.68	0.03	1.43	-490.65	0.08	3.35
<b>Tmin</b>	-186.84	-0.27	-1.27	-437.21	-0.86	-2.97

Tabella 9-15: Sollecitazioni sui conci – Sezione 3

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 S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 55 di 148

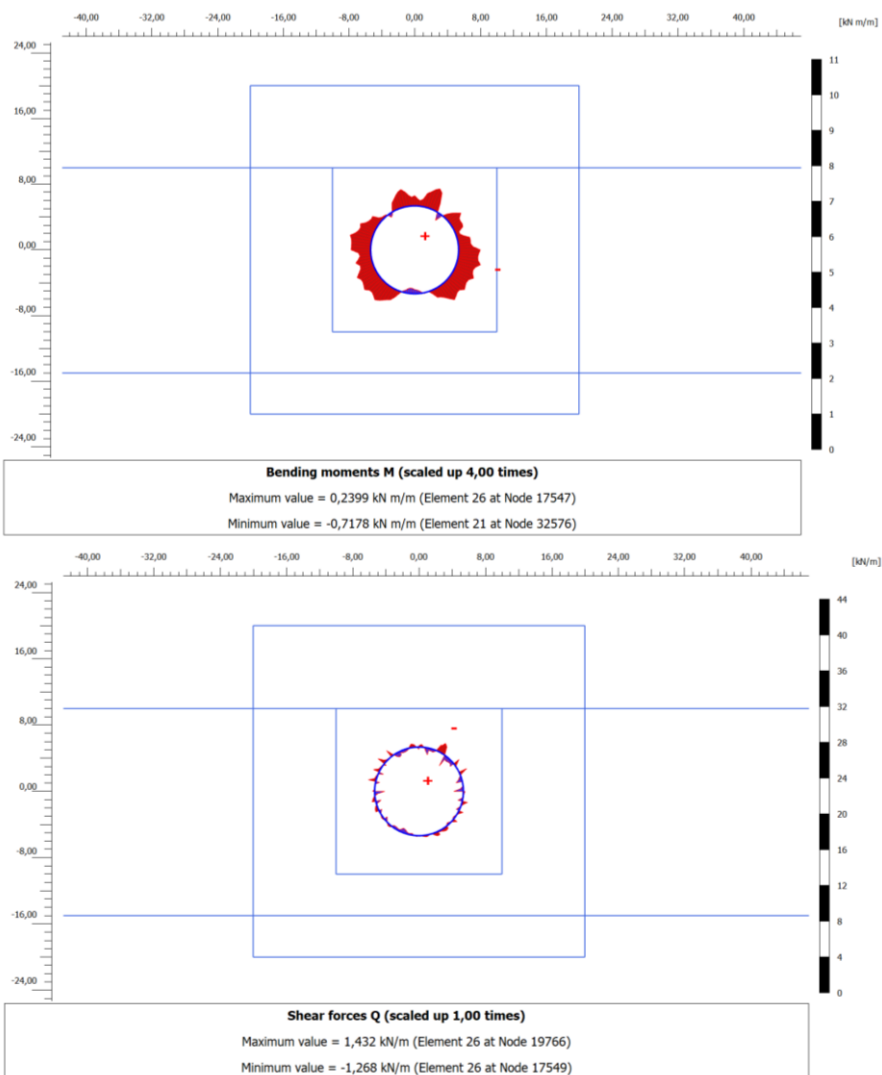


Figura 9–24: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 3

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato.

### 9.3.3 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 56 di 148

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

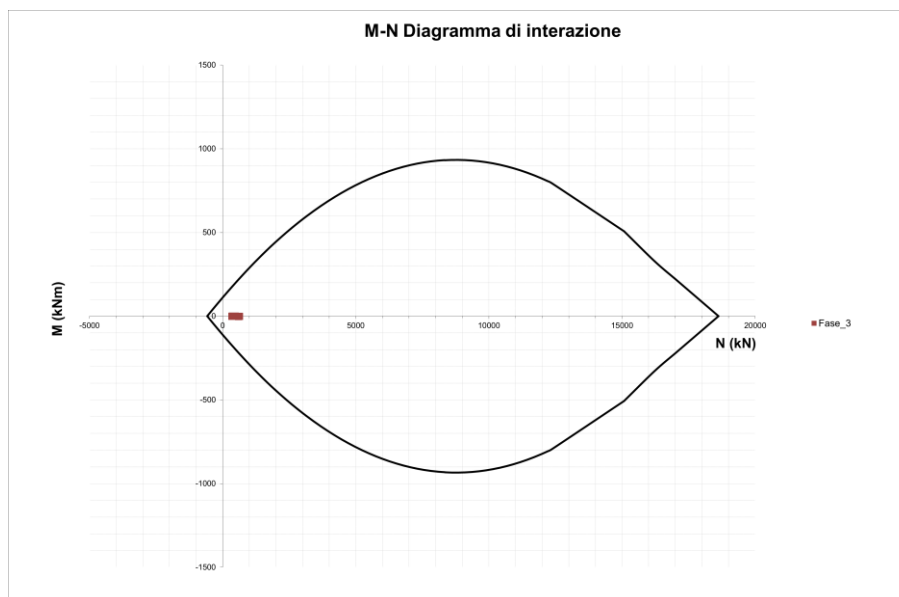


Figura 9–25: Dominio M-N Fase 2 – Sezione 3

### **Verifica a taglio allo SLU**

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{R3k} / \gamma_f \cdot \frac{3}{3} \cdot bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 3.35 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linea Guida del CSLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 57 di 148

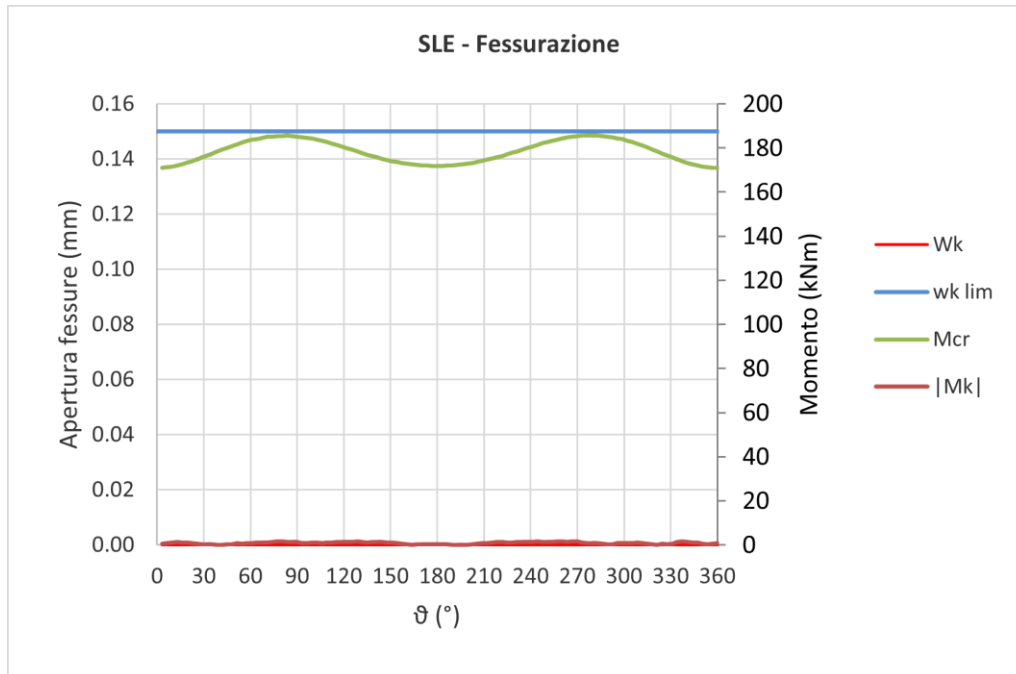


Figura 9-26: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 3

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

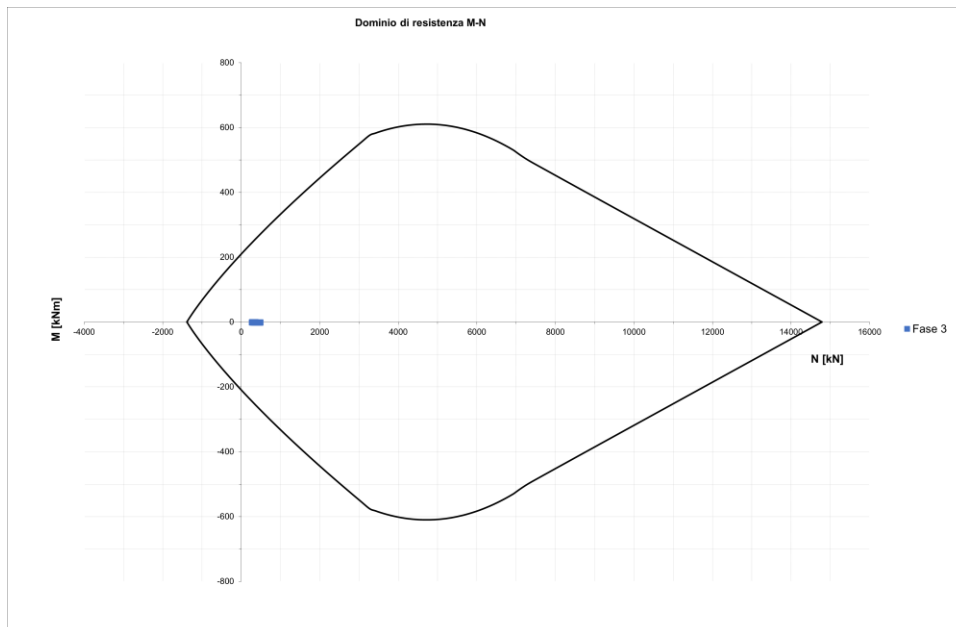


Figura 9-27: Dominio M-N Fase 2 - Sezione 3

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 58 di 148

## 9.4 SEZIONE 4 KM. 0+865

### 9.4.1 Metodo delle curve caratteristiche

Al fine di definire quali siano le sollecitazioni agenti sul rivestimento in conci prefabbricati, si è fatto riferimento alla curva caratteristica per galleria scavata con fresa scudata utilizzando il programma di calcolo GV4, e assumendo un gioco radiale tra estradosso scudo e ammasso circostante pari a 3 cm. Inoltre, si è ipotizzata una lunghezza dello scudo pari a 12 m e, per ottenere delle sollecitazioni sufficientemente cautelative, si è supposto che l'intasamento dell'anello avvenga a una distanza dal fronte pari a 8.86 m (quindi immediatamente dietro lo scudo). Lo spessore dei conci prefabbricati è pari a 40 cm.

Come si può osservare dall'output del programma di calcolo riportato in Allegato 1 (di cui nel seguito, in Figura 9–28, si riporta solo un breve stralcio) in questo caso ne lo scudo ne l'anello di rivestimento giungono mai in contatto con l'ammasso roccioso circostante. Pertanto, è stato considerato come rilascio tensionale in corrispondenza della posa in opera dell'anello in conci prefabbricati il valore che si verifica alla distanza di 8.86 m dal fronte e pari a  $\lambda = 0.999$ .

Si sottolinea che l'assenza del contatto scudo-ammasso circostante è visibile anche dalla curva caratteristica riportata in Allegato 1.

#### 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] .....	.002188
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	6.097590
FRESA SCUDATA -----	
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....	.00000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....	.00000
Spostamento al punto di equilibrio [m] .....	.00063
Convergenza radiale scudo [m] .....	.00000
Tensione scudo [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza scudo .....	.00000
Pressione rottura scudo [MPa] .....	2641.40362
Rigidezza scudo [MPa] .....	2815.00237
Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.	
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....	.00000
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.00000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.03063
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03063
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00000
Tensione CLS [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza CLS .....	1000000.00000
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.76753
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	3030.79639
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999516

Figura 9–28: Output programma di calcolo GV4

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 59 di 148

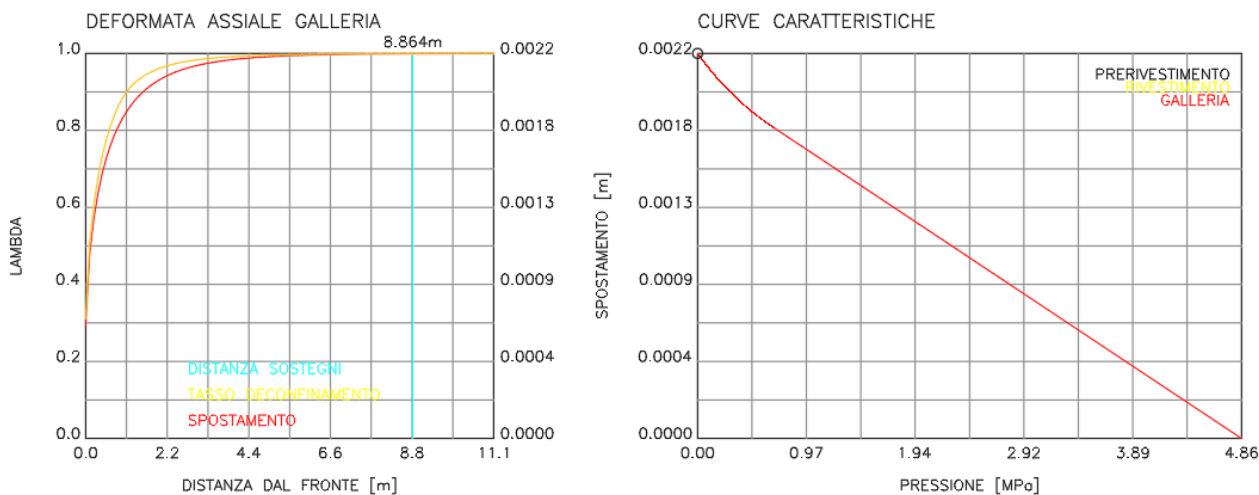


Fig. 9-29: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

#### 9.4.2 Interazione galleria - terreno

Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 4 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSS	180	-	27	1379	40	16300	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 9-16: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 4

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 60 di 148

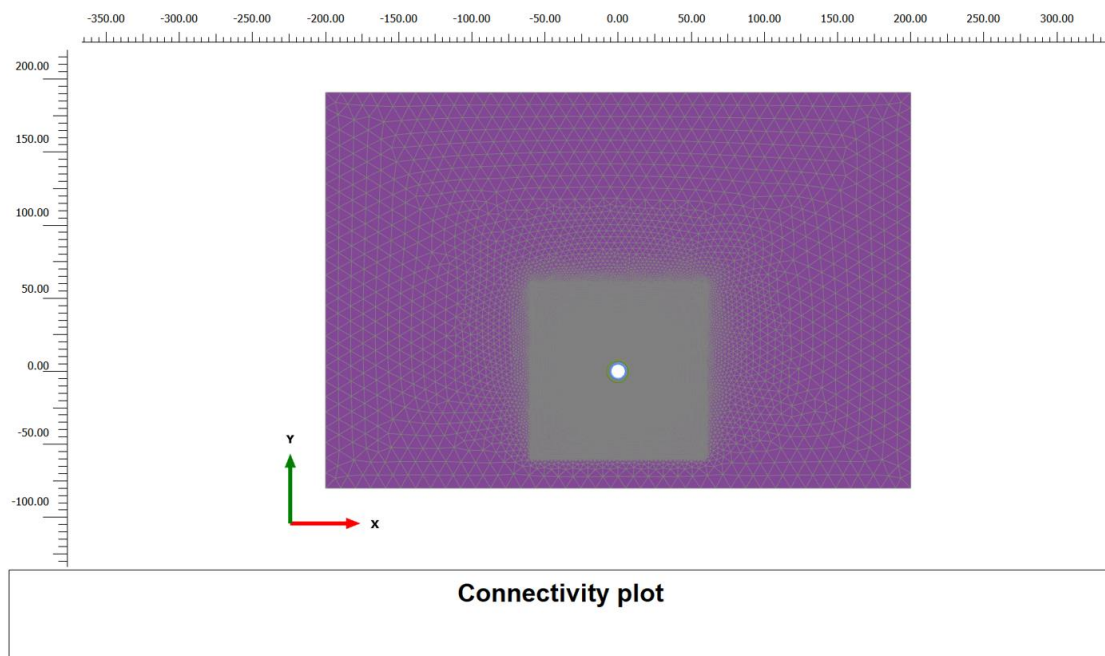


Figura 9–30: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 4

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;
- 2) Pre – convergenza del fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.9% ( $\lambda=0.999$ );
- 3) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati.

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8\text{m}$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

Fase 3	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-47.10	-0.09	-0.09	-110.21	-0.29	-0.21
<b>Nmin</b>	-81.12	-0.13	-0.06	-189.82	-0.41	-0.14
<b>Mmax</b>	-54.68	-0.05	-0.01	-127.95	-0.16	-0.02
<b>Mmin</b>	-66.84	-0.15	-0.01	-156.41	-0.48	-0.02

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 61 di 148

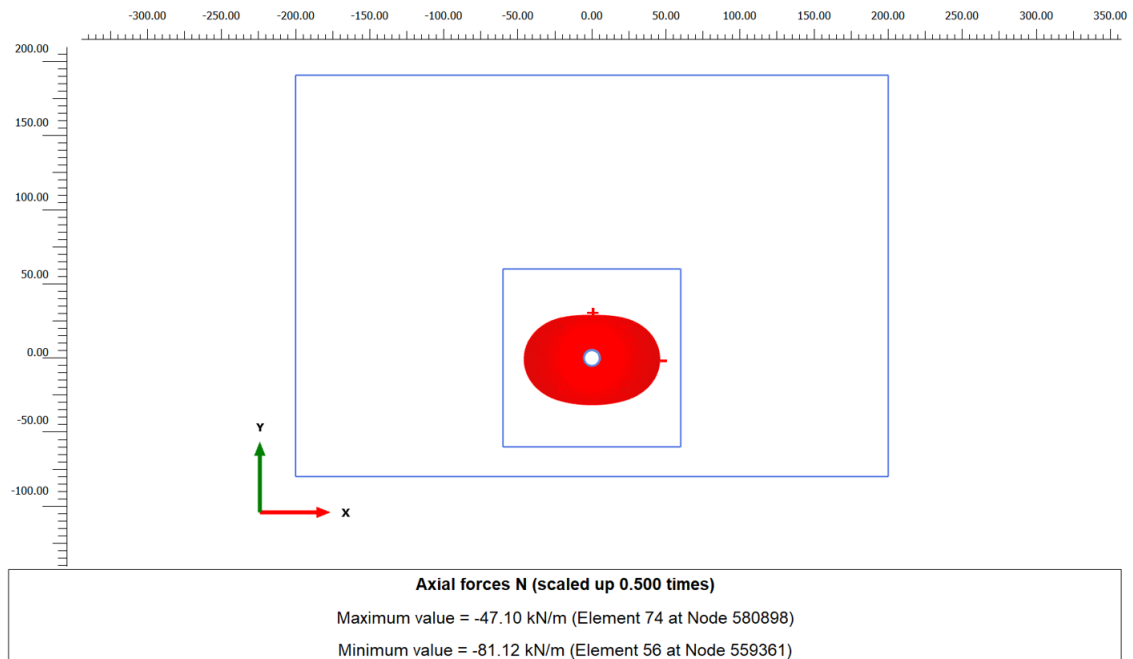
<b><i>Tmax</i></b>	-54.94	-0.06	0.19	-128.56	-0.19	0.44
<b><i>Tmin</i></b>	-54.92	-0.06	-0.19	-128.51	-0.19	-0.44

Tabella 9-17: Sollecitazioni sui conci – Sezione 4

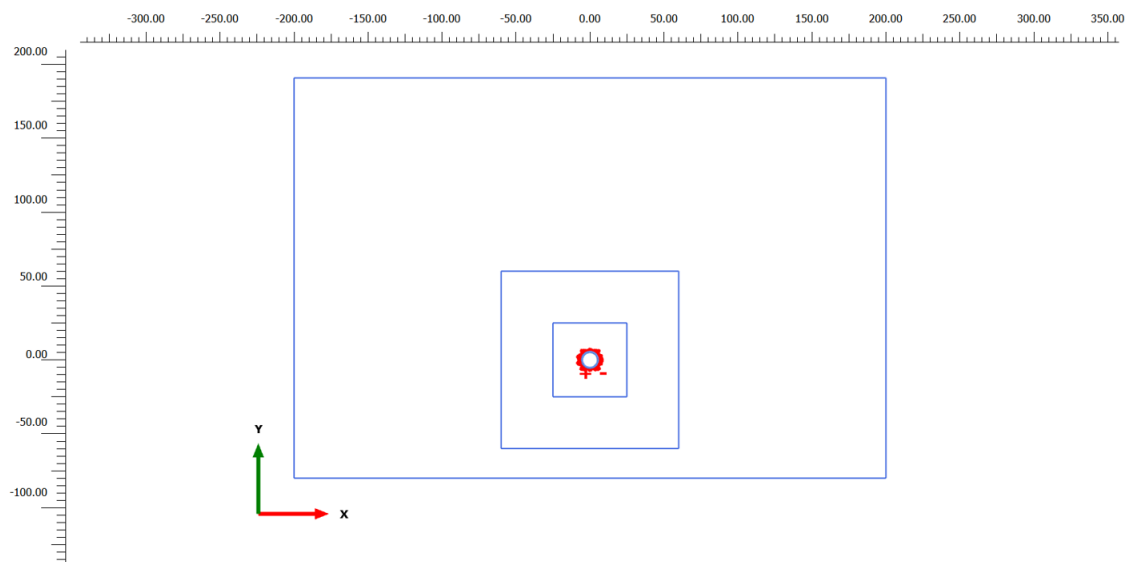
La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

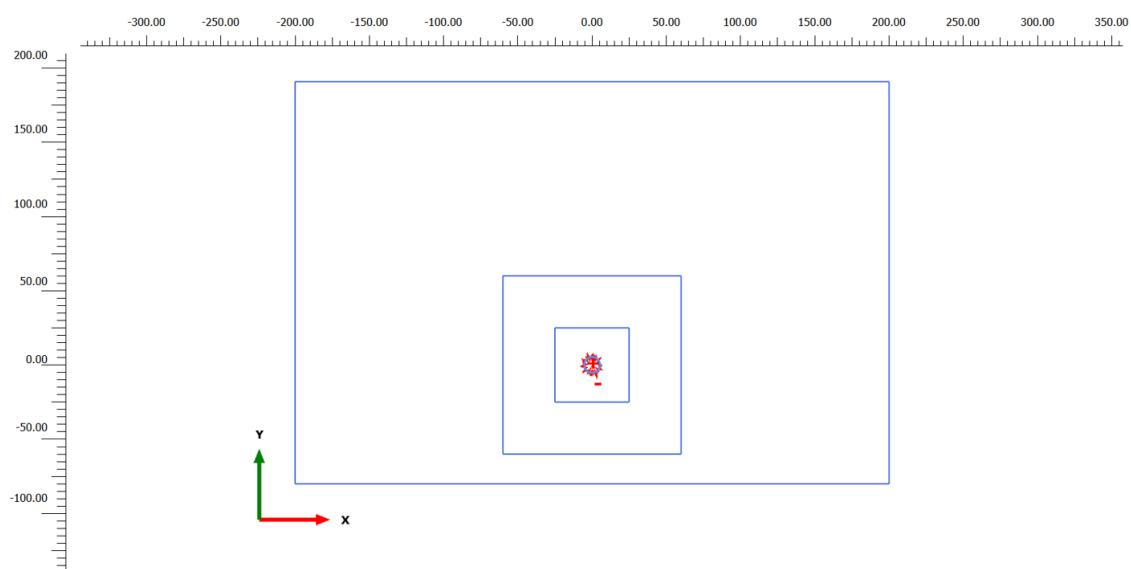
Si riportano di seguito i grafici relativi agli andamenti degli sforzi ottenuti dalla simulazione in Plaxis 2D:



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 62 di 148



**Bending moments M (scaled up 30.0 times)**  
Maximum value = -0.05117 kN m/m (Element 34 at Node 561509)  
Minimum value = -0.1458 kN m/m (Element 47 at Node 554864)



**Shear forces Q (scaled up 25.0 times)**  
Maximum value = 0.1909 kN/m (Element 34 at Node 561790)  
Minimum value = -0.1891 kN/m (Element 41 at Node 557288)

Figura 9–31: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 4

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	63 di 148
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2							

### 9.4.3 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

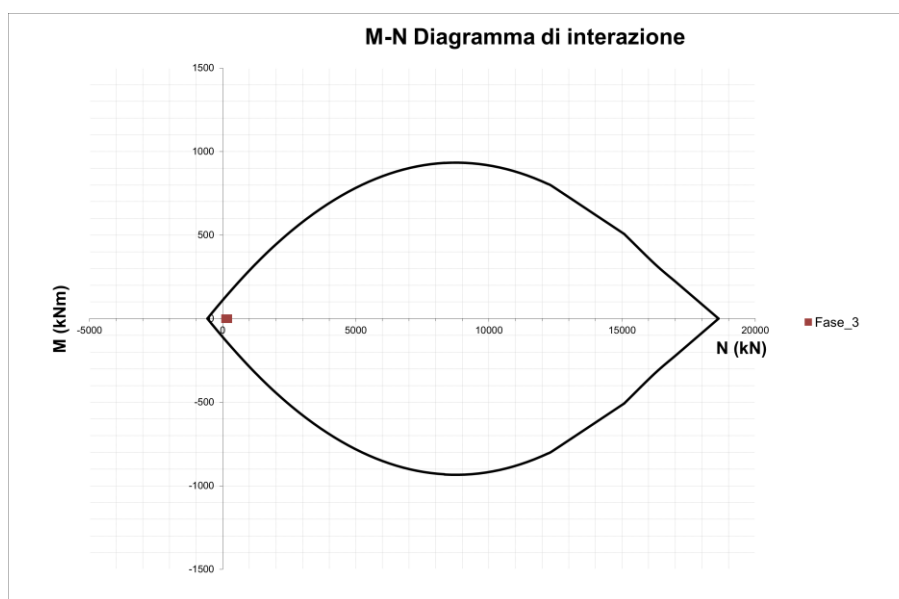


Figura 9-32: Dominio M-N Fase 3 – Sezione 4

#### **Verifica a taglio allo SLU**

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{tvd} = \frac{f_{R3k}/3}{\gamma_f} bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 0.47 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

#### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linea Guida del CSLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO: 64 di 148

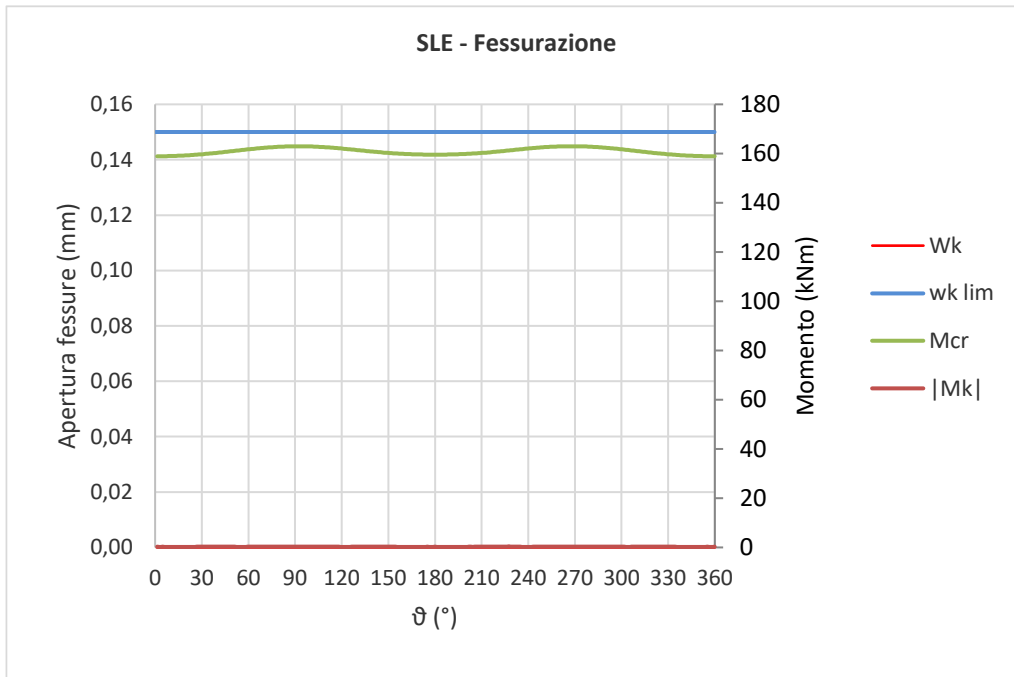


Figura 9-33: Stato di fessurazione Fase 3 - Sezione 4

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

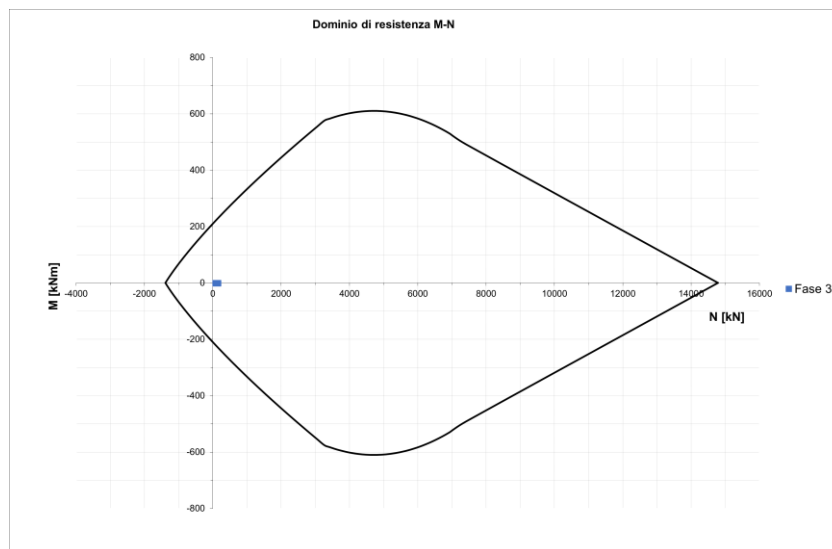


Figura 9-34: Dominio M-N Fase 3 - Sezione 4

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte 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:		<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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	65 di 148

## 9.5 SEZIONE 5 KM. 1+123

### 9.5.1 Metodo delle curve caratteristiche

Al fine di definire quali siano le sollecitazioni agenti sul rivestimento in conci prefabbricati, si è fatto riferimento alla curva caratteristica per galleria scavata con fresa scudata utilizzando il programma di calcolo GV4, e assumendo un gioco radiale tra estradosso scudo e ammasso circostante pari a 3 cm. Inoltre, si è ipotizzata una lunghezza dello scudo pari a 12 m e, per ottenere delle sollecitazioni sufficientemente cautelative, si è supposto che l'intasamento dell'anello avvenga a una distanza dal fronte pari a 8.86 m (quindi immediatamente dietro lo scudo). Lo spessore dei conci prefabbricati è pari a 40 cm.

Come si può osservare dall'output del programma di calcolo riportato in Allegato 1 (di cui nel seguito, in Figura 9–35, si riporta solo un breve stralcio) in questo caso ne lo scudo ne l'anello di rivestimento giungono mai in contatto con l'ammasso roccioso circostante. Pertanto, è stato considerato come rilascio tensionale in corrispondenza della posa in opera dell'anello in conci prefabbricati il valore che si verifica alla distanza di 8.86 m dal fronte e pari a  $\lambda = 0.999$ .

Si sottolinea che l'assenza del contatto scudo-ammasso circostante è visibile anche dalla curva caratteristica riportata in Allegato 1.

#### 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] ..... .005933
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.170935

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .000000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .000000
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00172
Convergenza radiale scudo [m] ..... .000000
Tensione scudo [MPa] ..... .000000
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .000000
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362
Rigidità scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .000000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .000000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03172
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03172
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .000000
Tensione CLS [MPa] ..... .000000
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.000000
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753
Rigidità anello CLS [MPa] ..... 3030.79639
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999306

```

Figura 9–35: Output programma di calcolo GV4

APPALTATORE: 	<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 66 di 148

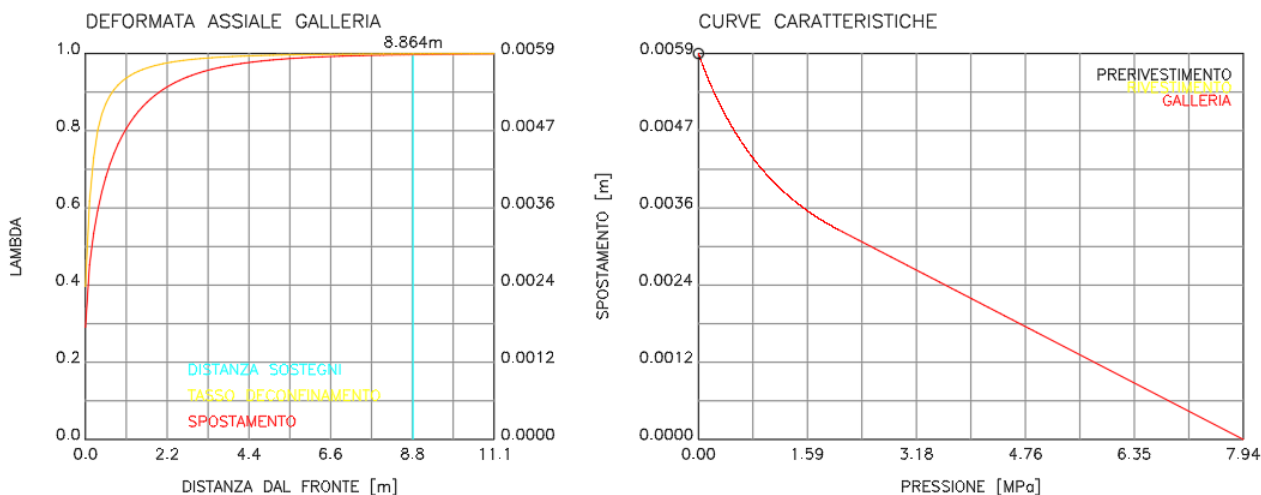


Fig. 9-36: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

### 9.5.2 Interazione galleria - terreno

Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 5 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSS	294	90	27	1222	38	12600	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 9-18: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 5

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 67 di 148

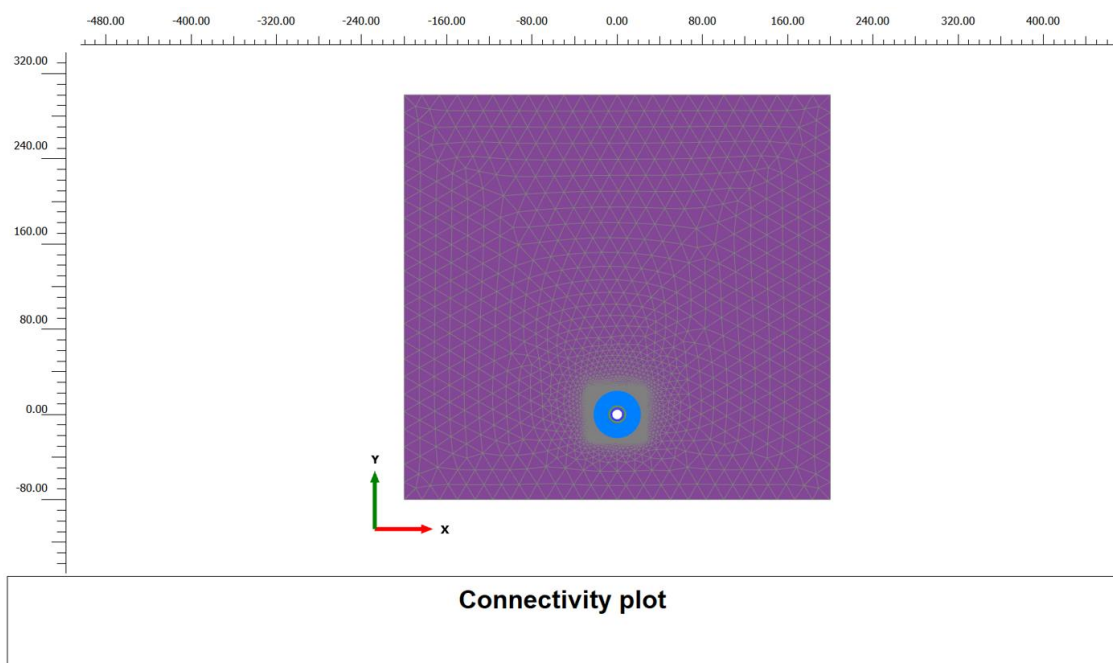


Figura 9-37: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 5

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;
- 2) Pre – convergenza del fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.93% ( $\lambda=0.9993$ );
- 3) Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati (condizione a breve termine);
- 4) Attivazione di un carico radiale per simulare il carico idraulico agente sui conci prefabbricati (condizione a lungo termine).

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8\text{m}$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

<b>Fase 2</b>	<b>Sollecitazioni da analisi numerica</b>	<b>Sollecitazioni di verifica SLU</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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 68 di 148	

	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	18.61	0.00	0.01	43.55	0.00	0.02
<b>Nmin</b>	-18.86	0.09	-0.01	-44.13	0.29	-0.02
<b>Mmax</b>	-18.10	0.12	-0.01	-42.35	0.38	-0.02
<b>Mmin</b>	-5.29	-0.17	0.05	-12.38	-0.54	0.12
<b>Tmax</b>	-3.07	-0.09	0.28	-7.18	-0.29	0.66
<b>Tmin</b>	12.96	0.02	-0.25	30.33	0.06	-0.59

Tabella 9-19: Sollecitazioni sui conci – Sezione 5 Fase 2 (B.T.)

Fase 3	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-1681.06	-3.19	-0.08	-3933.68	-10.15	-0.19
<b>Nmin</b>	-2044.18	-2.33	0.00	-4783.38	-7.41	0.00
<b>Mmax</b>	-2044.13	-2.33	-0.01	-4783.26	-7.41	-0.02
<b>Mmin</b>	-1783.91	-3.45	-0.10	-4174.35	-10.98	-0.23
<b>Tmax</b>	-1931.73	-2.94	0.91	-4520.25	-9.36	2.13
<b>Tmin</b>	-1923.42	-2.96	-0.93	-4500.80	-9.42	-2.18

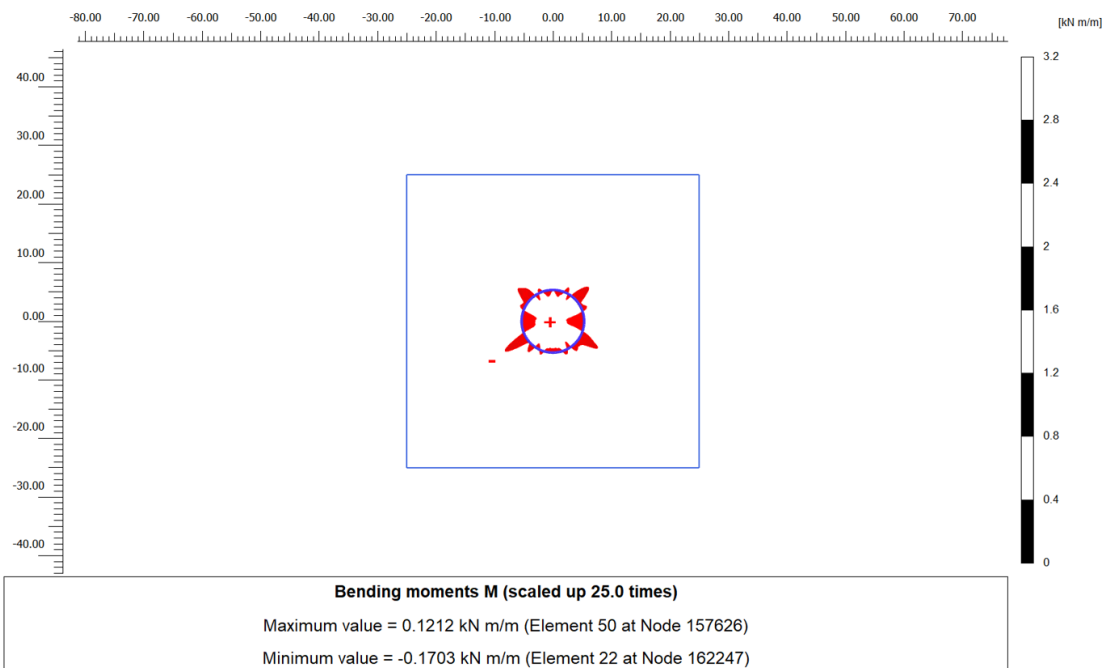
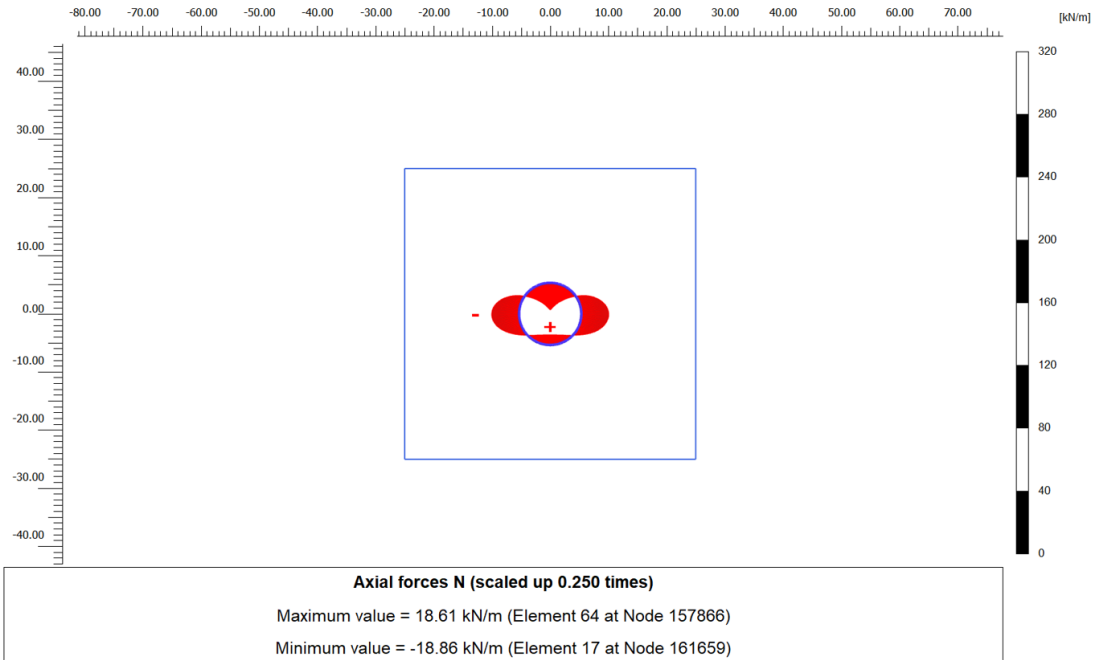
Tabella 9-20: Sollecitazioni sui conci – Sezione 5 Fase 3 (L.T.)

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 S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 69 di 148



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 70 di 148

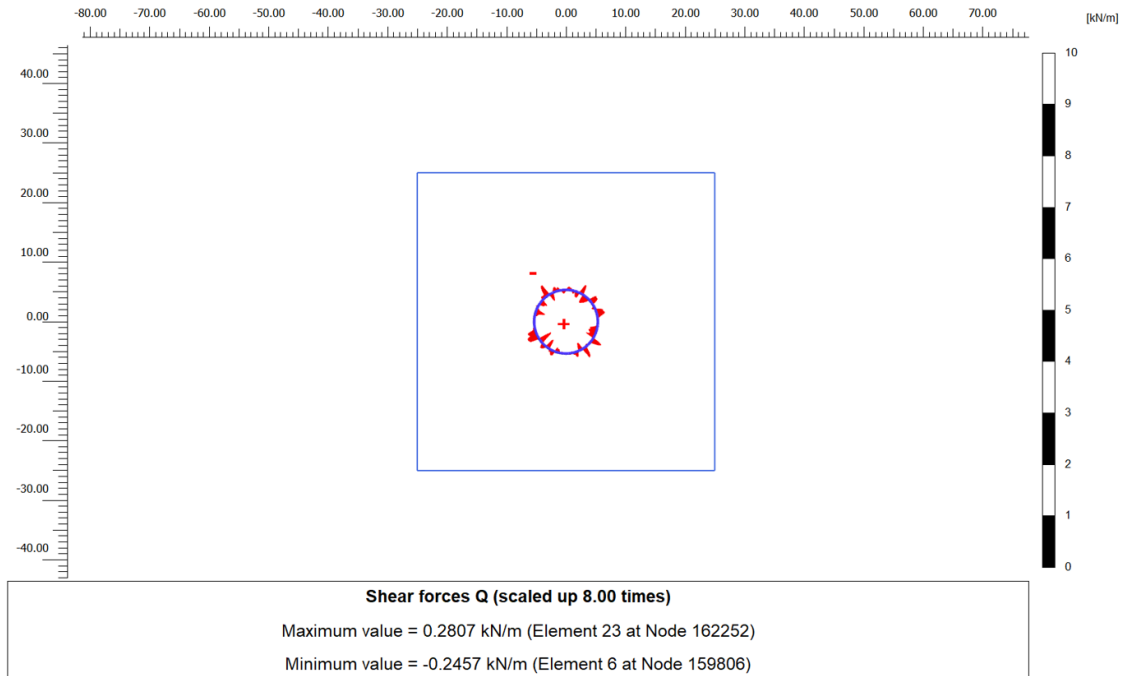
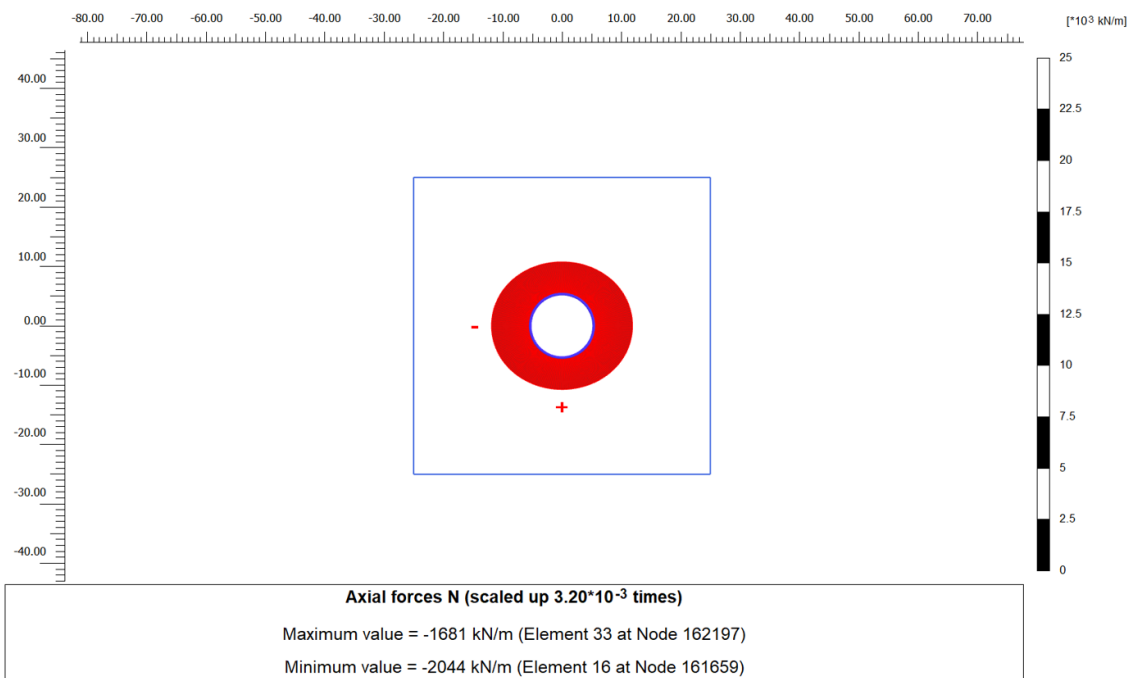


Figura 9–38: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 5 – Fase 2 (B.T.)



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 71 di 148

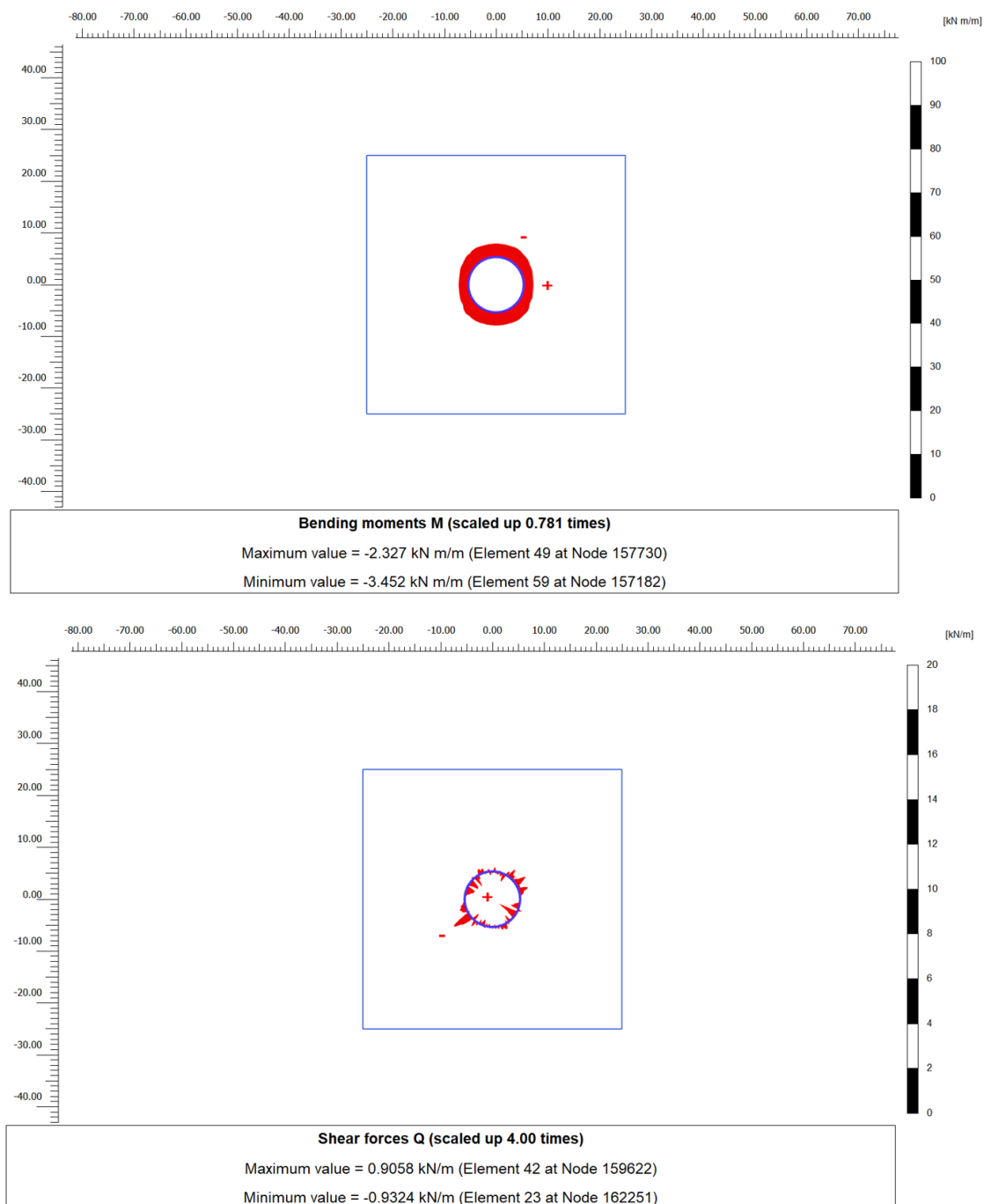


Figura 9–39: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 5 – Fase 3 (L.T.)

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 72 di 148

### 9.5.3 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

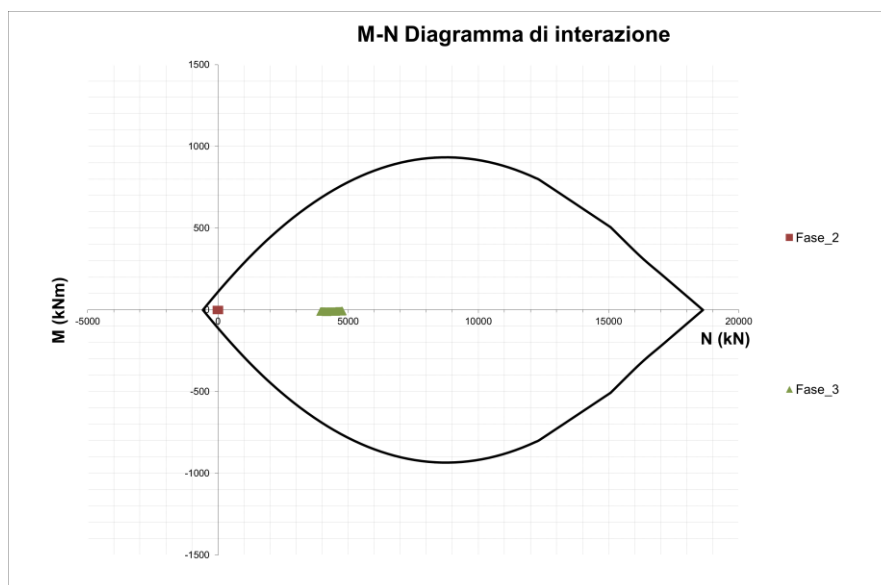


Figura 9–40: Dominio M-N Fase 3 – Sezione 5

#### **Verifica a taglio allo SLU**

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{R3k} / 3 \cdot bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 2.34 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

#### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k = 0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linee Guida del CSLLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 73 di 148

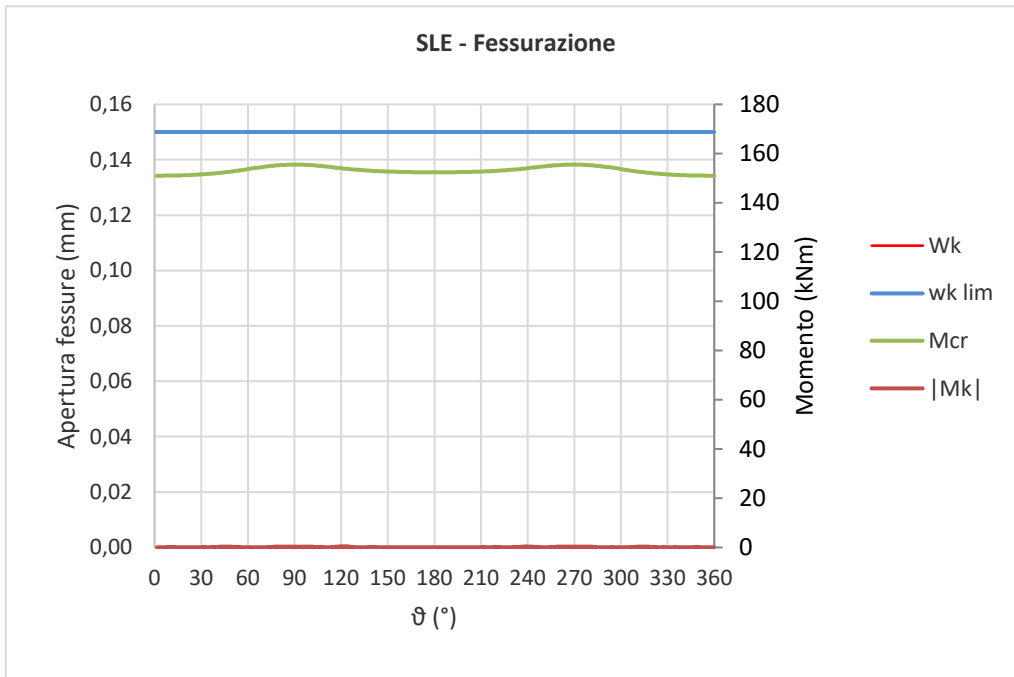


Figura 9-41: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 5

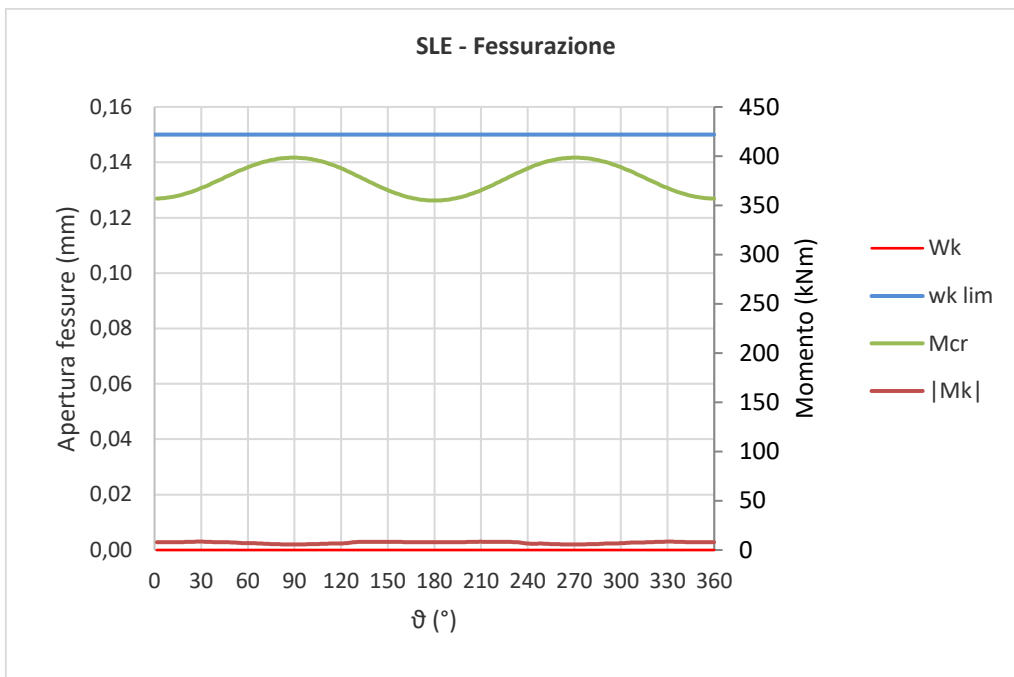


Figura 9-42: Stato di fessurazione Fase 3 - Sezione 5

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

APPALTATORE:		<b>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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 74 di 148

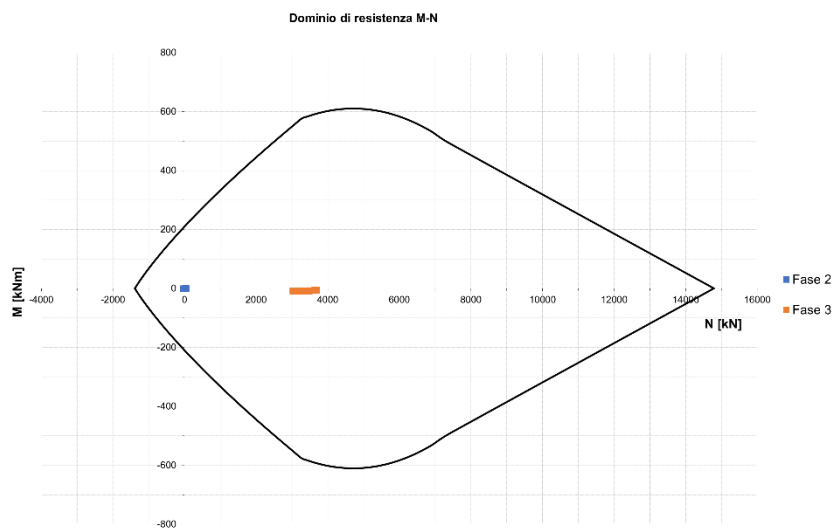


Figura 9-43: Dominio M-N Fase 3 - Sezione 5

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte 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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 75 di 148

## 9.6 SEZIONE 6 KM. 1+187

### 9.6.1 Metodo delle curve caratteristiche

Al fine di definire quali siano le sollecitazioni agenti sul rivestimento in conci prefabbricati, si è fatto riferimento alla curva caratteristica per galleria scavata con fresa scudata utilizzando il programma di calcolo GV4, e assumendo un gioco radiale tra estradosso scudo e ammasso circostante pari a 3 cm. Inoltre, si è ipotizzata una lunghezza dello scudo pari a 12 m e, per ottenere delle sollecitazioni sufficientemente cautelative, si è supposto che l'intasamento dell'anello avvenga a una distanza dal fronte pari a 8.86 m (quindi immediatamente dietro lo scudo). Lo spessore dei conci prefabbricati è pari a 40 cm.

Come si può osservare dall'output del programma di calcolo riportato in Allegato 1 (di cui nel seguito, in Figura 9–44, si riporta solo un breve stralcio) in questo caso ne lo scudo ne l'anello di rivestimento giungono mai in contatto con l'ammasso roccioso circostante. Pertanto, è stato considerato come rilascio tensionale in corrispondenza della posa in opera dell'anello in conci prefabbricati il valore che si verifica alla distanza di 8.86 m dal fronte e pari a  $\lambda = 0.999$ .

Si sottolinea che l'assenza del contatto scudo-ammasso circostante è visibile anche dalla curva caratteristica riportata in Allegato 1.

```

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] ..... .007257
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.426993

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00210
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000
Tensione scudo [MPa] ..... .00000
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362
Rigidità scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03210
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03210
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000
Tensione CLS [MPa] ..... .00000
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753
Rigidità anello CLS [MPa] ..... 3030.79639
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999196

```

Figura 9–44: Output programma di calcolo GV4

APPALTATORE: 	<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 76 di 148

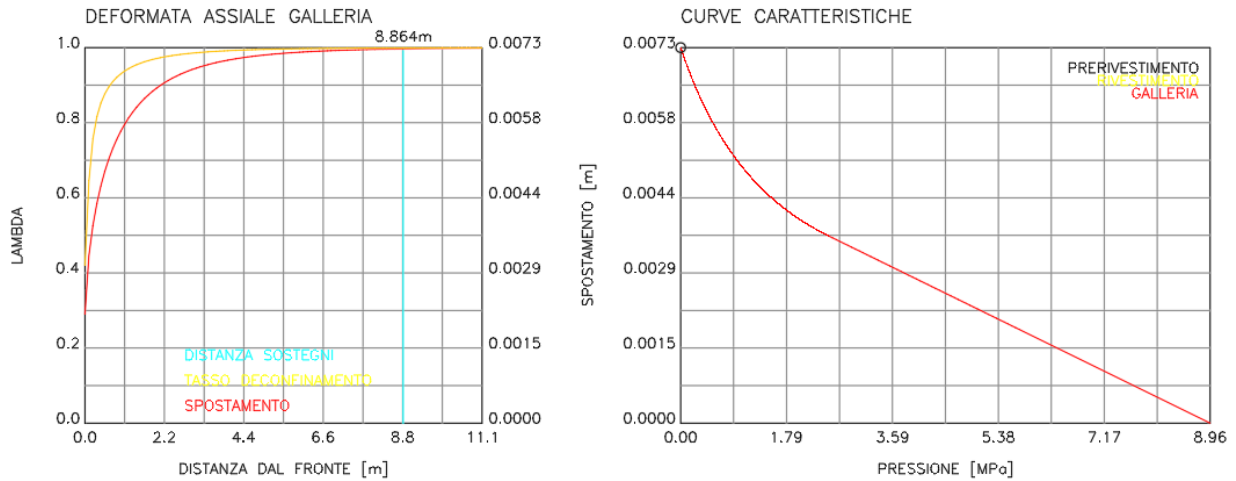


Fig. 9-45: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

### 9.6.2 Interazione galleria - terreno

Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 5 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSS	332	84	27	1332	37	12300	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 9-21: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 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:	<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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 77 di 148

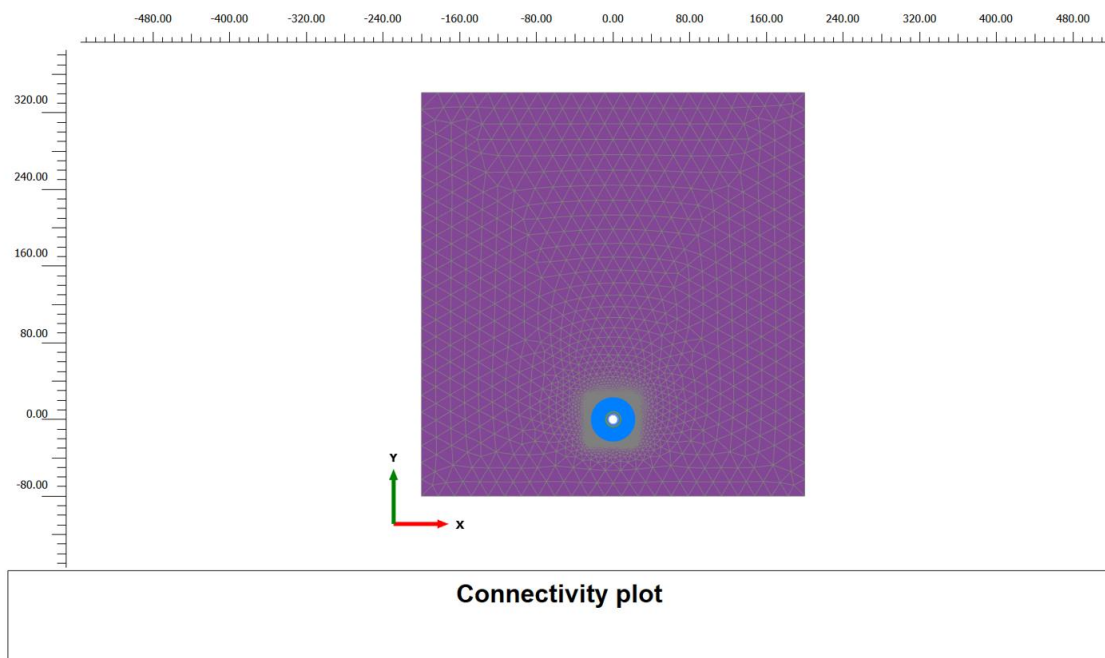


Figura 9-46: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 6

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;
2. Pre – convergenza del fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.9% ( $\lambda=0.999$ );
3. Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati (condizione a breve termine);
4. Attivazione di un carico radiale per simulare il carico idraulico agente sui conci prefabbricati (condizione a lungo termine).

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8m$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

Fase 2	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-244.73	-0.34	-0.03	-572.67	-1.08	-0.07

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:							
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>08 - GALLERIE</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	78 di 148

<b>Nmin</b>	-330.97	-0.36	-0.04	-774.47	-1.15	-0.09
<b>Mmax</b>	-328.99	-0.33	0.01	-769.84	-1.05	0.02
<b>Mmin</b>	-307.60	-0.59	0.00	-719.78	-1.88	0.00
<b>Tmax</b>	-269.05	-0.48	0.23	-629.58	-1.53	0.54
<b>Tmin</b>	-247.89	-0.48	-0.21	-580.06	-1.53	-0.49

Tabella 9-22: Sollecitazioni sui conci – Sezione 6 Fase 2 (B.T.)

Fase 3	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-4896.35	-5.03	-3.15	-11457.46	-16.01	-7.37
<b>Nmin</b>	-4991.13	-11.00	3.45	-11679.24	-35.01	8.07
<b>Mmax</b>	-4935.49	-4.05	-0.05	-11549.05	-12.89	-0.12
<b>Mmin</b>	-4953.70	-13.40	0.35	-11591.66	-42.64	0.82
<b>Tmax</b>	-4975.55	-9.26	6.90	-11642.79	-29.47	16.15
<b>Tmin</b>	-4959.08	-8.84	-6.74	-11604.25	-28.13	-15.77

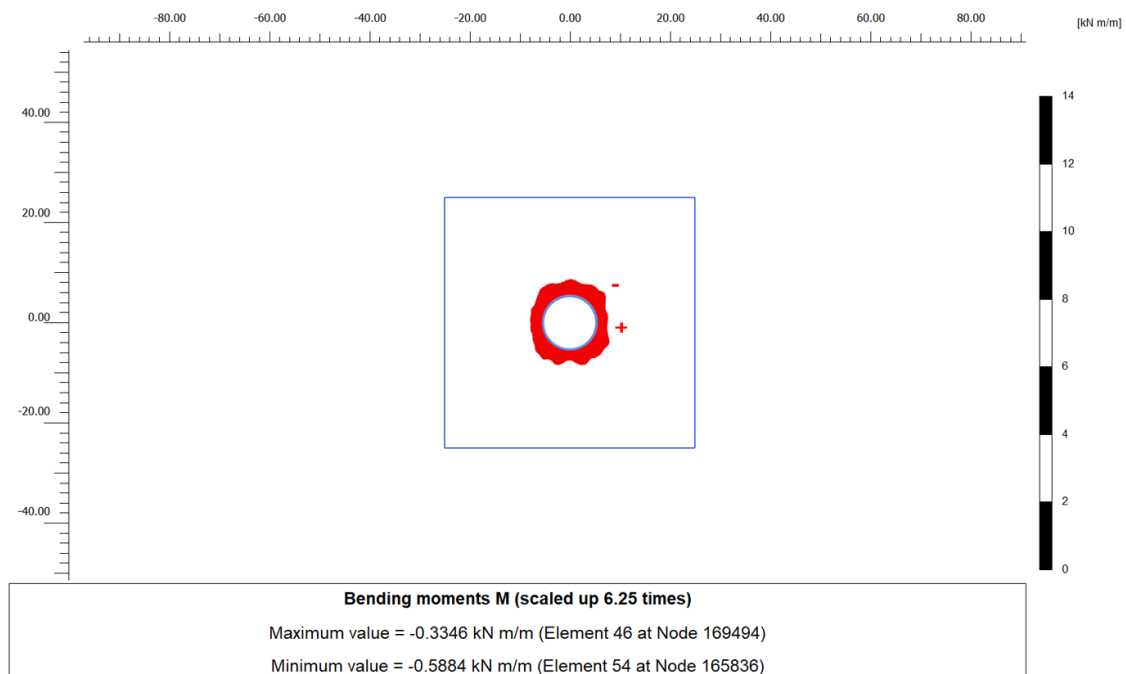
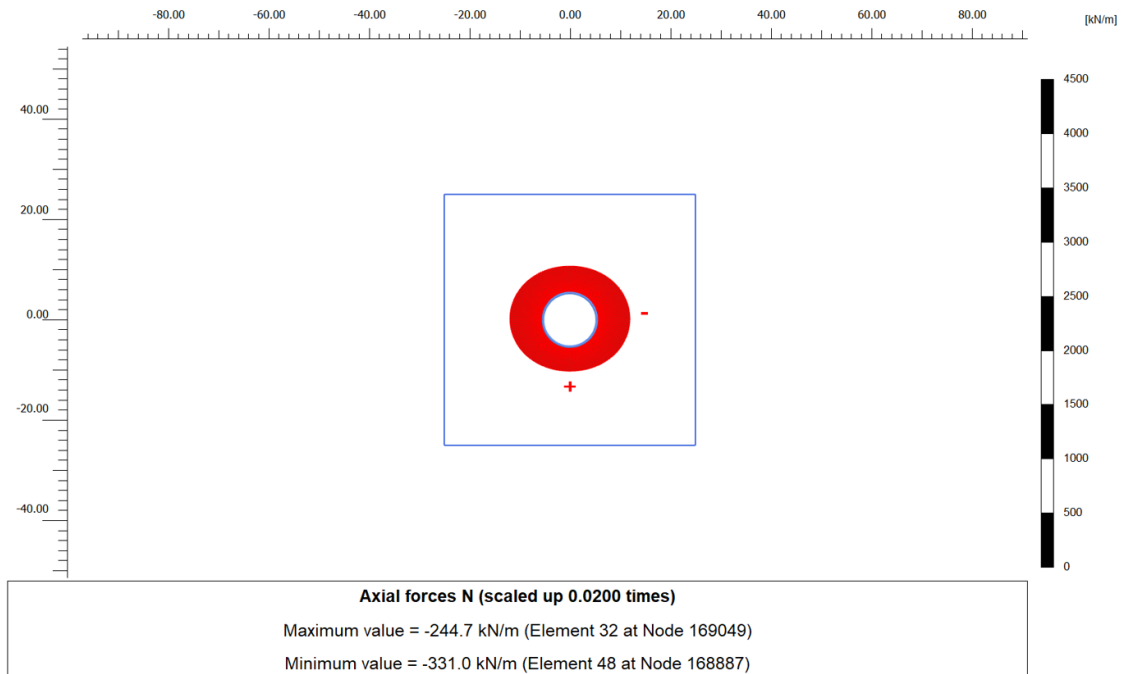
Tabella 9-23: Sollecitazioni sui conci – Sezione 6 Fase 3 (L.T.)

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 S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 79 di 148



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 80 di 148

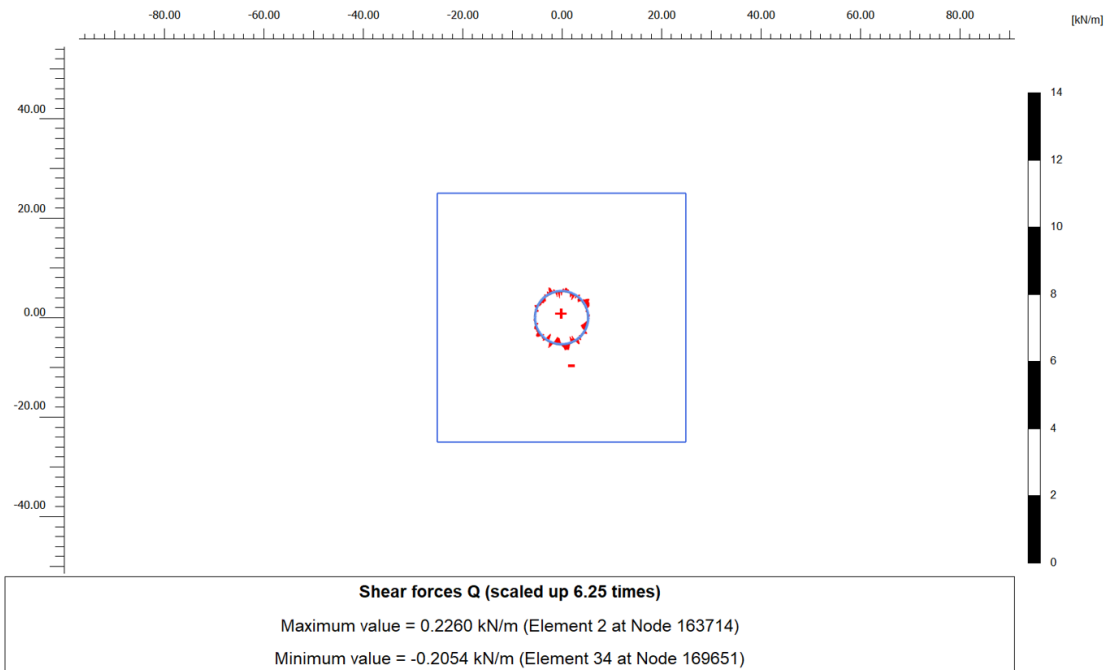
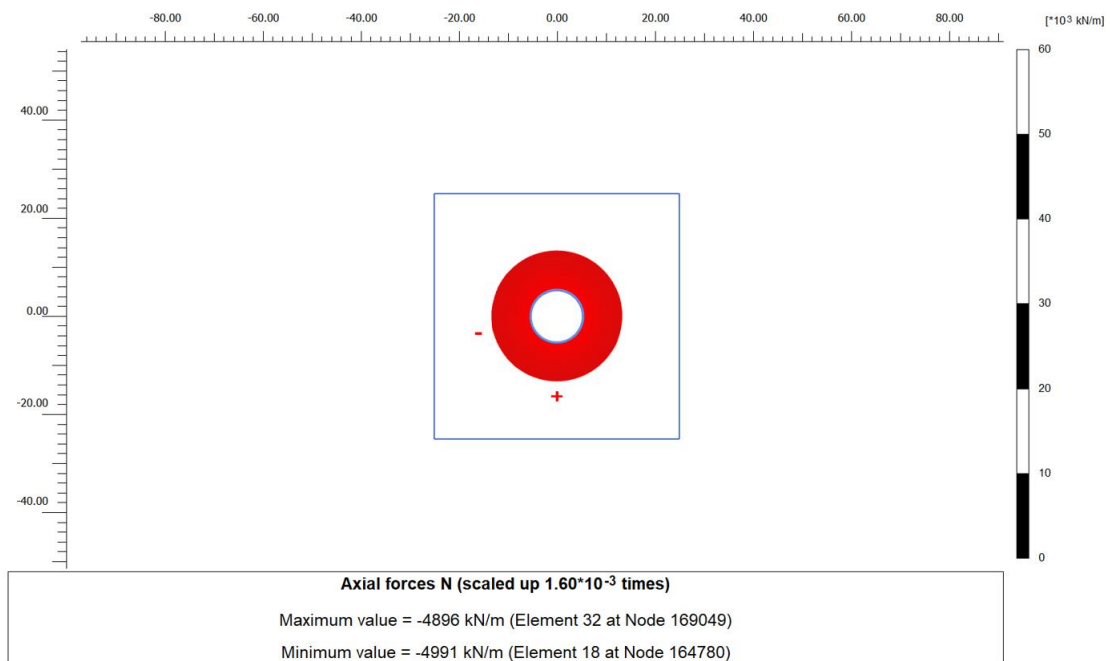


Figura 9-47: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 6 – Fase 2 (B.T.)





APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 81 di 148

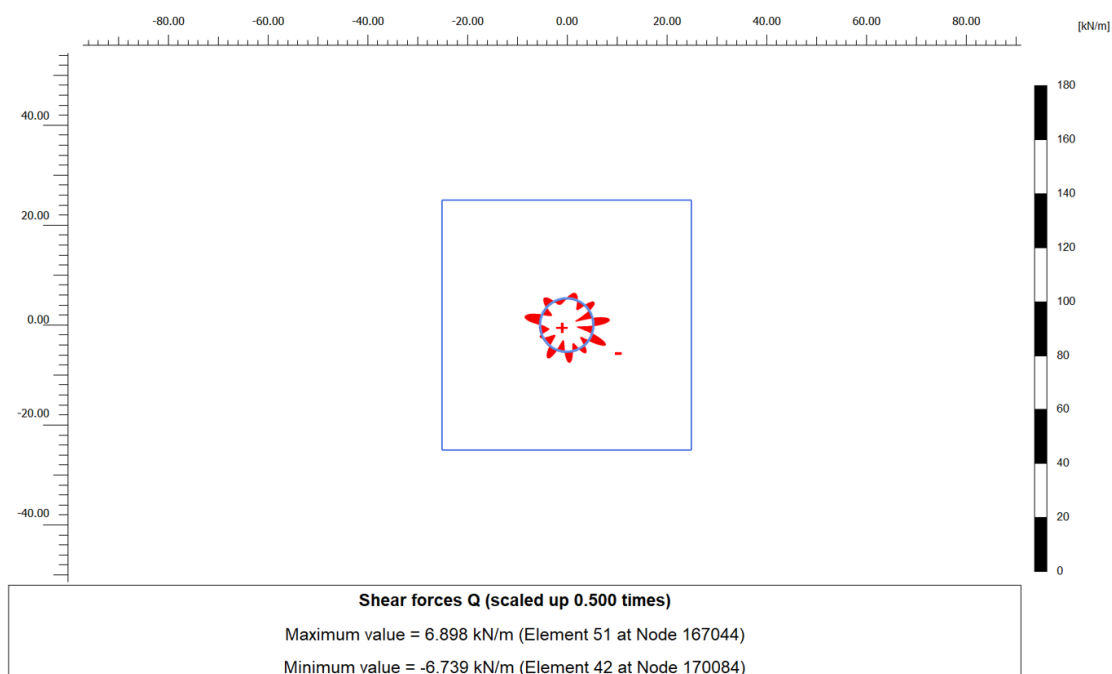
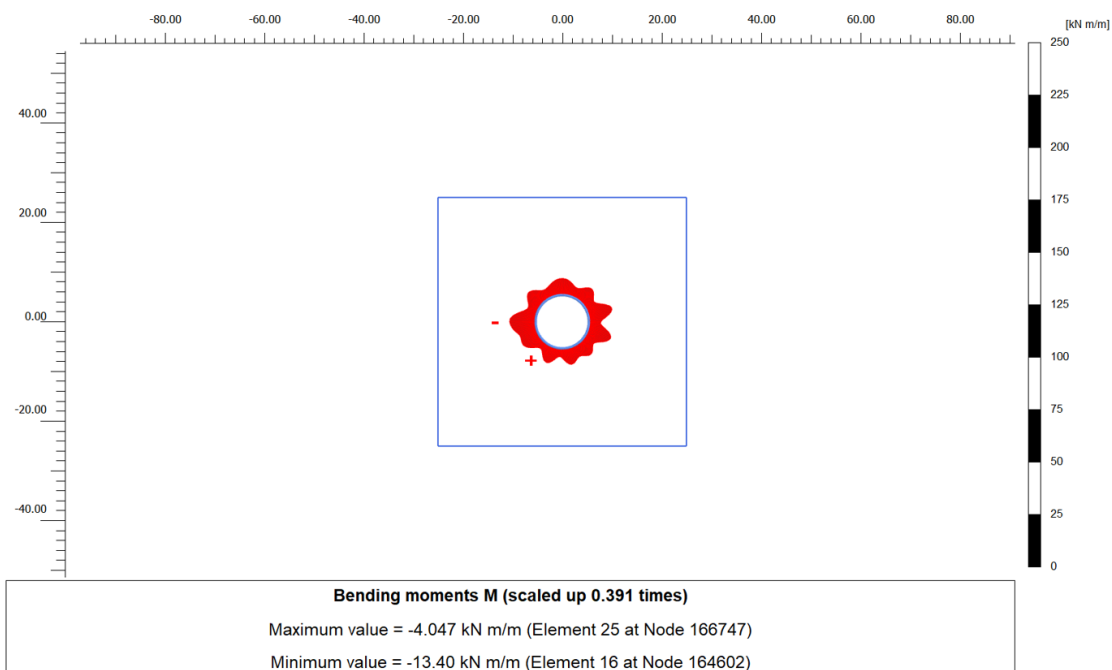


Figura 9–48: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 6 – Fase 3 (L.T.)

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 82 di 148

### 9.6.3 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

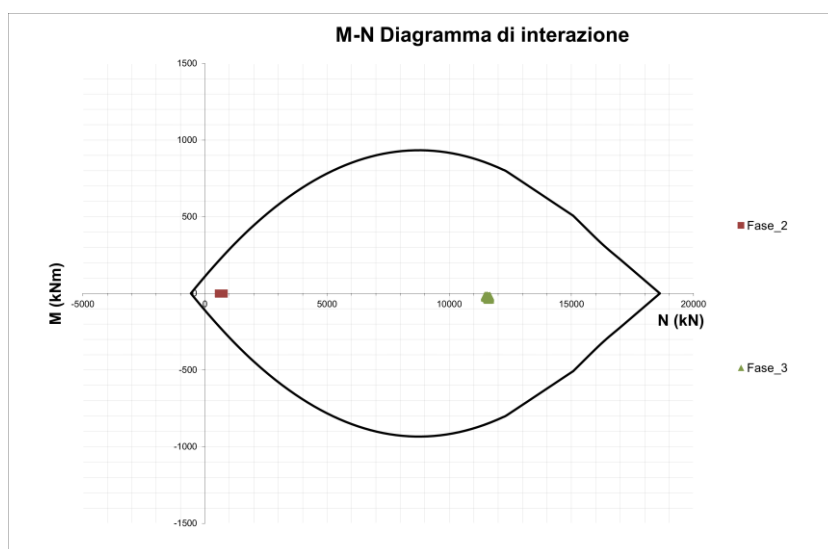


Figura 9–49: Dominio M-N Fase 2 e Fase 3 – Sezione 6

#### **Verifica a taglio allo SLU**

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{tvd} = \frac{f_{R3k}/3}{\gamma_f} bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 16.15 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

#### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linea Guida del CSLLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 83 di 148

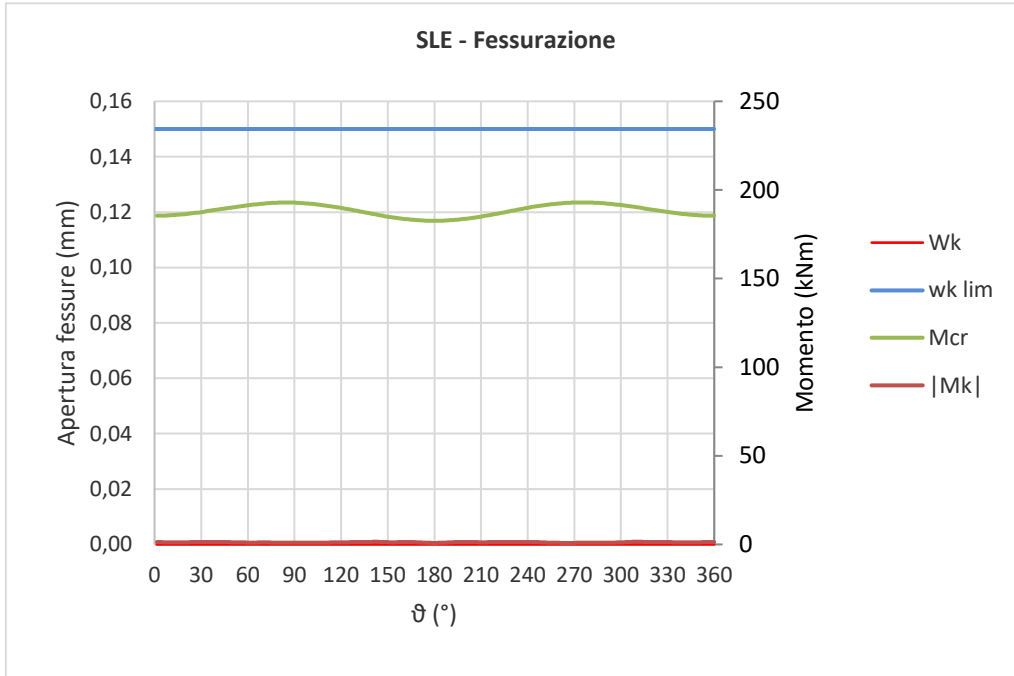


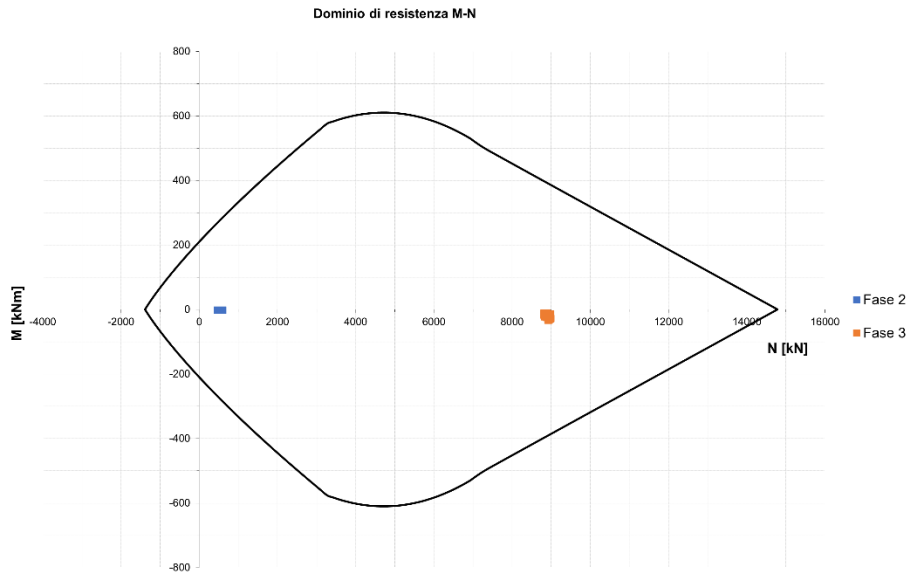
Figura 9-50: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 6



Figura 9-51: Stato di fessurazione Fase 3 - Sezione 6

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 84 di 148



*Figura 9-52: Dominio M-N Fase 2 e Fase 3 - Sezione 6*

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte soddisfatte.

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	85 di 148

## 9.7 SEZIONE 7 KM. 1+235

### 9.7.1 Metodo delle curve caratteristiche

Al fine di definire quali siano le sollecitazioni agenti sul rivestimento in conci prefabbricati, si è fatto riferimento alla curva caratteristica per galleria scavata con fresa scudata utilizzando il programma di calcolo GV4, e assumendo un gioco radiale tra estradosso scudo e ammasso circostante pari a 3 cm e considerando l'extra scavo pari a 4cm. Inoltre, si è ipotizzata una lunghezza dello scudo pari a 12 m e, per ottenere delle sollecitazioni sufficientemente cautelative, si è supposto che l'intasamento dell'anello avvenga a una distanza dal fronte pari a 8.86 m (quindi immediatamente dietro lo scudo). Lo spessore dei conci prefabbricati e pari a 40 cm.

Si riporta l'output del programma di calcolo in Allegato 1 (di cui nel seguito, in Figura 9–53, si riporta solo un breve stralcio). Si considera come rilascio tensionale in corrispondenza della posa in opera dell'anello in conci prefabbricati il valore che si verifica alla distanza di 8.86 m dal fronte e pari a  $\lambda = 0.999$ .

Si sottolinea che l'assenza del contatto scudo-ammasso circostante è visibile anche dalla curva caratteristica riportata in Allegato 1.

```

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] ..... .007303
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.473999

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00212
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000
Tensione scudo [MPa] ..... .00000
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2624.89617
Rigidità scudo [MPa] ..... 2797.09016

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .07211
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .07211
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000
Tensione CLS [MPa] ..... .00000
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.75668
Rigidità anello CLS [MPa] ..... 3010.26526
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999215

```

Figura 9–53: Output programma di calcolo GV4

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 86 di 148

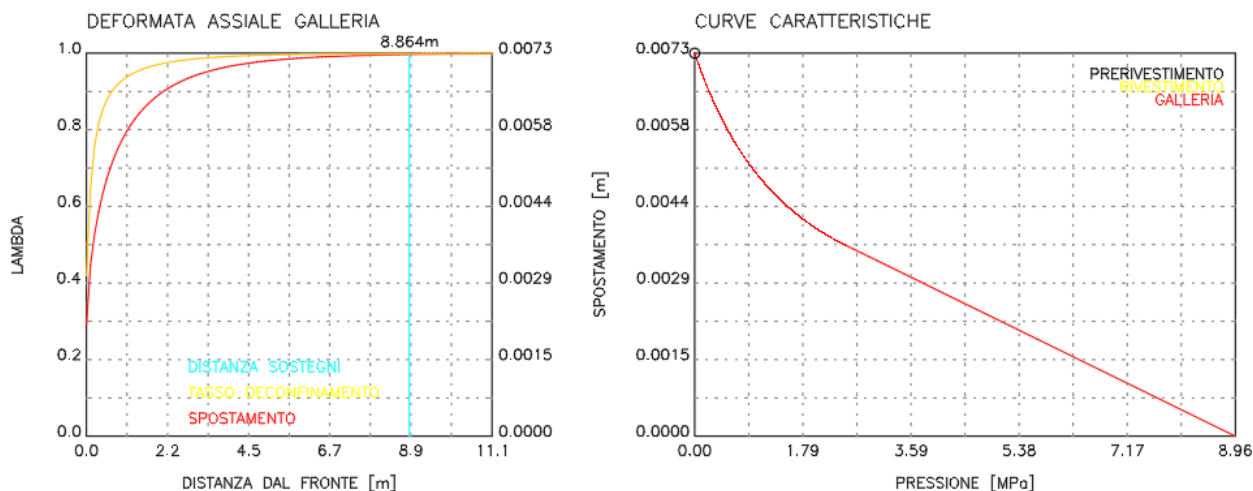


Fig. 9-54: Definizione della preconvergenza della galleria prima della messa in opera dell'anello

### 9.7.2 Interazione galleria - terreno

Nella tabella seguente si riassumono i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per le analisi numeriche corrispondenti alla sezione di calcolo della sezione 5 della Finestra di Forch.

Formazione	C	Falda	$\gamma$	c	$\phi$	E	$k_0$
[-]	[m]	[m da calotta]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
BSS	330	81	27	1332	37	12300	0.90
BSS (Zona di danneggiamento)	40		27	877	30	3300	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 9-24: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione 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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 87 di 148

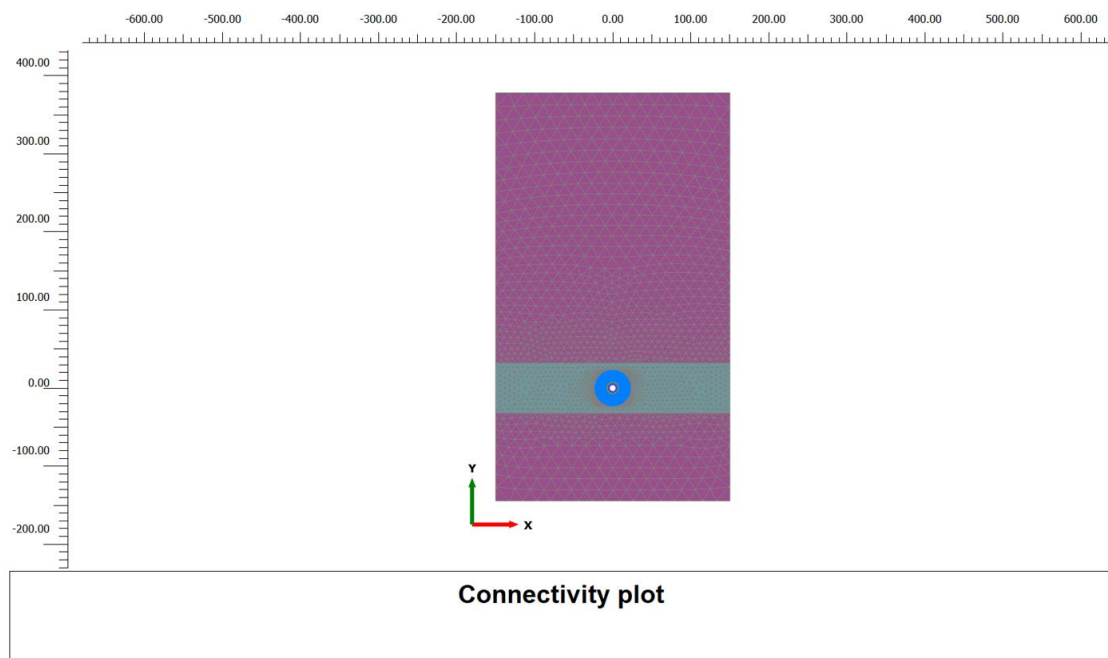


Figura 9–55: Geometria di analisi – Finestra di Forch Sezione 7

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;
2. Pre – convergenza del fronte con rilascio parziale dello stato tensionale sul contorno di scavo pari al 99.93% ( $\lambda=0.999$ );
3. Rilascio completo dello stato tensionale (100%) ed attivazione dei conci prefabbricati (condizione a breve termine);
4. Attivazione di un carico radiale per simulare il carico idraulico agente sui conci prefabbricati (condizione a lungo termine).

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni derivanti dall’analisi numerica a m di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali; queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_G = 1.3$  e per la lunghezza del concio  $b = 1.8m$  mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidità dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood  $(1+\xi) = 1.36$ .

Fase 2	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-1179.85	-5.01	-0.31	-2760.85	-15.94	-0.73

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	88 di 148

<b>Nmin</b>	-1251.20	-0.59	0.00	-2927.81	-1.88	0.00
<b>Mmax</b>	-1211.15	-0.14	-0.01	-2834.09	-0.45	-0.02
<b>Mmin</b>	-1182.49	-5.17	-0.01	-2767.03	-16.45	-0.02
<b>Tmax</b>	-1206.30	-2.91	1.97	-2822.74	-9.26	4.61
<b>Tmin</b>	-1206.42	-2.90	-2.04	-2823.02	-9.23	-4.77

Tabella 9-25: Sollecitazioni sui conci – Sezione 7 Fase 2 (B.T.)

Fase 3	Sollecitazioni da analisi numerica			Sollecitazioni di verifica SLU		
	N (kN/m)	M (kNm/m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
<b>Nmax</b>	-5119.74	-15.02	-0.79	-11980.19	-47.80	-1.85
<b>Nmin</b>	-5289.02	-8.76	-0.02	-12376.31	-27.88	-0.05
<b>Mmax</b>	-5182.71	-6.15	0.05	-12127.54	-19.57	0.12
<b>Mmin</b>	-5121.66	-15.23	0.03	-11984.68	-48.47	0.07
<b>Tmax</b>	-5139.65	-10.61	4.39	-12026.78	-33.77	10.27
<b>Tmin</b>	-5157.06	-11.01	-4.39	-12067.52	-35.04	-10.27

Tabella 9-26: Sollecitazioni sui conci – Sezione 7 Fase 3 (L.T.)

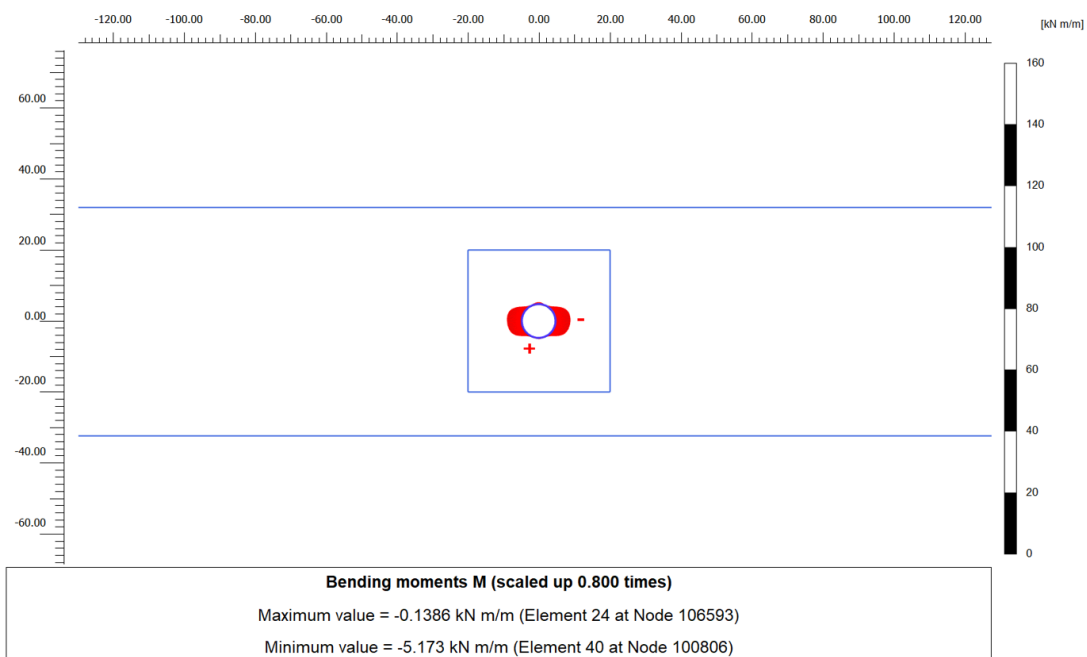
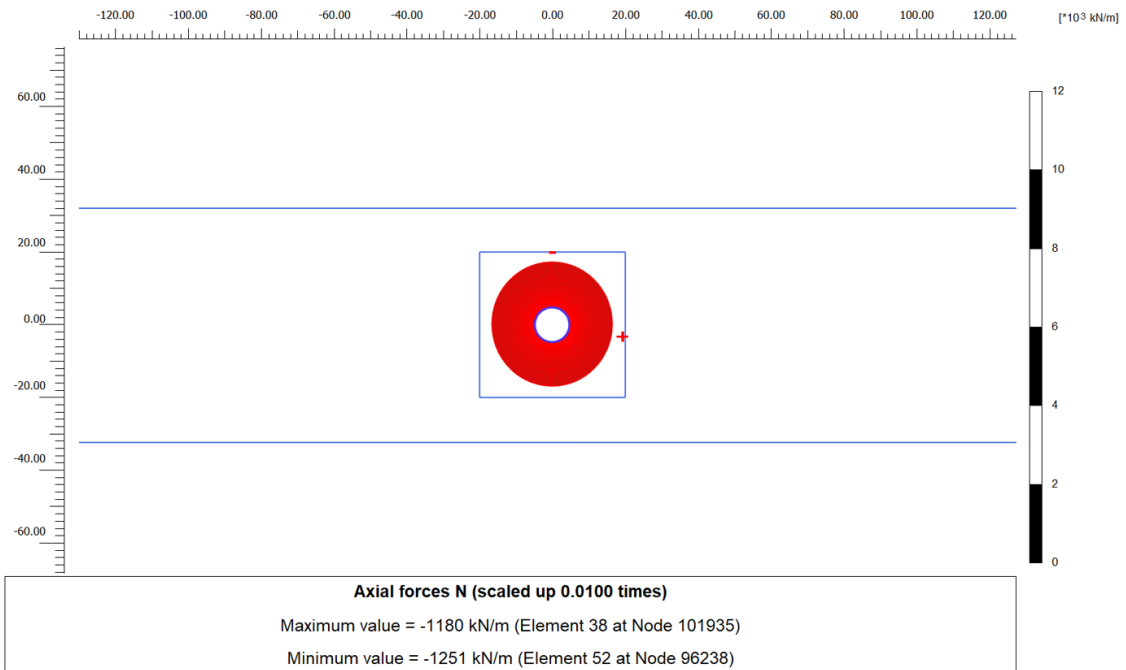
La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

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:



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 89 di 148



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 90 di 148

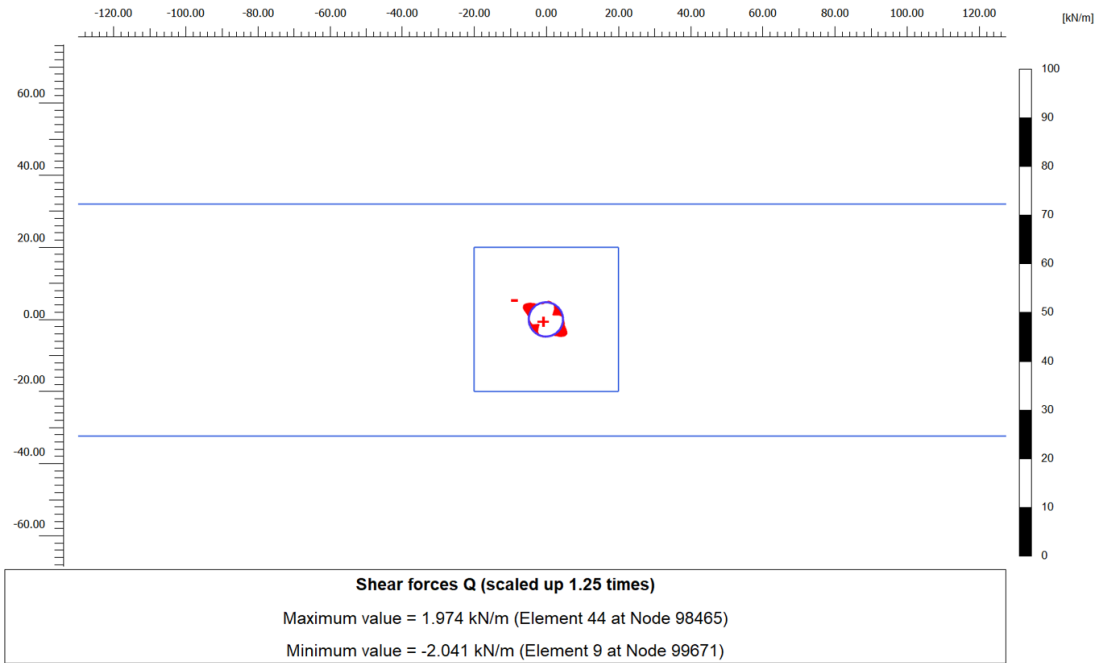
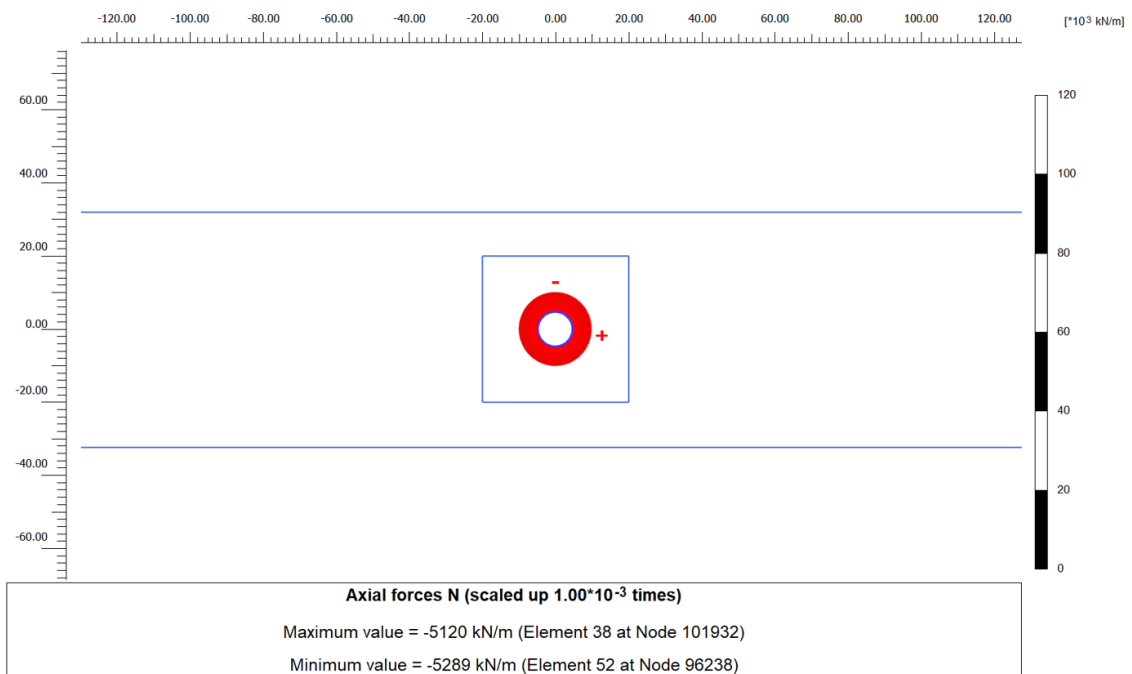


Figura 9–56: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 7 – Fase 2 (B.T.)



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 91 di 148

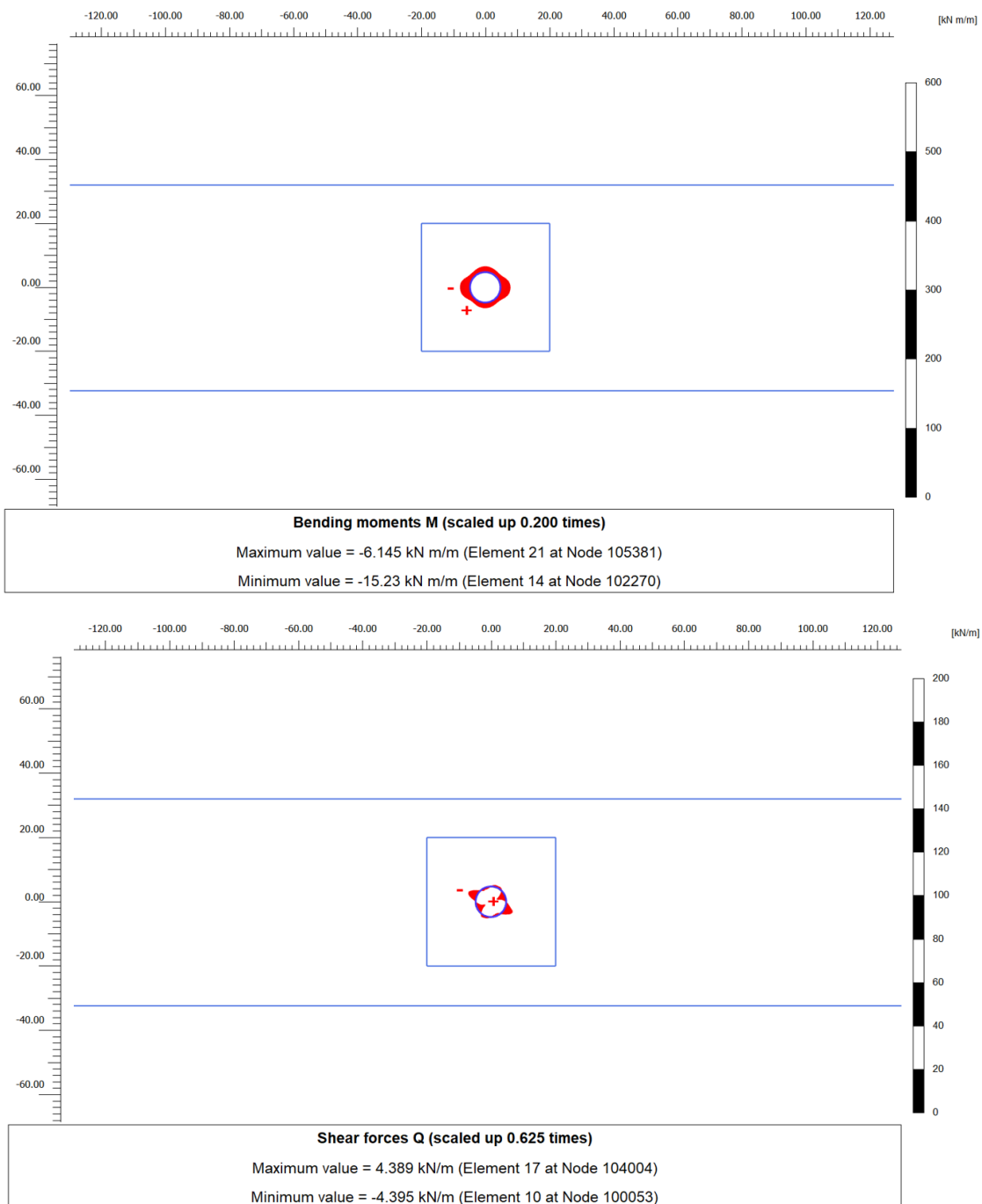


Figura 9–57: Diagrammi delle sollecitazioni sforzo normale, momento flettente e taglio per la sezione 7 – Fase 3 (L.T.)

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura e lo stato tensionale l'ipotesi costruttiva menzionata al §8.1 considerando in questa sezione l'applicazione della tipologia di conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 92 di 148

### 9.7.3 Verifiche

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) durante la fase operativa secondo quanto descritto all'interno dell'elaborato IBOU1BEZZCLGN0300002.

#### **Verifiche a presso-flessione allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.)**

Nella tabella seguente si riportano le verifiche allo Stato Limite Ultimo delle sezioni più rappresentative dello stato tensionale agente sul rivestimento. I valori delle sollecitazioni di calcolo sono ottenuti amplificando mediante un coefficiente 1.3 le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica.

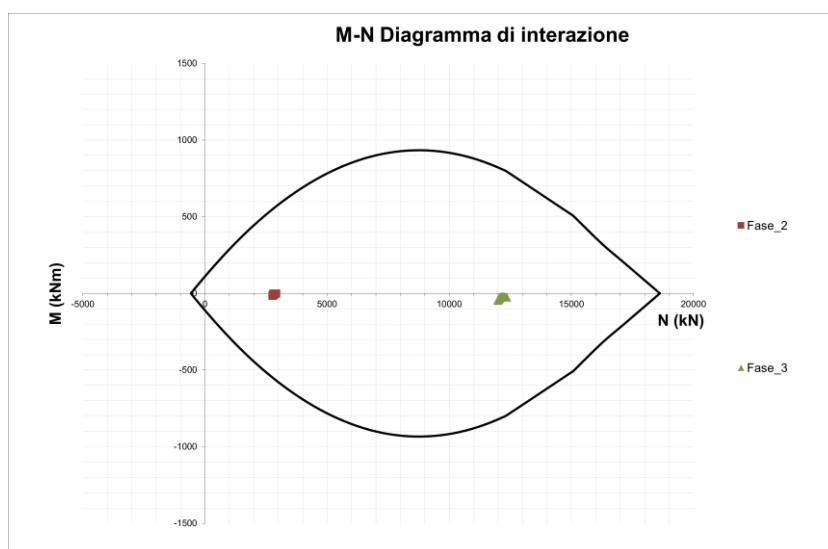


Figura 9–58: Dominio M-N Fase 2 e Fase 3 – Sezione 7

#### **Verifica a taglio allo SLU**

Come prescritto dalle recenti linee guida emanate dal C.S.LL.PP. [4] la verifica a taglio è soddisfatta se il valore di progetto dell'azione di taglio agente è minore del valore di progetto dell'azione di taglio resistente, quest'ultima definita come:

$$V_{Rd} = f_{Ftud} = \frac{f_{R3k}/3}{\gamma_f} bh = \frac{3.6 \cdot 10^3}{3 \cdot 1.5} \cdot 1.8 \cdot 0.4 = 576 \text{ kN}$$

Essendo lo sforzo di taglio massimo  $V_{Ed} = 10.28 \text{ kN}$  la verifica risulta soddisfatta.

#### **Verifiche allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)**

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a  $w_k=0.15 \text{ mm}$  in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2), come definito dai valori riportati in Tabella 7.1 come definito dalla tabella 4 delle Linea Guida del CSLLPP sul calcestruzzo fibro-rinforzato

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 93 di 148

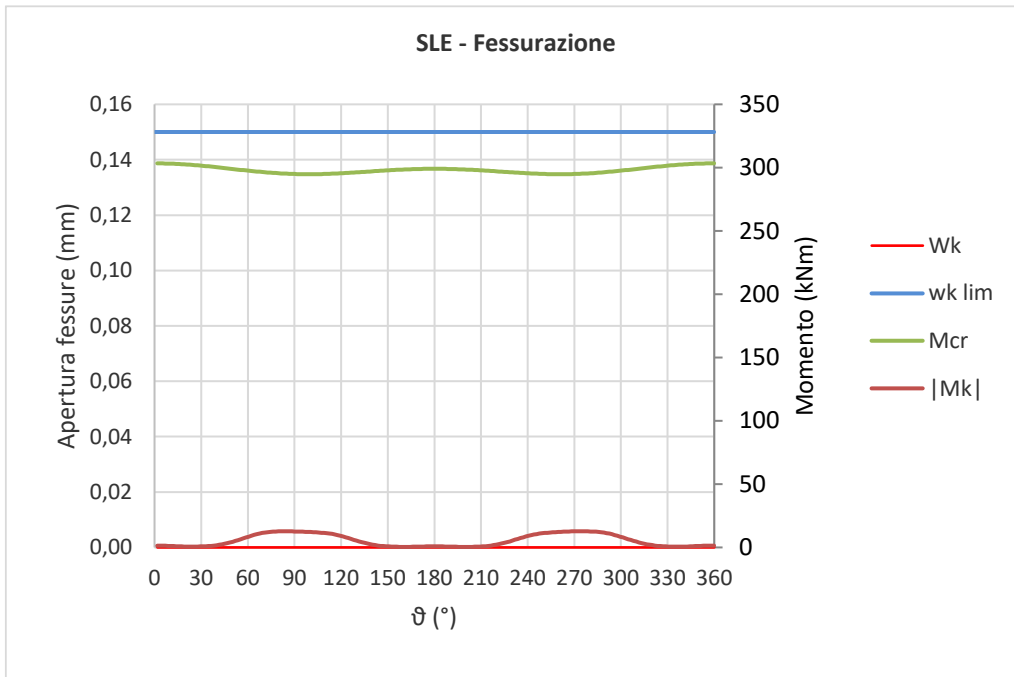


Figura 9-59: Stato di fessurazione Fase 2 - Sezione 7

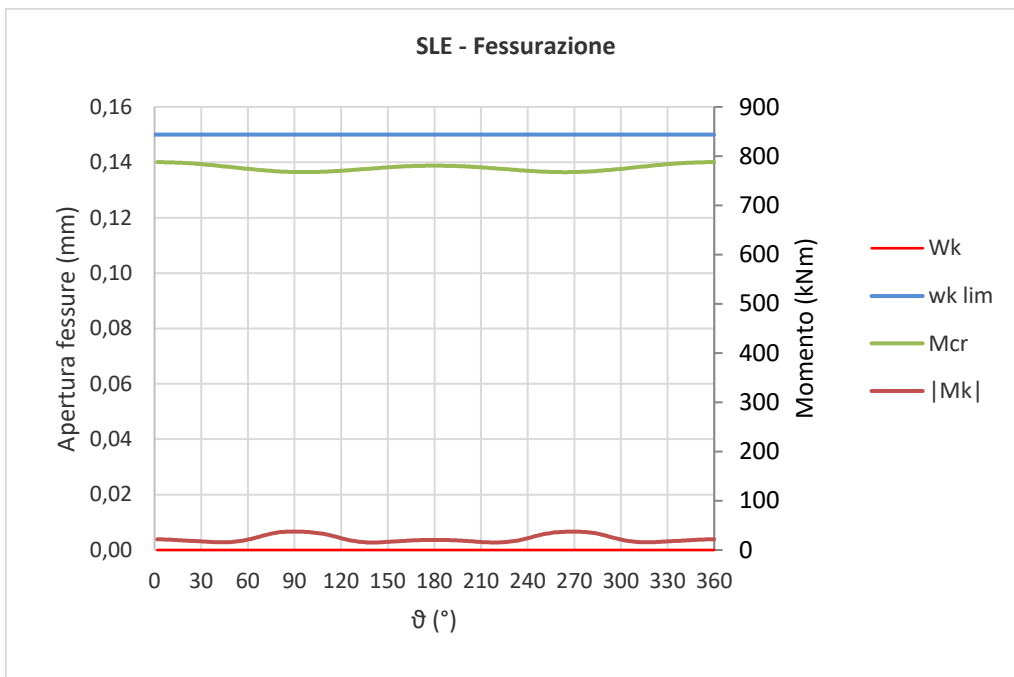


Figura 9-60: Stato di fessurazione Fase 3 - Sezione 7

Si riporta infine il dominio M-N agli Stati Limite di Esercizio:

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 94 di 148

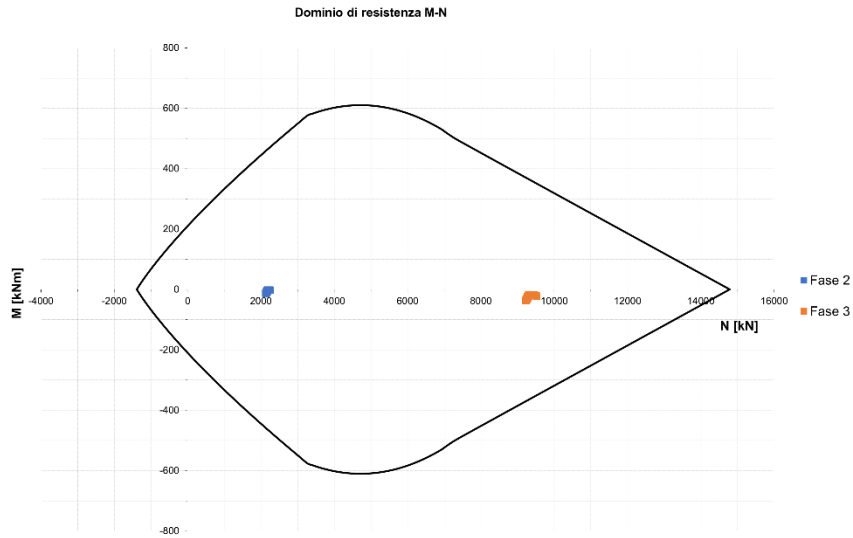


Figura 9-61: Dominio M-N Fase 2 e Fase 3 - Sezione 7

Dai grafici riportati si evince che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio risultano tutte 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: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> <b>SWS Engineering S.p.A.</b> <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST</b> <b>M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0300004</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>95 di 148</b>

## 10. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

Per il monitoraggio in corso d'opera si rimanda alla Relazione tecnica di monitoraggio.

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 96 di 148

## 11. RISULTATI DEI CALCOLI

Per la realizzazione della galleria Finestra di Forch si prevede l'installazione di conci prefabbricati in armatura tradizionale dalla pk 0+144 alla pk 0+648 e di conci in calcestruzzo fibrorinforzato fino alla pk 1+427.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle tipologie di conci previste per ogni sezione analizzata:

	SEZIONE DI CALCOLO	UNITÀ	TIPO CONCIO 1	TIPO CONCIO 2
1	0+279	Dlt		X
2	0+580 (*)	at1		X
3	0+680	BSSb Faglia	X	
4	0+865	BSSb	X	
5	1+123	PRL	X	
6	1+187	BSSa	X	
7	1+258	BSSb	X	

Tabella 11-1: Riepilogo delle tipologie di conci adottate nelle analisi

**(\*)Nota: Tale sezione soddisfa le verifiche anche considerando un anello costituito da conci prefabbricati in calcestruzzo fibro-rinforzato Tipo 1.**

Totale conci Tipo 1	Totale conci Tipo 2
<b>3462</b>	<b>2240</b>

Tabella 11-2: Numero totale conci per tipologia per galleria Finestra di forch GN03



APPALTATORE: 	<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>CL</td> <td>GN0300004</td> <td>C</td> <td>97 di 148</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	97 di 148													
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2																		

## 12. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della Finestra di Forch mediante scavo meccanizzato con conci fibro-rinforzati.

Per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative sono state condotte le verifiche, mediante analisi alle differenze finite; 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: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 98 di 148

## 13. ALLEGATI

### 13.1 CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI DIAGNOSI

#### 13.1.1 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680) – Diagnosi

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

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

Finestra di Forch  
pk. 0+680  
Diagnosi

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] .....	5.53000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	2.02500
Modulo di Young [MPa] .....	16300.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	1.37000
Angolo attrito picco [deg] .....	40.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.37000
Angolo attrito residuo [deg] .....	40.00000
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] ....	.000859
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	5.530000
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.000429
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.000249
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.000249
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	5.530000

##### 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] .....	.000859
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	5.530000

#### 13.1.2 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865) – Diagnosi

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	99 di 148

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Finestra di Forch  
pk. 0+865  
Diagnosi

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] ..... 5.53000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 4.86000  
Modulo di Young [MPa] ..... 16300.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .25000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] ..... 1.37900  
Angolo attrito picco [deg] ..... 40.00000  
Coesione residua [MPa] ..... 1.37900  
Angolo attrito residuo [deg] ..... 40.00000  
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] .... .002193  
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 6.088255  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001042  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .000680  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000636  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.648009

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] ..... .002193  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.088255

13.1.3 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123) – Diagnosi

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Finestra di Forch  
pk. 1+123  
Diagnosi

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)

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	100 di 148

- 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] .....	5.53000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	7.93800
Modulo di Young [MPa] .....	12600.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	1.22200
Angolo attrito picco [deg] .....	38.50000
Coesione residua [MPa] .....	1.22200
Angolo attrito residuo [deg] .....	38.50000
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] ....	.005924
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	7.144817
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002592
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001283
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001718
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.108633

#### 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] .....	.005924
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.144817

### 13.1.4 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187) – Diagnosi

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

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

Finestra di Forch  
pk. 1+187  
Diagnosi

- TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPIATO 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] .....	5.53000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	8.96400
Modulo di Young [MPa] .....	12300.00000

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:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>08 - GALLERIE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	101 di 148

Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	1.33200
Angolo attrito picco [deg] .....	37.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.33200
Angolo attrito residuo [deg] .....	37.00000
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] ....	.007244
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	7.405399
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.003119
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001468
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.002101
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.208736

#### 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] .....	.007244
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	7.405399

### 13.1.5 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+235) – Diagnosi

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

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

Finestra di Forch  
pk. 1+235  
Diagnosi

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] .....	5.53000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	-----
Tensione originaria [MPa] .....	9.99000
Modulo di Young [MPa] .....	3300.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .	.00000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.87700
Angolo attrito picco [deg] .....	30.00000
Coesione residua [MPa] .....	.87700
Angolo attrito residuo [deg] .....	30.00000
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] ....	.058033
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....	10.763388

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. FOGGIO. C 102 di 148

Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.021620
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.005774
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.016830
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	7.423357

#### 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] .....	.058033
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....	10.763388

## 13.2 CURVE CARATTERISTICHE IN FASE DI TERAPIA

### 13.2.1 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680) – Terapia

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

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

Finestra di Forch  
pk. 0+680  
Terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
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] .....	5.53000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa] .....	4.86000
Modulo di Young [MPa] .....	16300.00000
Coefficiente di Poisson .....	.25000
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] .....	5.53000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	5.53000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	1.37900
Angolo attrito picco [deg] .....	40.00000
Coesione residua [MPa] .....	1.37900
Angolo attrito residuo [MPa] .....	40.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRESA SCUDATA -----	
Spessore scudo metallico [m] .....	.07000
Gioco tra scudo e roccia [m] .....	.03000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Coefficiente di Poisson acciaio scudo .....	.30000
Modulo Young acciaio scudo [MPa] .....	200000.00000

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	103 di 148

Resistenza acciaio scudo [MPa] ..... 210000.00000  
Intasamento con filler (1=si,0=no) ..... 1

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 8.86400  
Spessore CLS [m] ..... .40000  
Modulo Young CLS [MPa] ..... 36400.00000  
Coefficiente di Poisson CLS ..... .25000  
Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 25.00000  
Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .08000

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] ..... .002188  
Raggio plastico galleria [m] ..... 6.097590  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001042  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .000678  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000635  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.650242

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00104  
LAMBDA : .50731

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00063  
LAMBDA : .30895

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00104  
LAMBDA : .50731

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
U [m] : .00068  
LAMBDA : .33022

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
U [m] : .00063  
LAMBDA : .30895

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

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00203  
LAMBDA : .95992

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00219  
LAMBDA : .99952

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00213  
LAMBDA : .98484

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
U [m] : .00211  
LAMBDA : .97975

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
U [m] : .00210  
LAMBDA : .97916

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	104 di 148

### 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] ..... .002188  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.097590

FRESA SCUDATA -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00063  
 Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000  
 Tensione scudo [MPa] ..... .00000  
 Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000  
 Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362  
 Rigidezza scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
 Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03063  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03063  
 Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000  
 Tensione CLS [MPa] ..... .00000  
 Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000  
 Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753  
 Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3030.79639  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999516

### 13.2.2 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865) – Terapia

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

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

Finestra di Forch  
 pk. 0+865  
 Terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 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] ..... 5.53000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
 Tensione originaria [MPa] ..... 4.86000  
 Modulo di Young [MPa] ..... 16300.00000  
 Coefficiente di Poisson ..... .25000  
 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] ..... 5.53000  
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000  
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 5.53000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] ..... 1.37900  
 Angolo attrito picco [deg] ..... 40.00000  
 Coesione residua [MPa] ..... 1.37900  
 Angolo attrito residuo [MPa] ..... 40.00000  
 Angolo dilatanza [deg] ..... .00000



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	105 di 148

Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000  
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

FRESA SCUDATA -----  
Spessore scudo metallico [m] ..... .07000  
Gioco tra scudo e roccia [m] ..... .03000  
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di Poisson acciaio scudo ..... .30000  
Modulo Young acciaio scudo [MPa] ..... 200000.00000  
Resistenza acciaio scudo [MPa] ..... 210000.00000  
Intasamento con filler (1=si,0=no) ..... 1

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 8.86400  
Spessore CLS [m] ..... .40000  
Modulo Young CLS [MPa] ..... 36400.00000  
Coefficiente di Poisson CLS ..... .25000  
Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 25.00000  
opzione calcolo rivestimento ..... 0  
[0 priverestimenti non collaboranti a lungo termine]  
[1 priverestimenti collaboranti a lungo termine]  
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .08000

#### 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] ..... .002188  
Raggio plastico galleria [m] ..... 6.097590  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .001042  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .000678  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .000635  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.650242

#### STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00104  
LAMBDA : .50731

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00063  
LAMBDA : .30895

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00104  
LAMBDA : .50731

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
U [m] : .00068  
LAMBDA : .33022

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
U [m] : .00063  
LAMBDA : .30895

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

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00203  
LAMBDA : .95992

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00219  
LAMBDA : .99952

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00213  
LAMBDA : .98484

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	106 di 148

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00211  
LAMBDA : .97975

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00210  
LAMBDA : .97916

#### 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] ..... .002188  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.097590

FRESA SCUDATA -----  
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00063  
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000  
Tensione scudo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000  
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362  
Rigidezza scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03063  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03063  
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000  
Tensione CLS [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000  
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753  
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3030.79639  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999516

### 13.2.3 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123) – Terapia

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

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

Finestra di Forch  
pk. 1+123  
Terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
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] ..... 5.53000

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
Tensione originaria [MPa] ..... 7.93800  
Modulo di Young [MPa] ..... 12600.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .25000

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	107 di 148

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] .....	5.53000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....	5.53000
<b>RESISTENZA ROCCIA</b>	
Coesione picco [MPa] .....	1.22200
Angolo attrito picco [deg] .....	38.50000
Coesione residua [MPa] .....	1.22200
Angolo attrito residuo [MPa] .....	38.50000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

<b>FRESA SCUDATA</b> -----	
Spessore scudo metallico [m] .....	.07000
Gioco tra scudo e roccia [m] .....	.03000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Coefficiente di Poisson acciaio scudo .....	.30000
Modulo Young acciaio scudo [MPa] .....	200000.00000
Resistenza acciaio scudo [MPa] .....	210000.00000
Intasamento con filler (1=si,0=no) .....	1

<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO</b> -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	8.86400
Spessore CLS [m] .....	.40000
Modulo Young CLS [MPa] .....	36400.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.25000
Resistenza compressione CLS [MPa] .....	25.00000
Opzione calcolo rivestimento .....	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.08000

**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] .....	.005933
Raggio plastico galleria [m] .....	7.170935
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.002601
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.001285
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.001721
Raggio plastico fronte sferico [m] .....	6.121621

**STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA)** -----

<b>Metodo Panet-Guenot</b>	
U [m] :	.00260
LAMBDA :	.59916
<b>Trasformazione Omotetica</b>	
U [m] :	.00172
LAMBDA :	.39642
<b>Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico</b>	
U [m] :	.00260
LAMBDA :	.59916
<b>Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns</b>	
U [m] :	.00128
LAMBDA :	.29601
<b>Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica</b>	
U [m] :	.00172
LAMBDA :	.39642

**STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL 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:		<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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	108 di 148

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00539  
LAMBDA : .97396

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00592  
LAMBDA : .99931

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00564  
LAMBDA : .98686

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
U [m] : .00553  
LAMBDA : .98141

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
U [m] : .00557  
LAMBDA : .98323

#### 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] ..... .005933  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.170935

FRESA SCUDATA -----  
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00172  
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000  
Tensione scudo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000  
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2641.40362  
Rigidezza scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03172  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03172  
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000  
Tensione CLS [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000  
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753  
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3030.79639  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999306

### 13.2.4 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187) – Terapia

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Finestra di Forch  
pk. 1+187  
Terapia

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
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)

APPALTATORE: 	<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 109 di 148

5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] ..... 5.53000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa] ..... 8.96400  
Modulo di Young [MPa] ..... 12600.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .25000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . . . . .0.00000  
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. . . .0.00000  
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. . . .0.00000  
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 5.53000  
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. . . .0.00000  
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 5.53000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... 1.33200  
Angolo attrito picco [deg] ..... 37.00000  
Coesione residua [MPa] ..... 1.33200  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 37.00000  
Angolo dilatanza [deg] ..... .00000  
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000  
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

FRESA SCUDATA -----

Spessore scudo metallico [m] ..... .07000  
Gioco tra scudo e roccia [m] ..... .03000  
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di Poisson acciaio scudo ..... .30000  
Modulo Young acciaio scudo [MPa] ..... 200000.00000  
Resistenza acciaio scudo [MPa] ..... 210000.00000  
Intasamento con filler (1=si,0=no) ..... 1

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----

Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 8.86400  
Spessore CLS [m] ..... .40000  
Modulo Young CLS [MPa] ..... 36400.00000  
Coefficiente di Poisson CLS ..... .25000  
Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 25.00000  
Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .08000

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] ..... .007084  
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.426993  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000  
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .003056  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001435  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .002054  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 6.216915

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

Metodo Panet-Guenot  
U [m] : .00306  
LAMBDA : .62350

Trasformazione Omotetica  
U [m] : .00205  
LAMBDA : .41914

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico  
U [m] : .00306  
LAMBDA : .62350

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	110 di 148

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00144  
LAMBDA : .29285

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00205  
LAMBDA : .41914

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00640  
LAMBDA : .97420

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00706  
LAMBDA : .99920

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00669  
LAMBDA : .98611

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00654  
LAMBDA : .98026

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00660  
LAMBDA : .98247

#### 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] ..... .007084  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.426993

FRESA SCUDATA -----  
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .00205  
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000  
Tensione scudo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000  
Pressione rottura scudo ..... 2641.40362  
Rigidezza scudo [MPa] ..... 2815.00237

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .03205  
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .03205  
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00000  
Tensione CLS [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1000000.00000  
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.76753  
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3030.79639  
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .999196

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C 111 di 148

### 13.2.5 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+235) – Terapia con extrascavo

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

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

Finestra di Forch  
pk. 1+187  
Terapia con extrascavo

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
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] ..... 5.56500

PARAMETRI GEOTECNICI -----  
Tensione originaria [MPa] ..... 8.96400  
Modulo di Young [MPa] ..... 3300.00000  
Coefficiente di Poisson ..... .25000  
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] ..... 5.56500  
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000  
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 5.56500  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] ..... .87700  
Angolo attrito picco [deg] ..... 30.00000  
Coesione residua [MPa] ..... .87700  
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000  
Angolo dilatanza [deg] ..... .00000  
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000  
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

FRESA SCUDATA -----  
Spessore scudo metallico [m] ..... .07000  
Gioco tra scudo e roccia [m] ..... .07000  
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di Poisson acciaio scudo ..... .30000  
Modulo Young acciaio scudo [MPa] ..... 200000.00000  
Resistenza acciaio scudo [MPa] ..... 210000.00000  
Intasamento con filler (1=si,0=no) ..... 1

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----  
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 8.86400  
Spessore CLS [m] ..... .40000  
Modulo Young CLS [MPa] ..... 36400.00000  
Coefficiente di Poisson CLS ..... .25000  
Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 25.00000  
Opzione calcolo rivestimento ..... 0  
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .08000

#### 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] ..... .047882  
Raggio plastico galleria [m] ..... 10.382011  
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	112 di 148

Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .018210  
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .004764  
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .013886  
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 7.316644

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01821  
LAMBDA : .79282

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01389  
LAMBDA : .69690

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .01821  
LAMBDA : .79282

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00476  
LAMBDA : .25298

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01389  
LAMBDA : .69690

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

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .04062  
LAMBDA : .97464

Trasformazione Omotetica

U [m] : .04697  
LAMBDA : .99719

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .03854  
LAMBDA : .96584

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .03498  
LAMBDA : .94869

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .03736  
LAMBDA : .96047

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] ..... .047882  
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 10.382011

FRESA SCUDATA -----  
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .00000  
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01389  
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00000  
Tensione scudo [MPa] ..... .00000  
Coefficiente di sicurezza scudo ..... .00000  
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 2624.89617  
Rigidità scudo [MPa] ..... 2797.09016

Il rivestimento prefabbricato non entra in contatto con la roccia.

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... .00000  
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .00000



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2		IBOU	1BEZZ	CL	GN0300004	C	113 di 148

Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.08386
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.08386
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00000
Tensione CLS [MPa] .....	.00000
Coefficiente di sicurezza CLS .....	1000000.00000
Pressione rottura CLS [MPa] .....	1.75668
Rigidezza anello CLS [MPa] .....	3010.26526
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.997189

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 114 di 148

### 13.3 OUTPUT PLAXIS 2D

#### 13.3.1 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 1 (pk. 0+279)

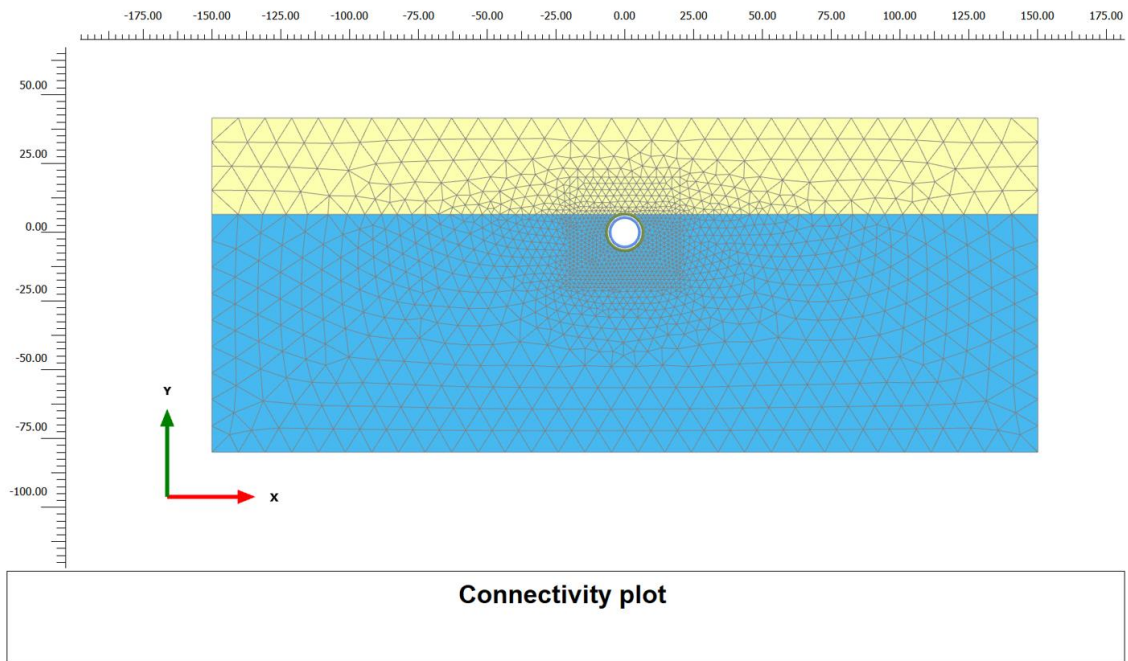


Figura 13–1: Mesh

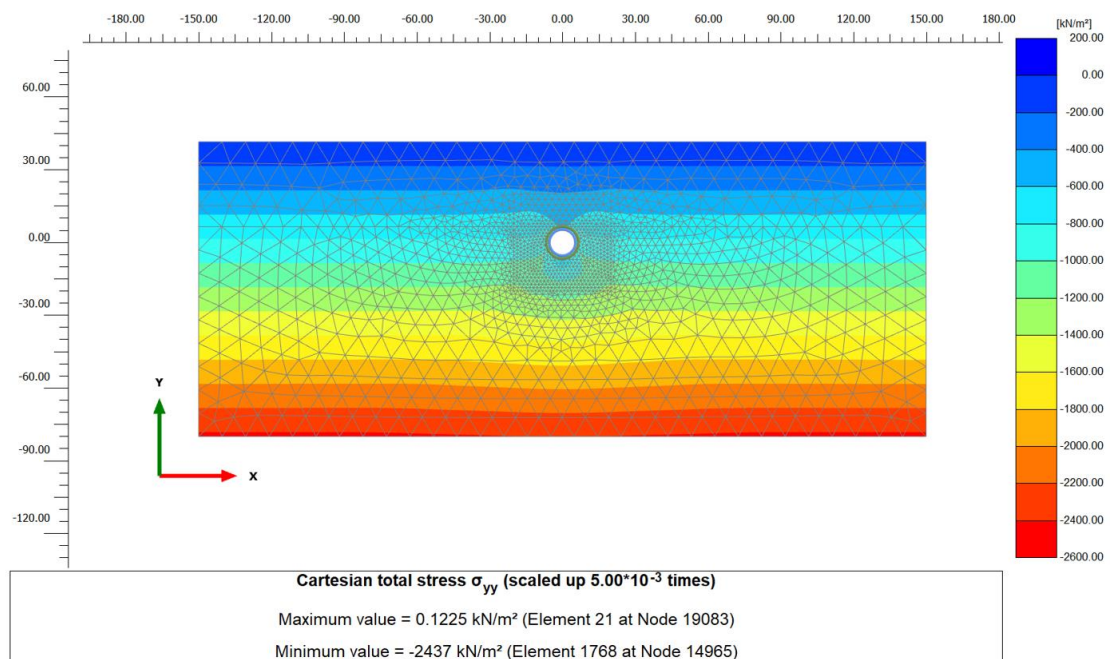


Figura 13–2: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 115 di 148

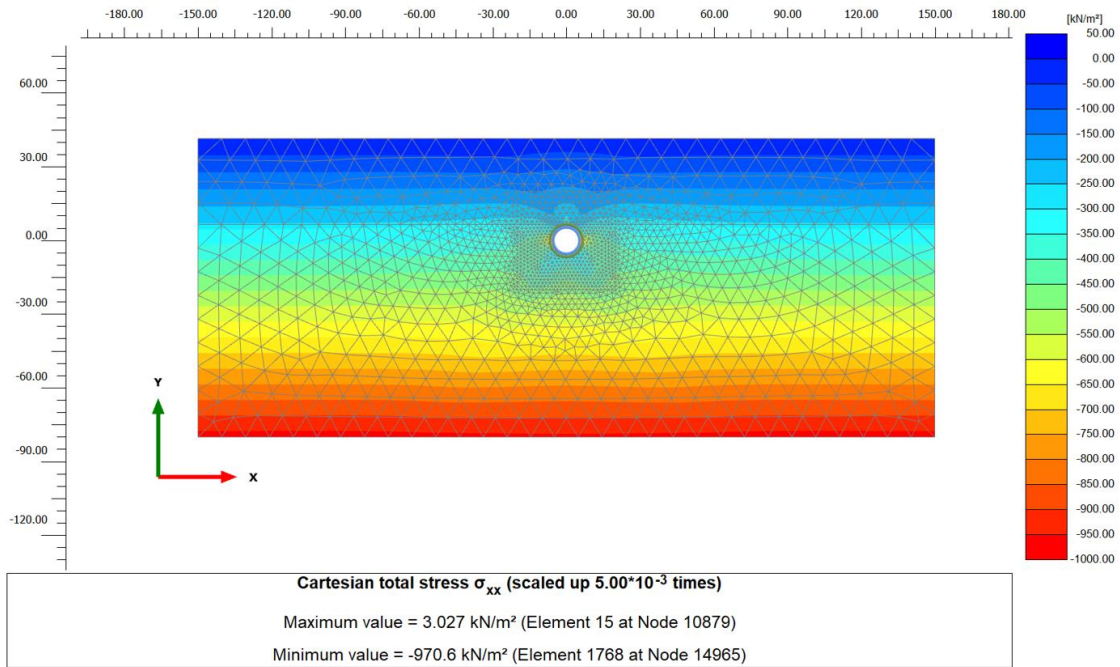


Figura 13-3: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase2

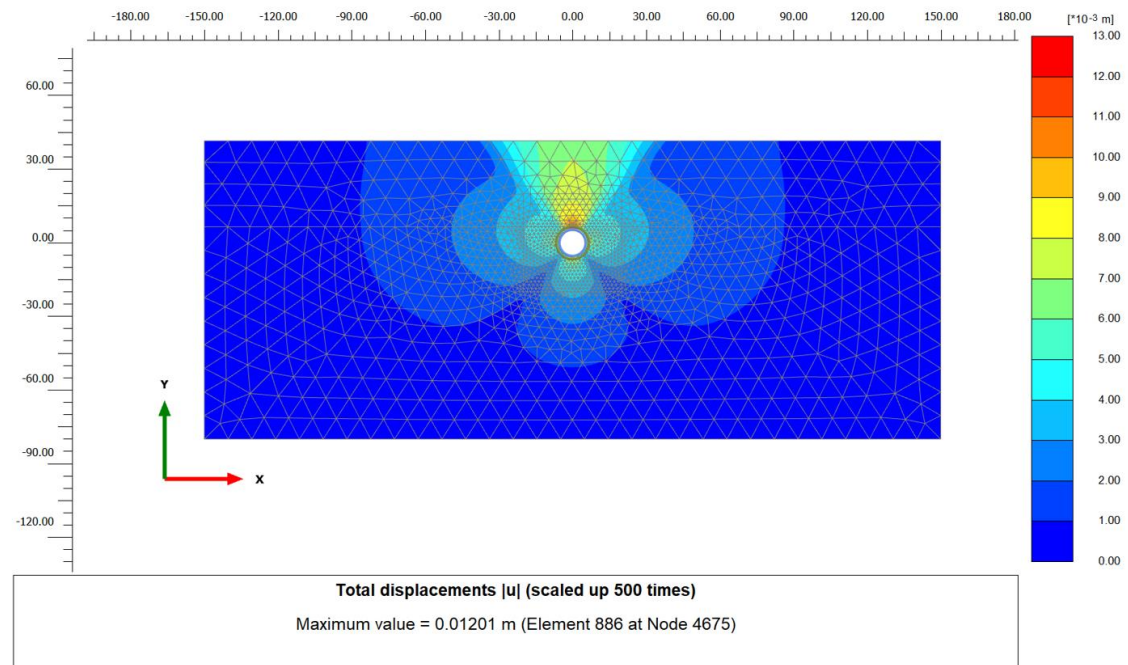


Figura 13-4: Spostamenti  $|u|$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 116 di 148

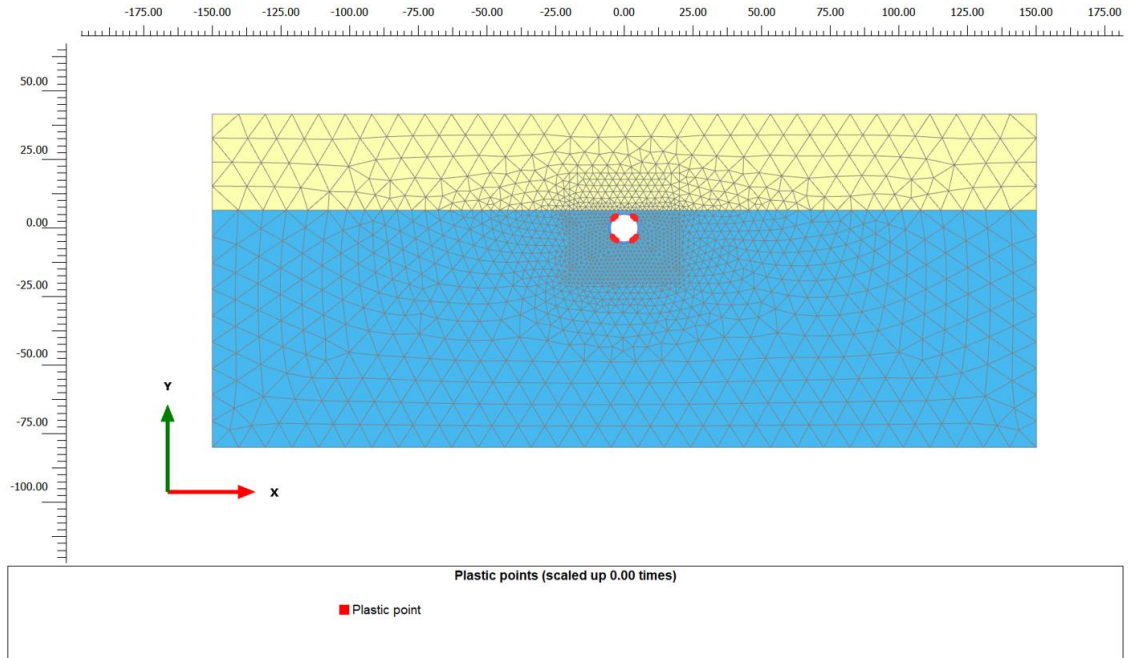


Figura 13-5: Zone di plasticizzazione Fase 2

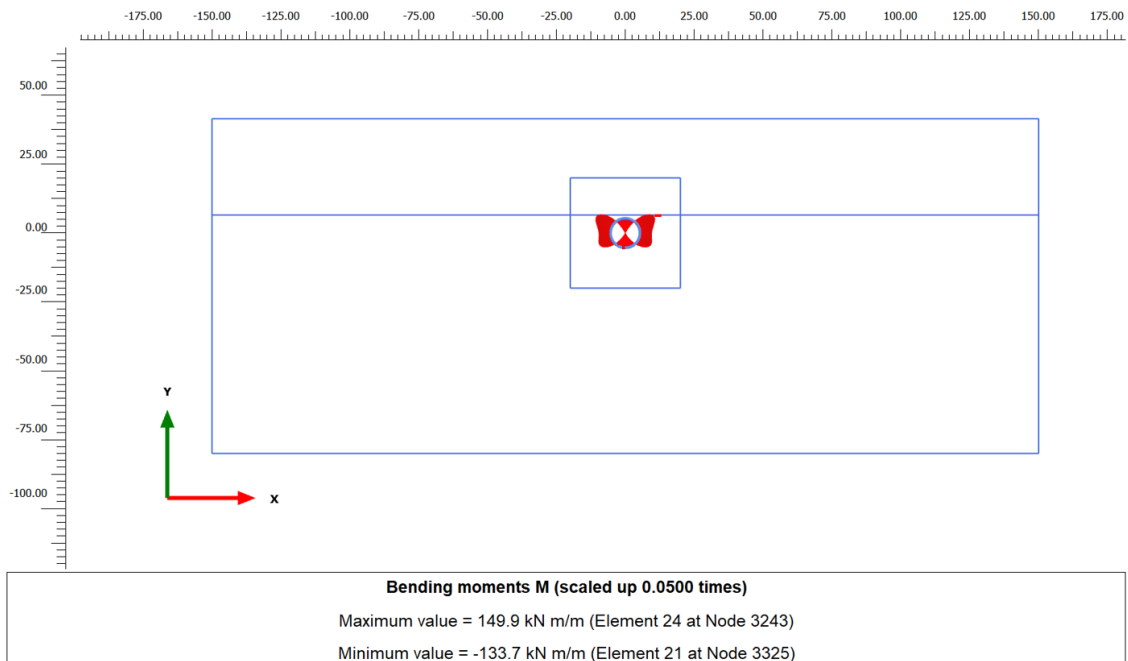


Figura 13-6: Sollecitazione momento flettente Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 117 di 148

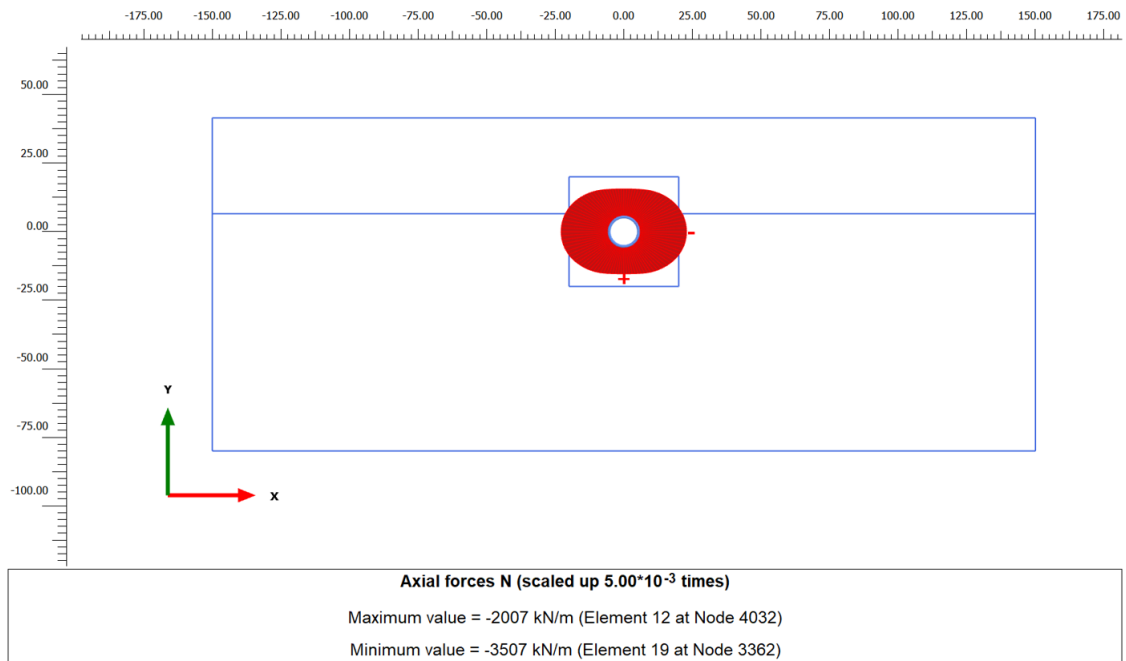


Figura 13–7: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2

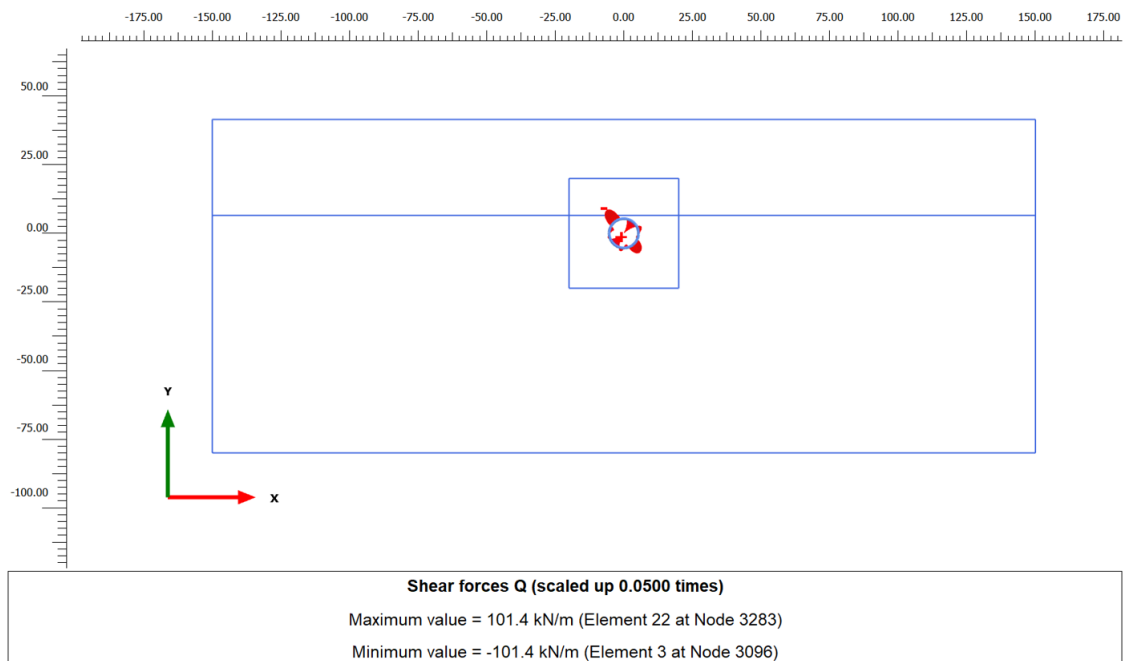


Figura 13–8: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 118 di 148

### 13.3.2 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 2 (pk. 0+580)

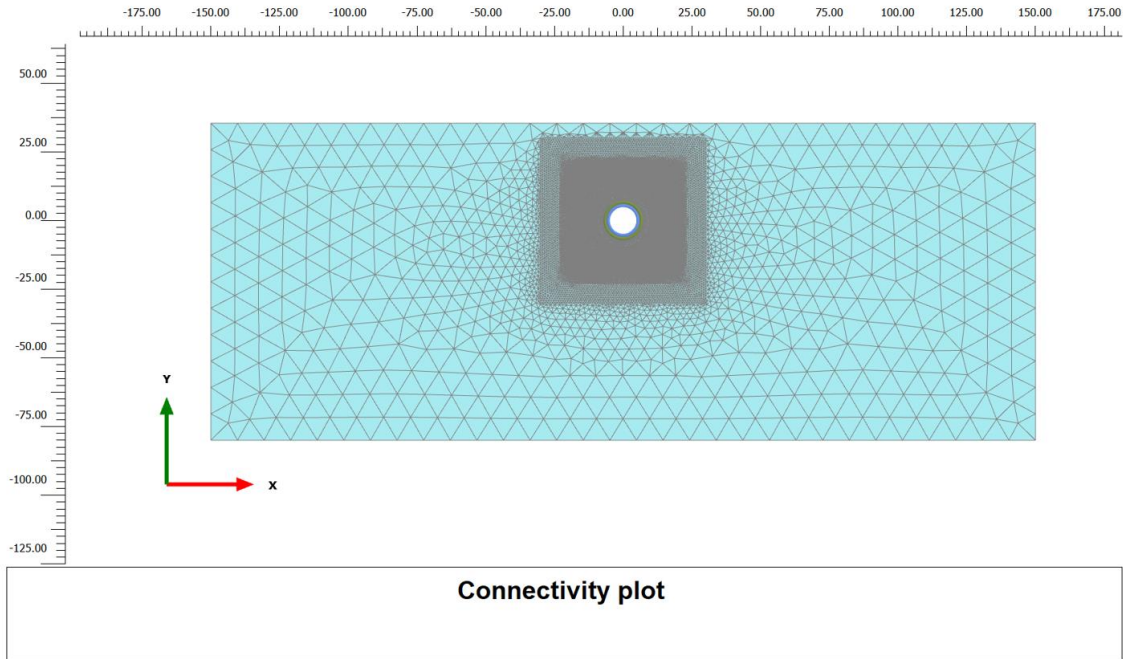


Figura 13–9: Mesh

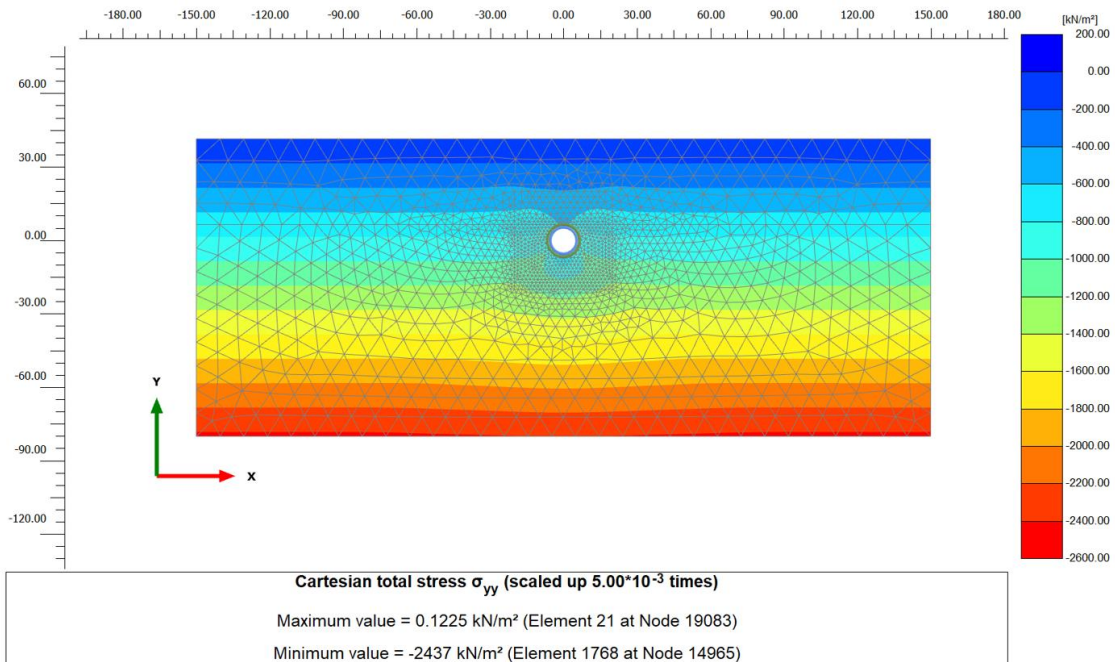


Figura 13–10: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 119 di 148

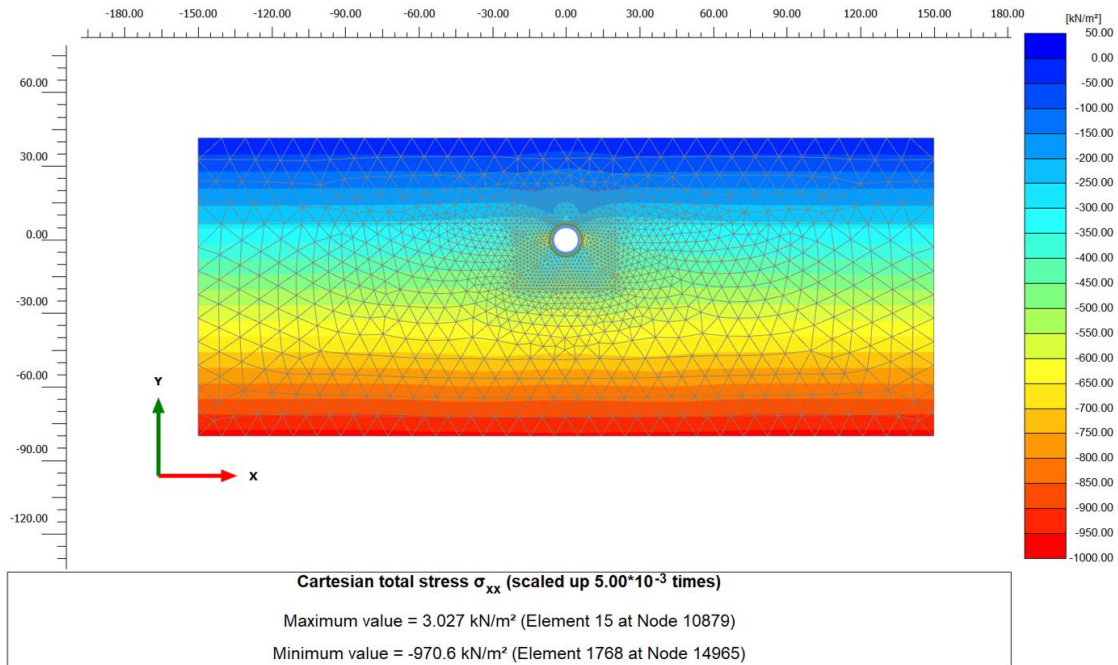


Figura 13–11: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 2

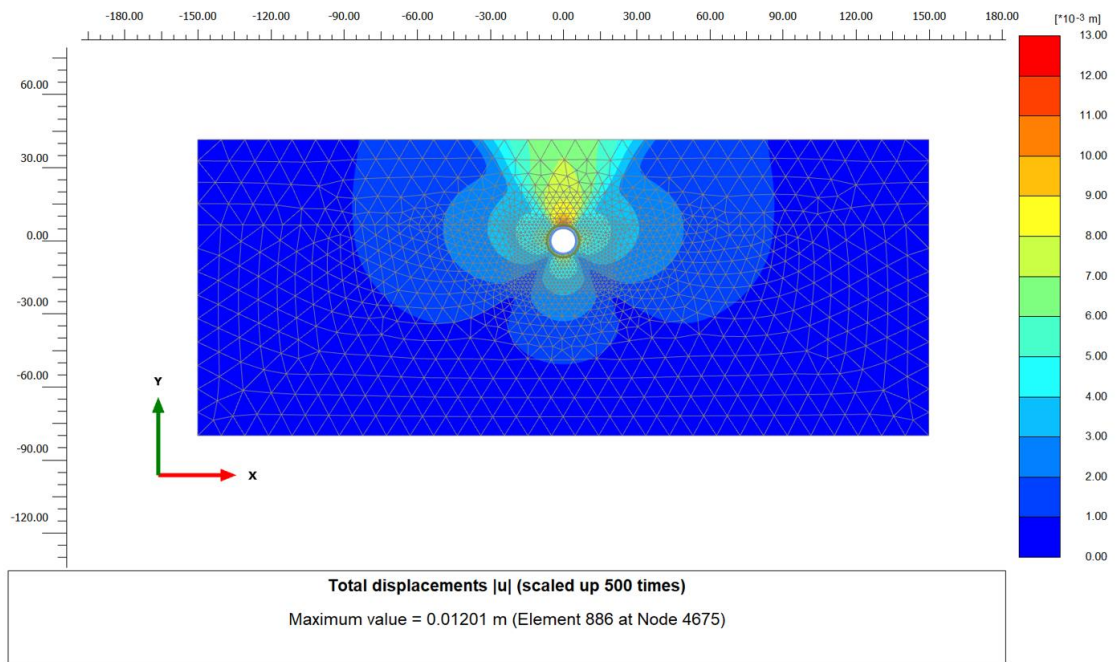


Figura 13–12: Spostamenti  $|u|$  Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 120 di 148

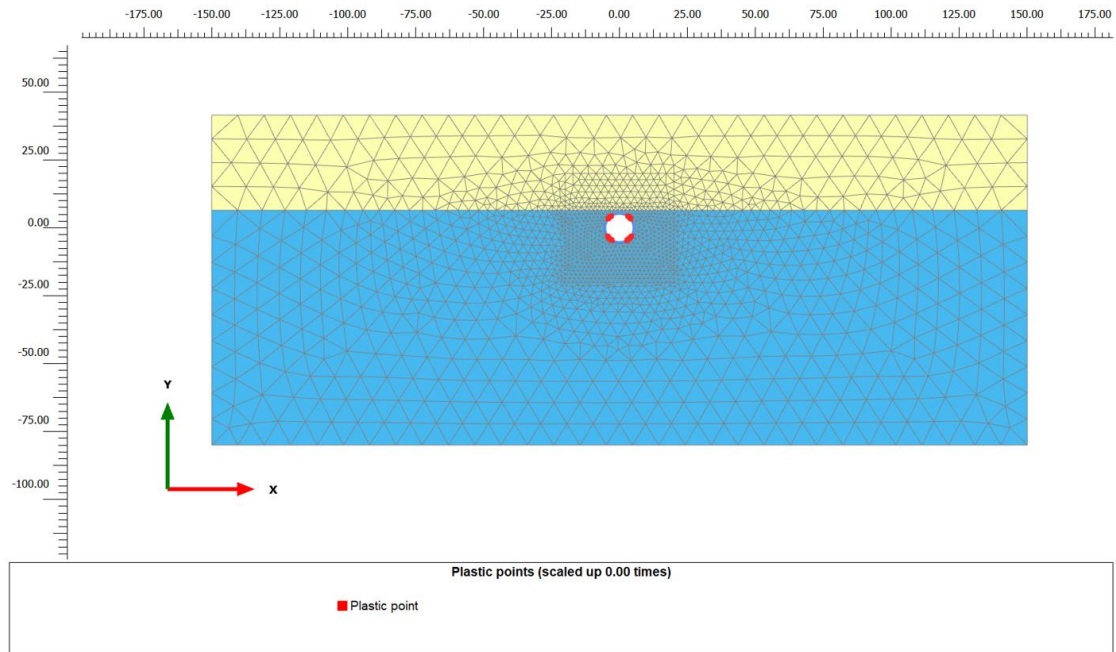


Figura 13–13: Zone di plasticizzazione Fase 2

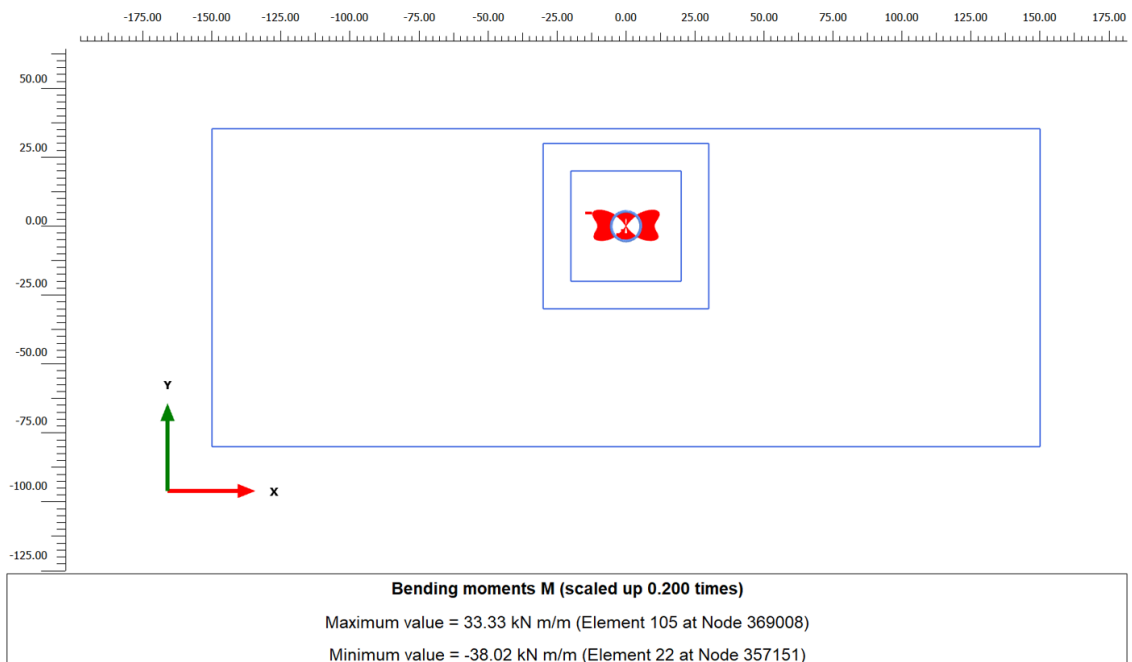


Figura 13–14: Sollecitazione momento flettente Fase 2



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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 121 di 148

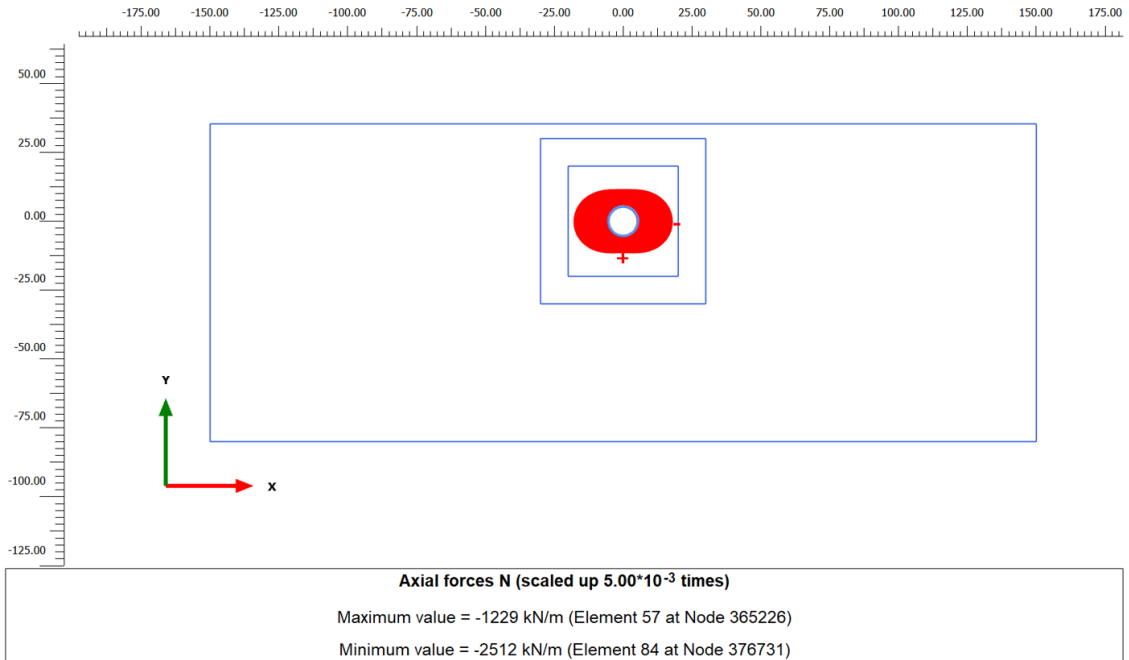


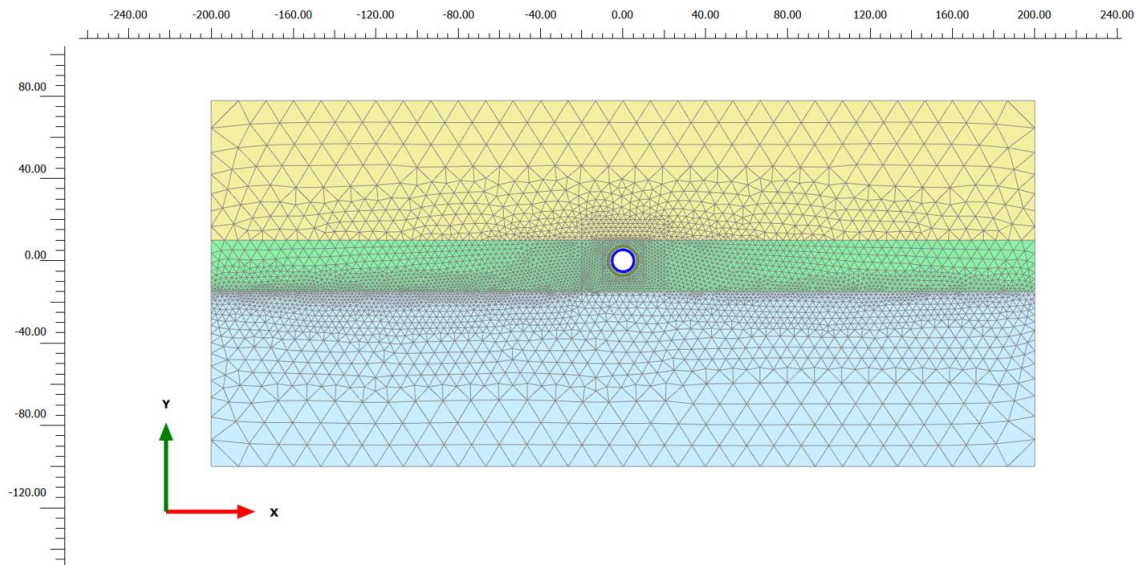
Figura 13–15: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2



Figura 13–16: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2

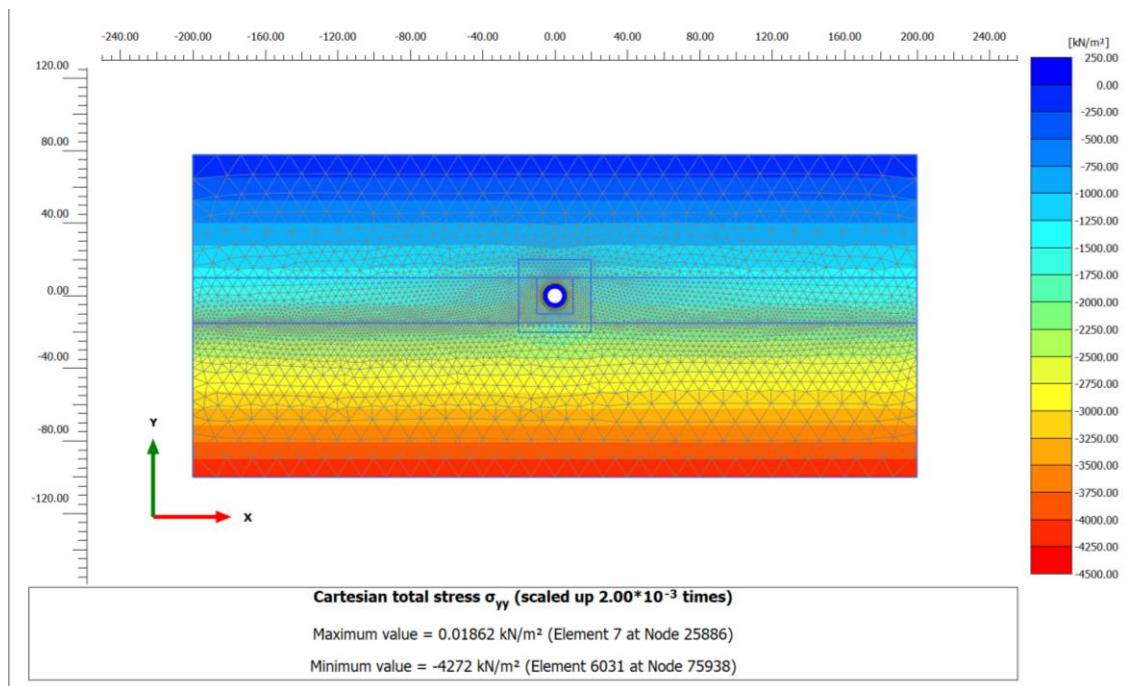
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 122 di 148

### 13.3.3 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 3 (pk. 0+680)



**Connectivity plot**

*Figura 13–17: Mesh*



*Figura 13–18: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 123 di 148

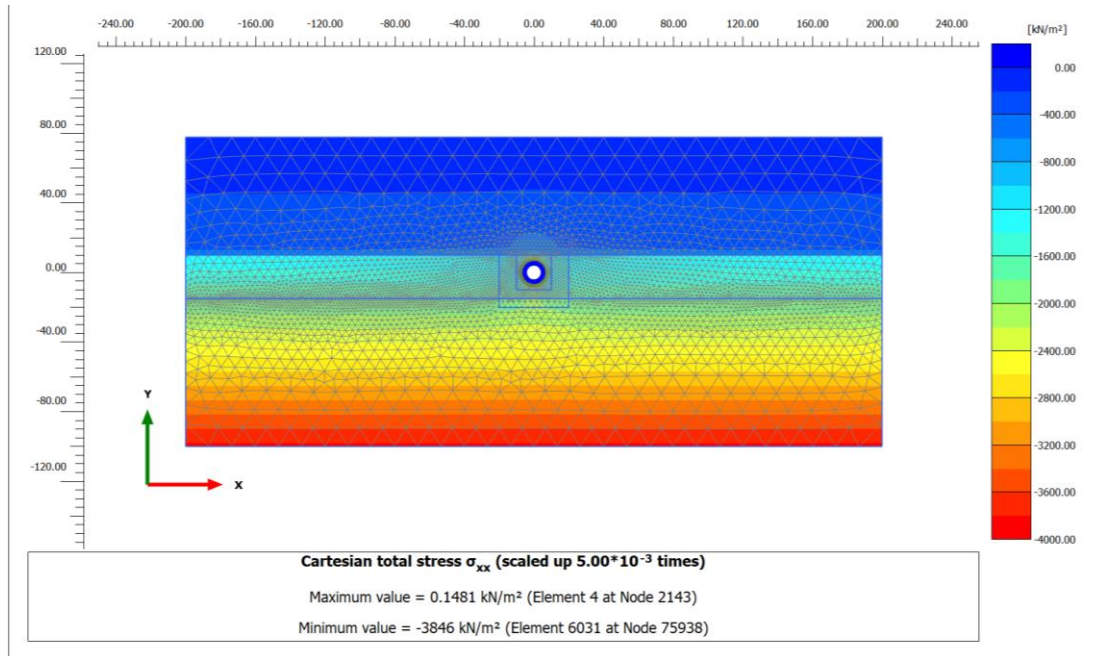


Figura 13–19: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 2

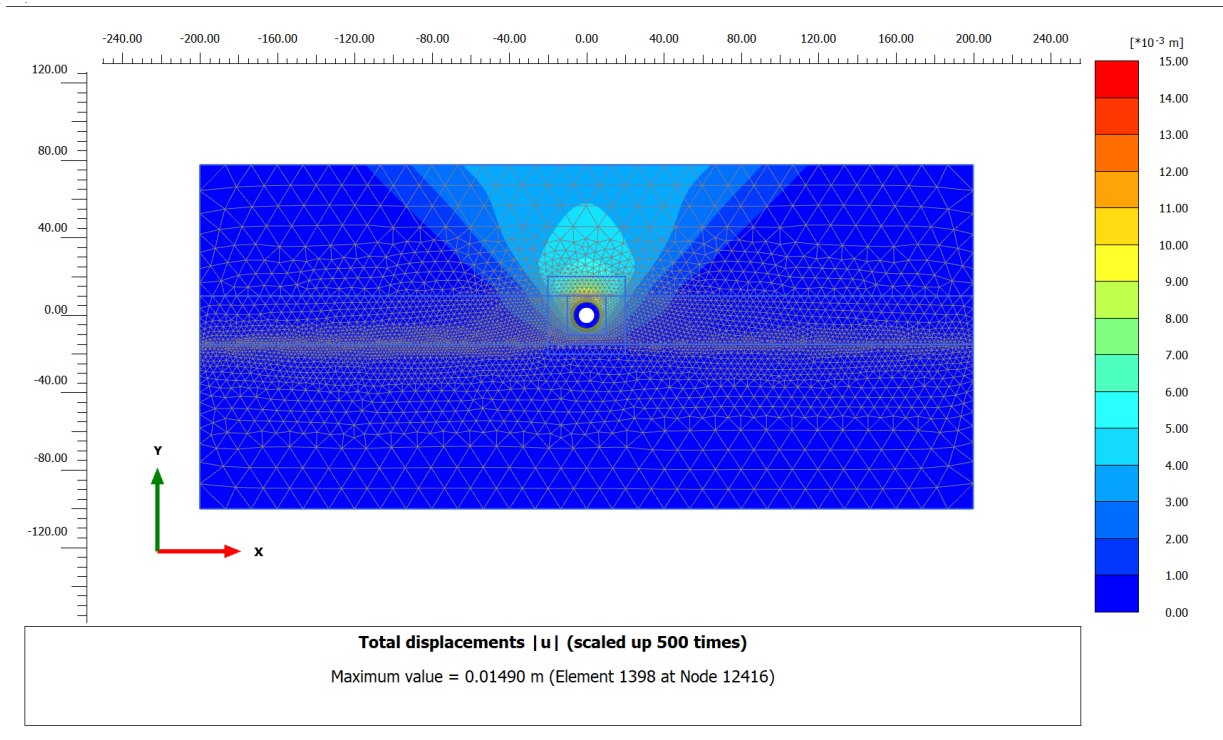


Figura 13–20: Spostamenti  $|u|$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 124 di 148

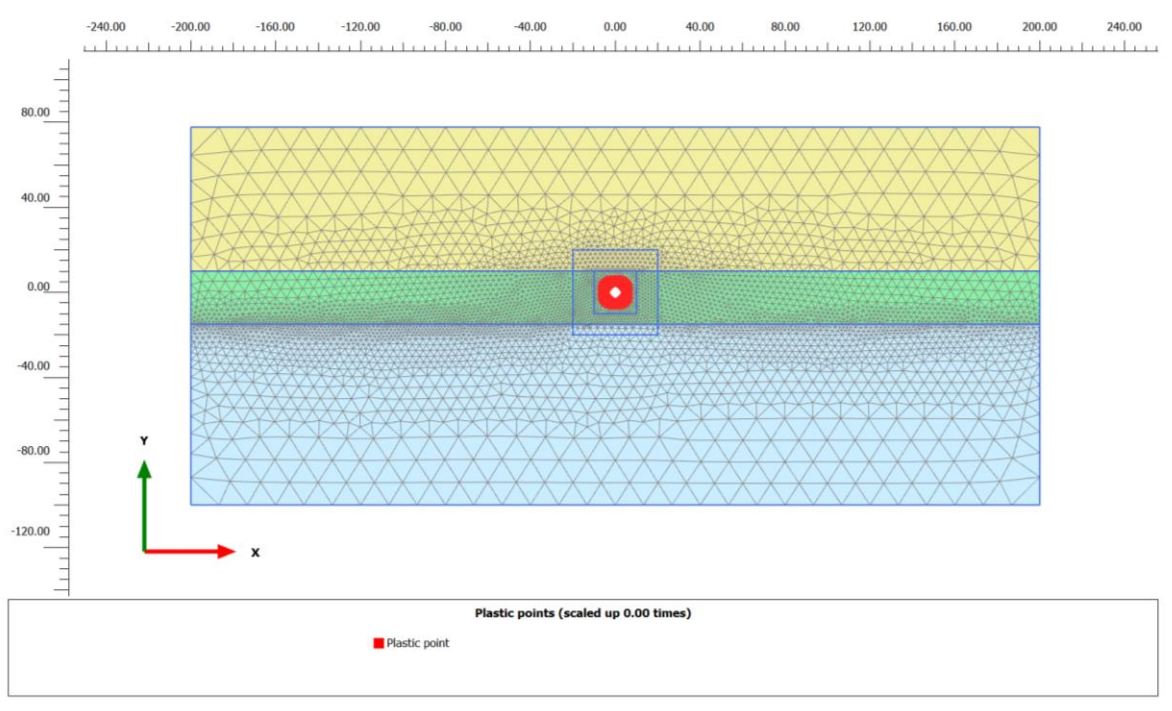


Figura 13-21: Zone di plasticizzazione Fase 2

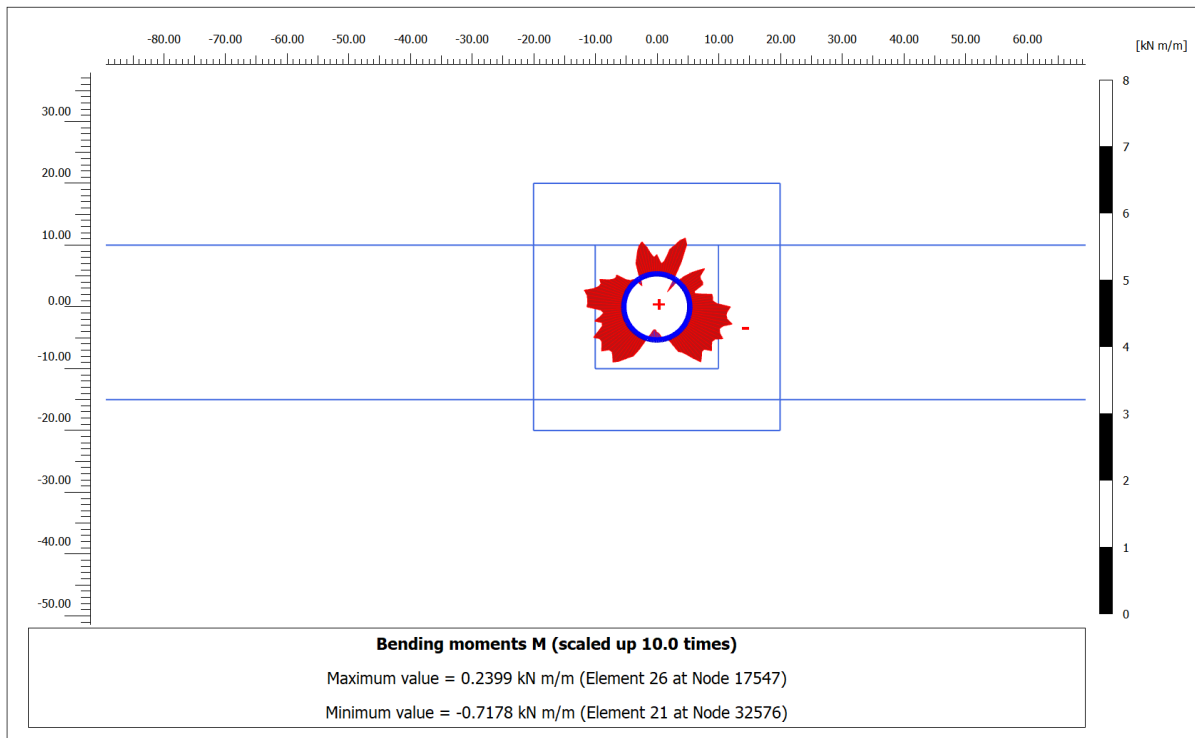


Figura 13-22: Sollecitazione momento flettente Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 125 di 148

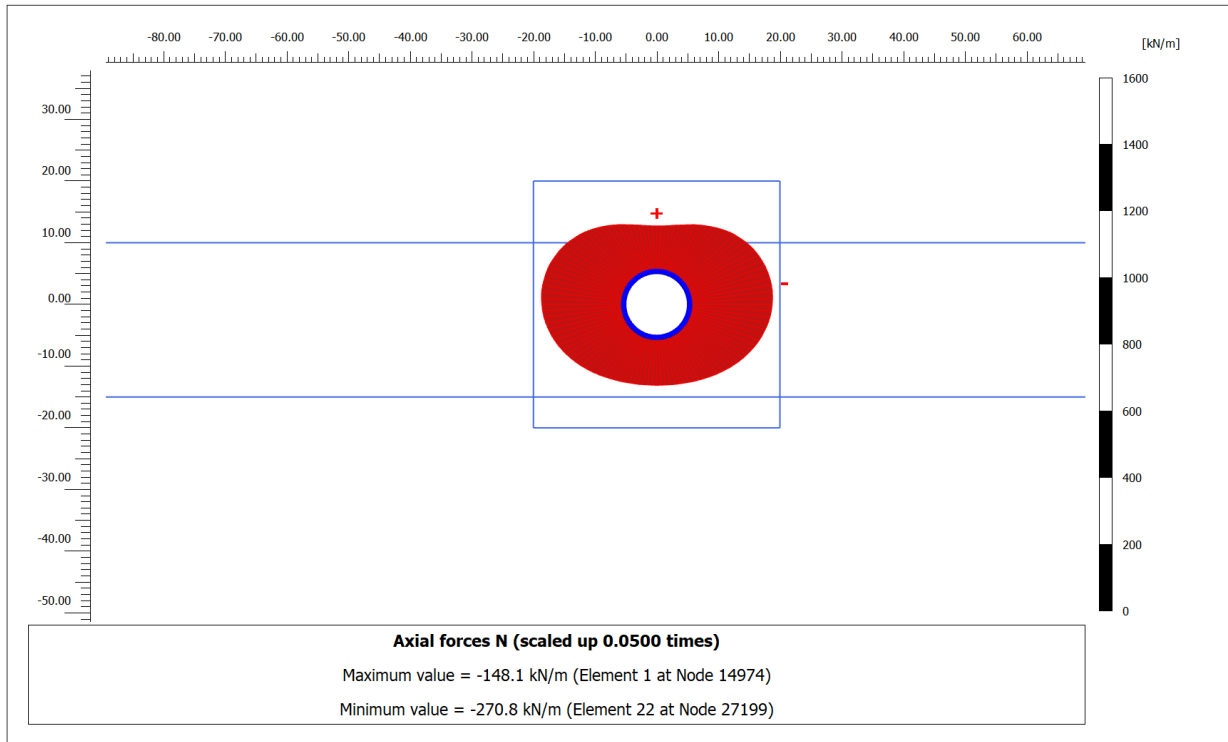


Figura 13–23: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2

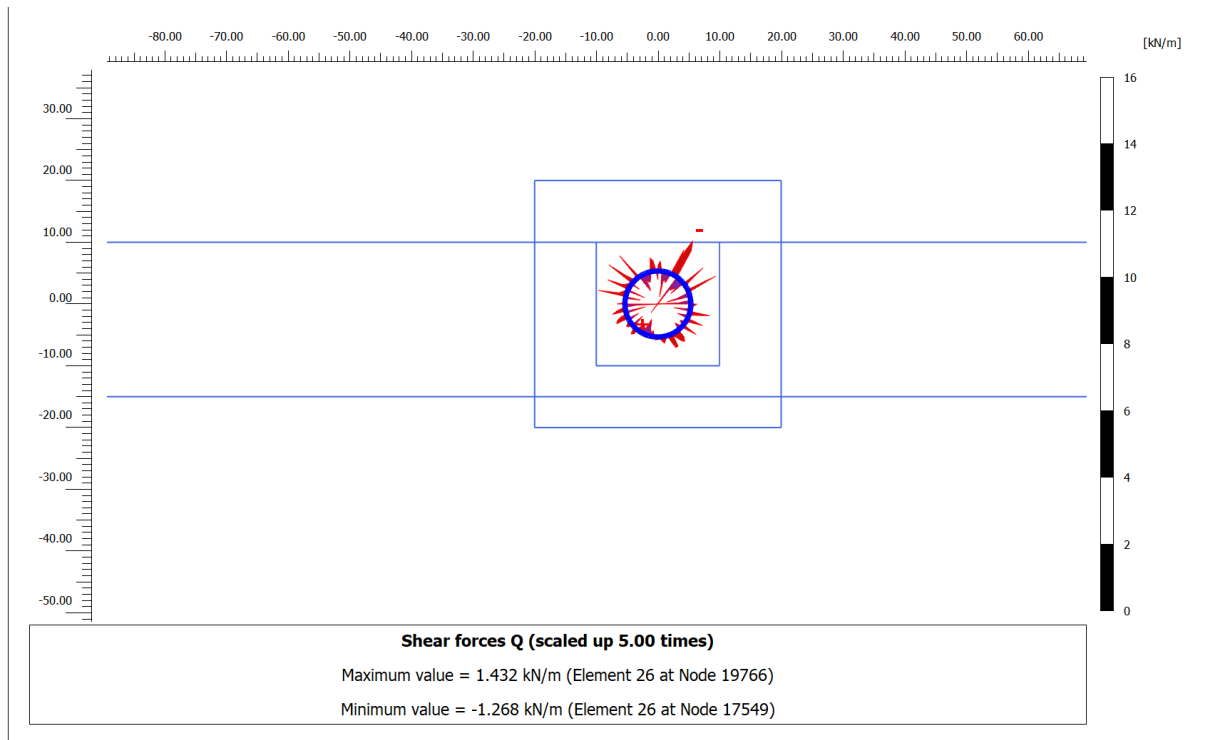


Figura 13–24: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 126 di 148

### 13.3.4 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 4 (pk. 0+865)

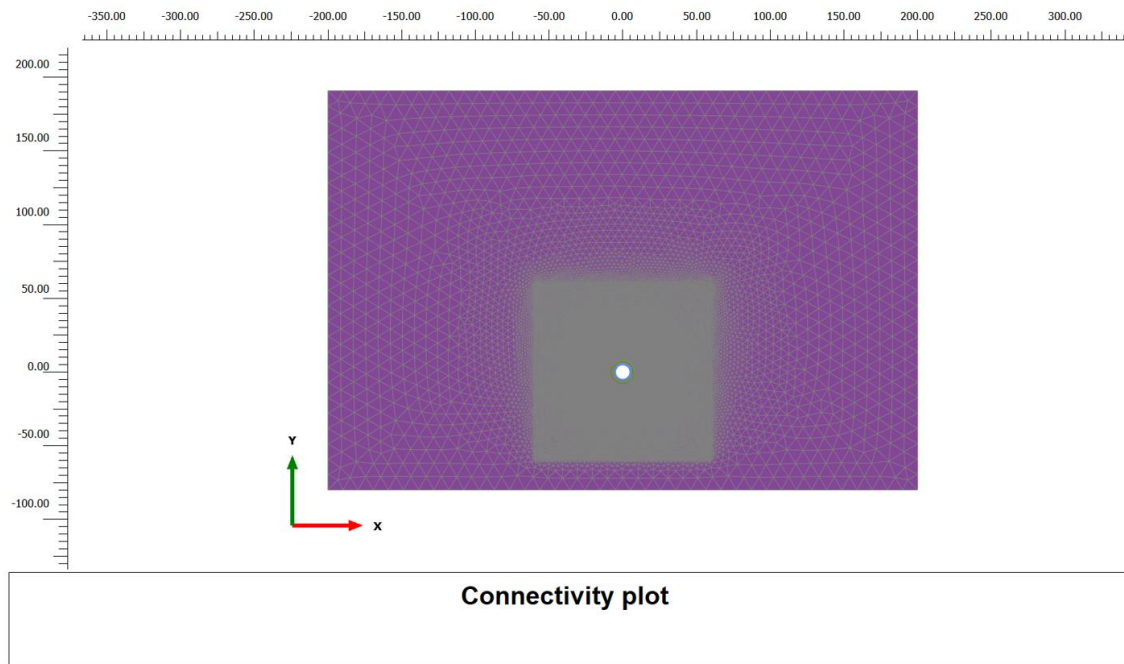


Figura 13–25: Mesh

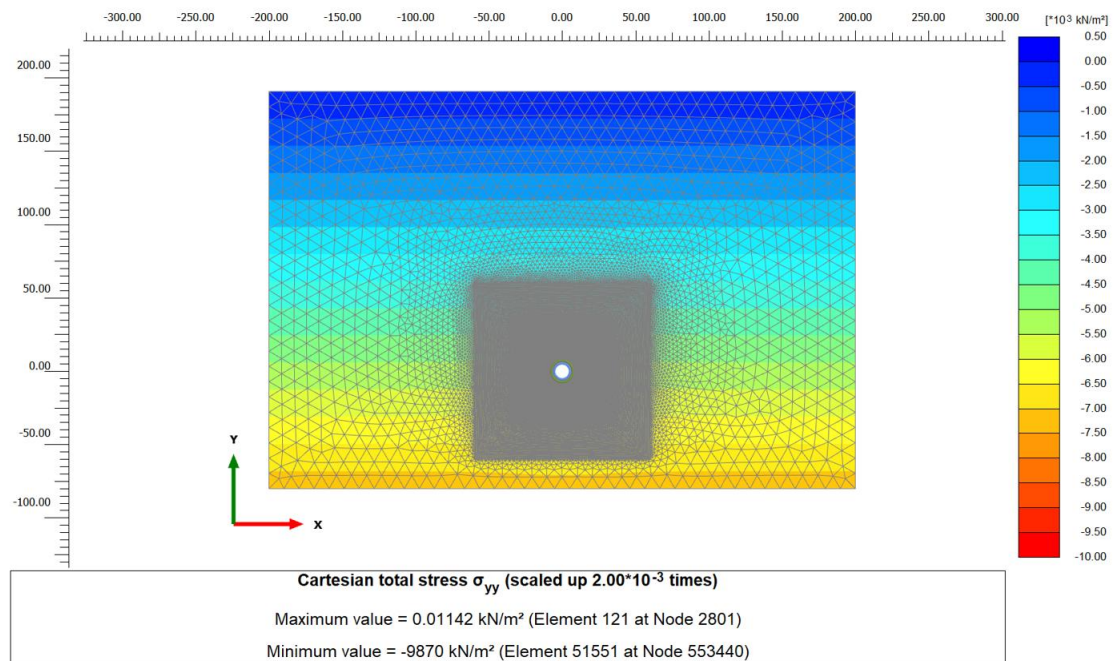


Figura 13–26: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 127 di 148

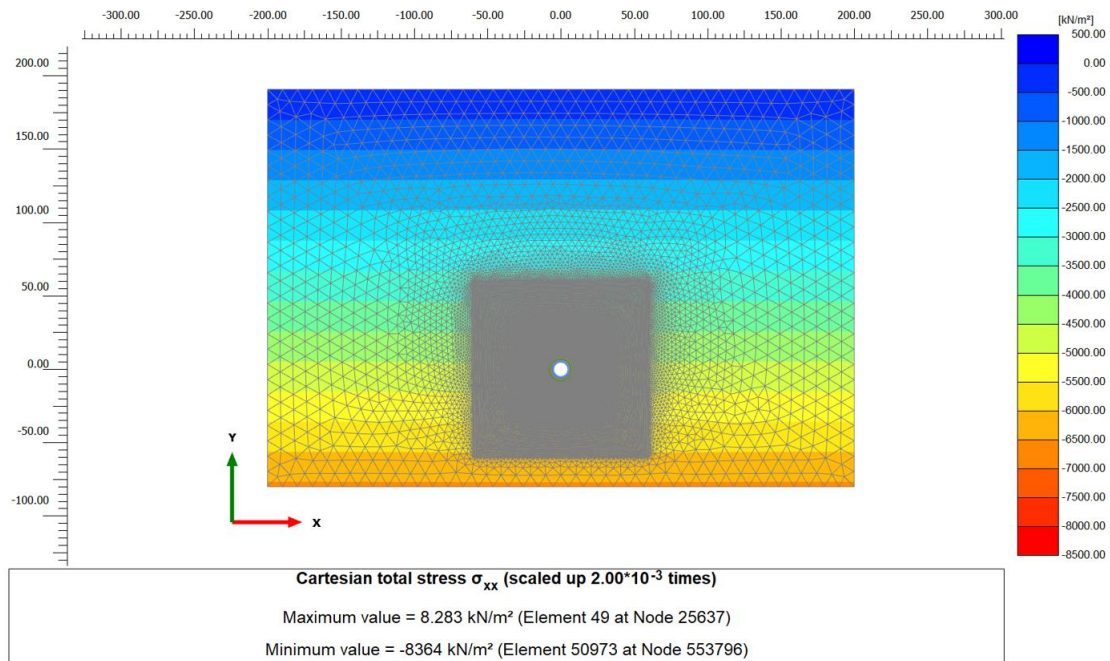


Figura 13–27: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase2

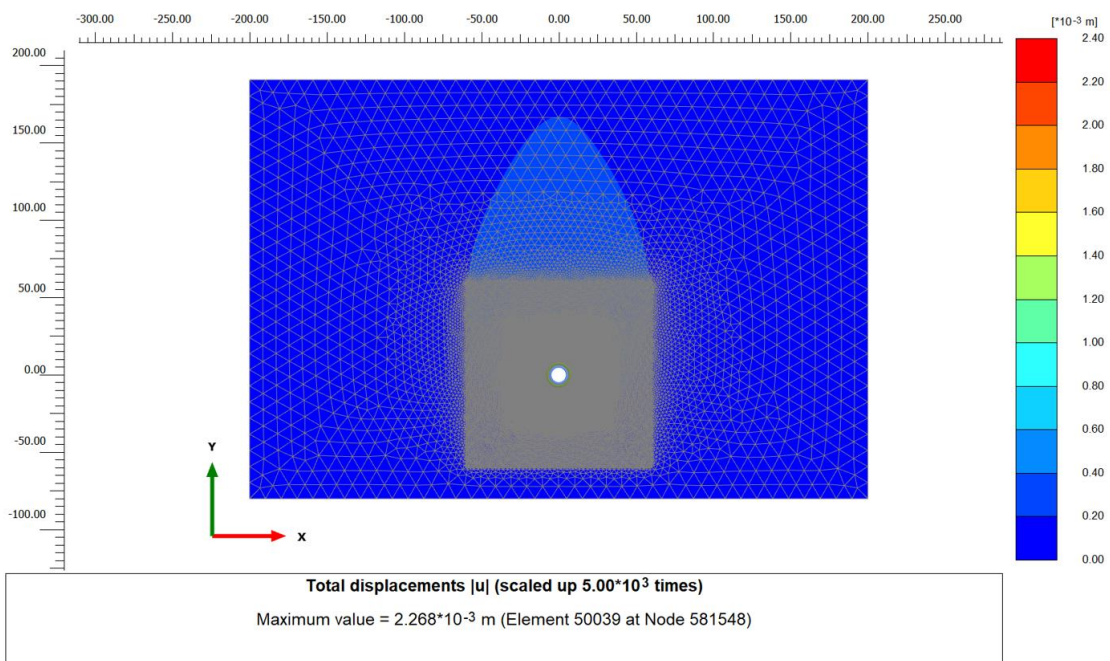


Figura 13–28: Spostamenti  $|u|$  Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 128 di 148

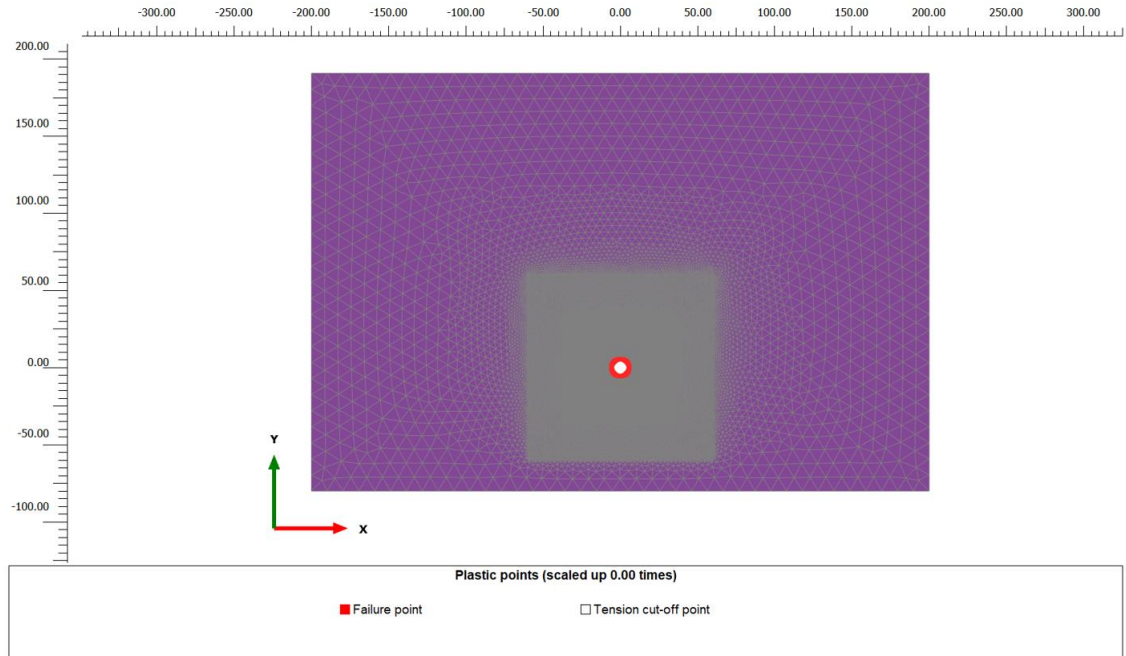


Figura 13–29: Zone di plasticizzazione Fase 2

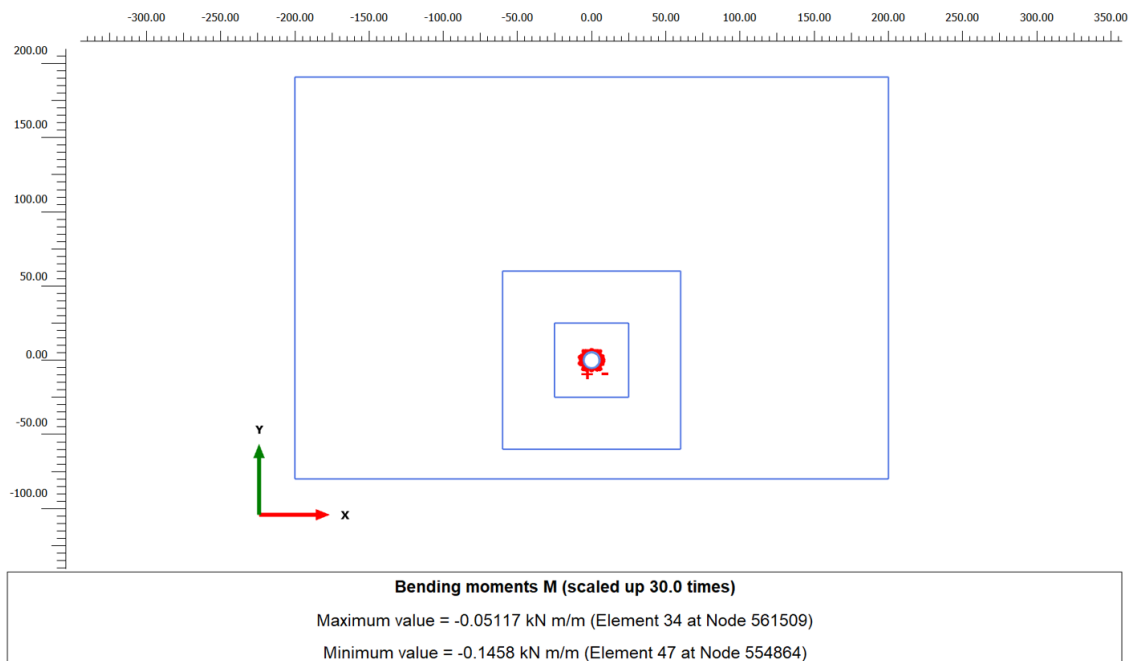


Figura 13–30: Sollecitazione momento flettente Fase 2



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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0300004</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>129 di 148</b>

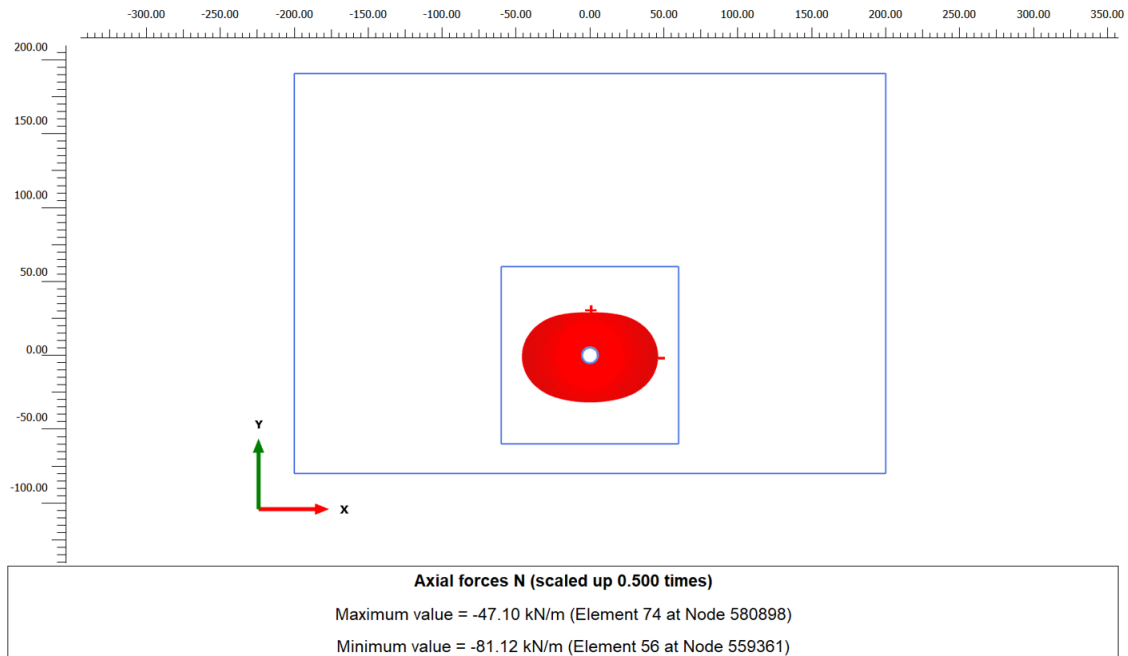


Figura 13–31: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2

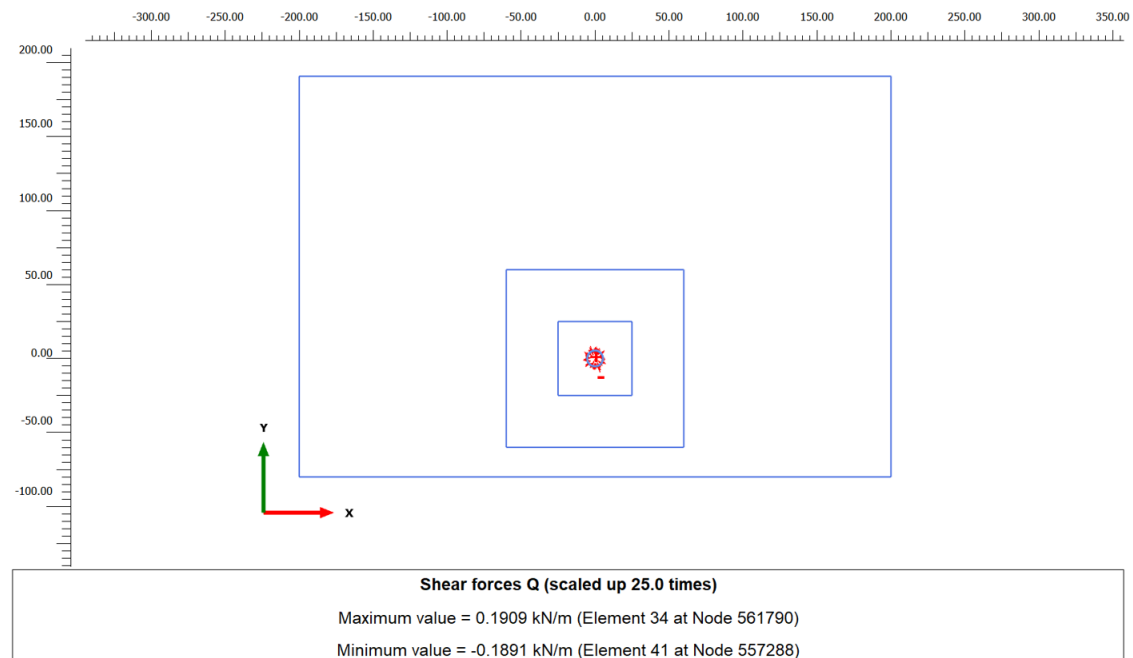


Figura 13–32: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 130 di 148

### 13.3.5 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 5 (pk. 1+123)

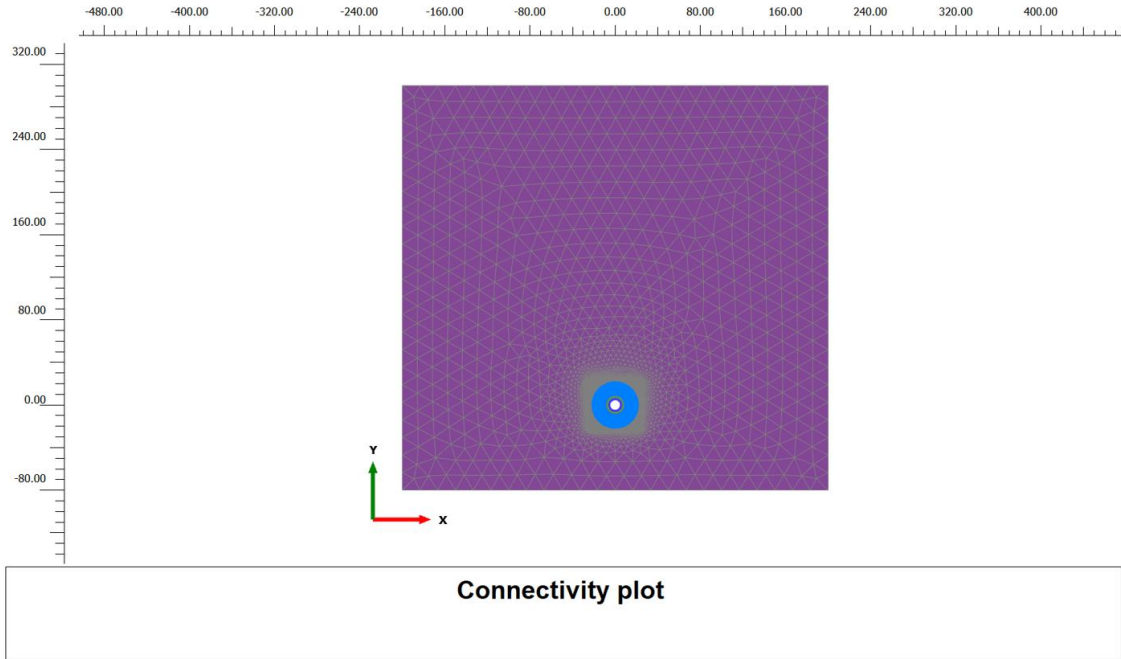


Figura 13–33: Mesh

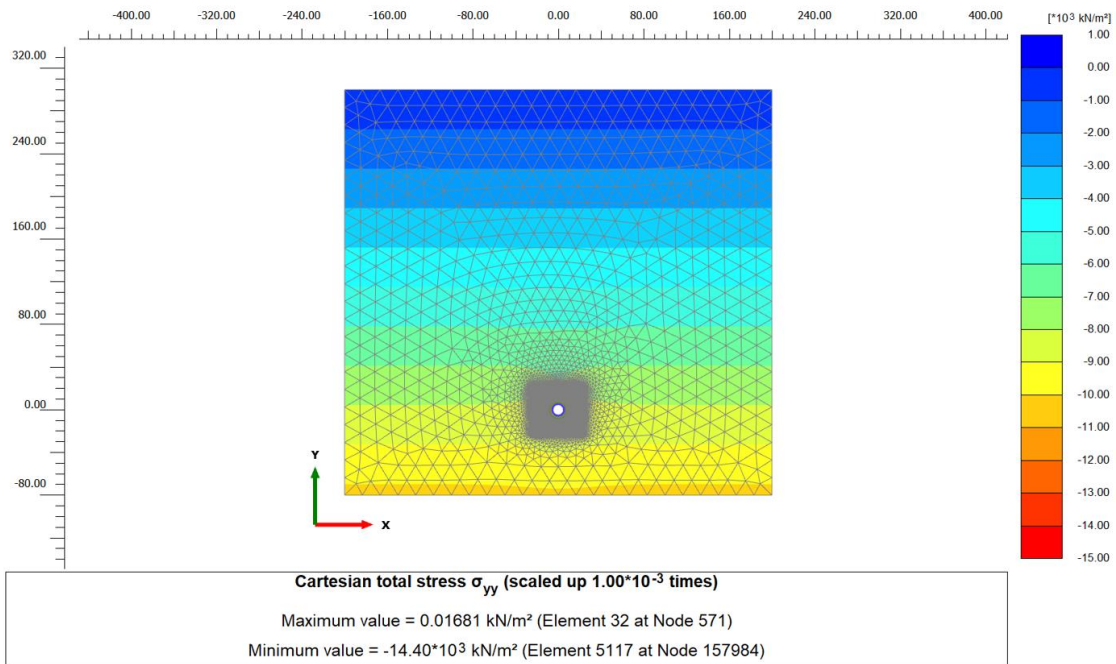


Figura 13–34: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 131 di 148

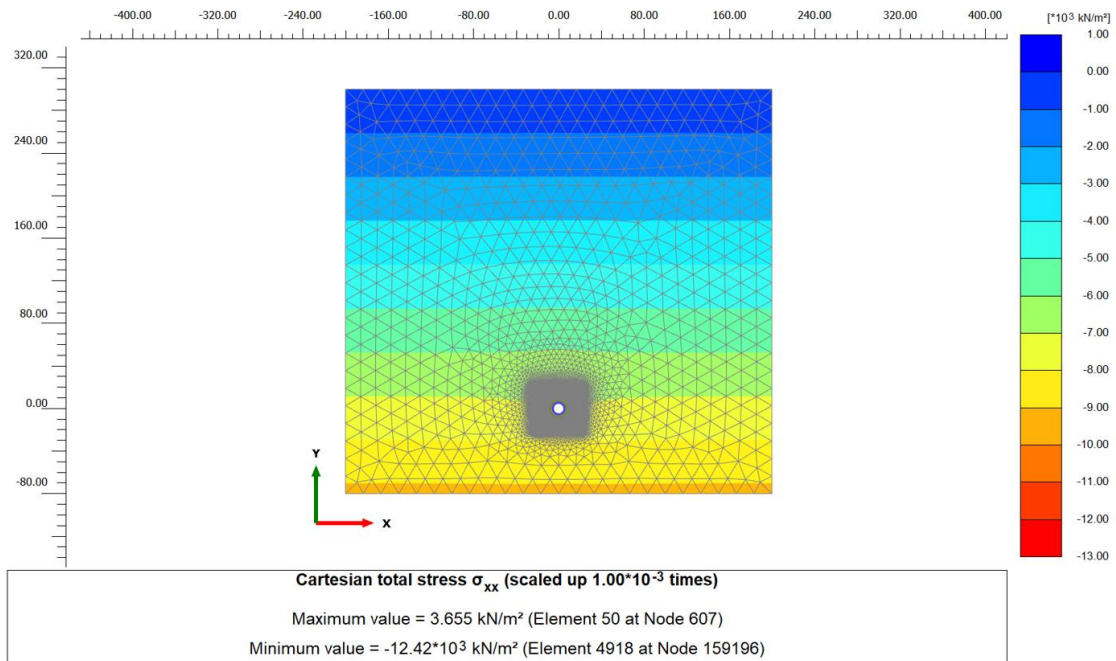


Figura 13–35: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 3

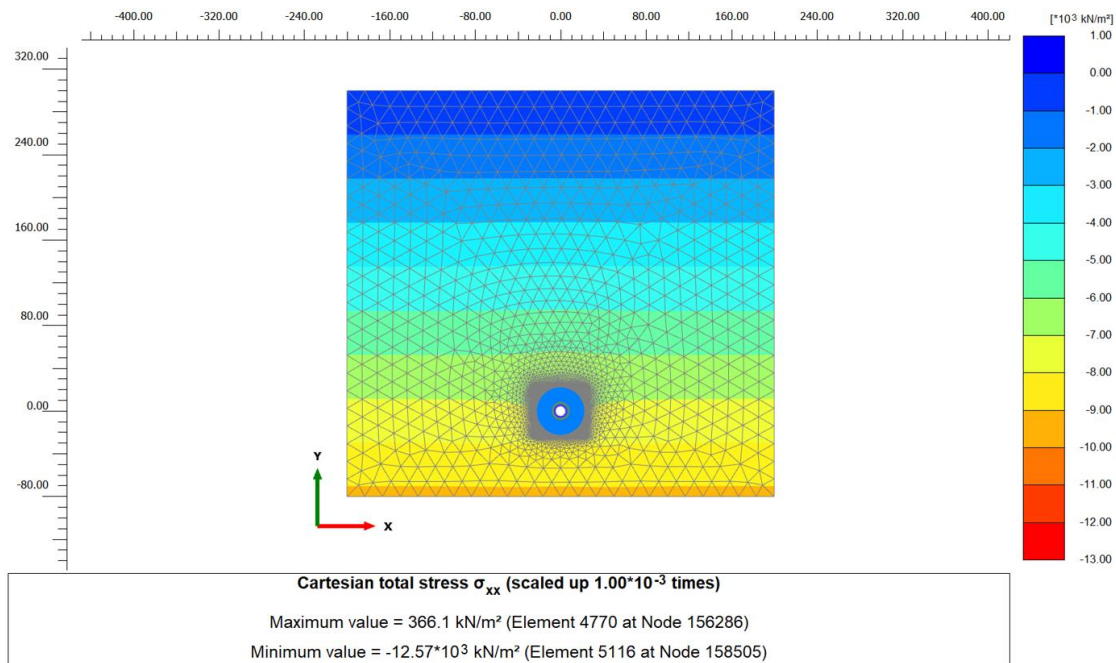


Figura 13–36: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 132 di 148

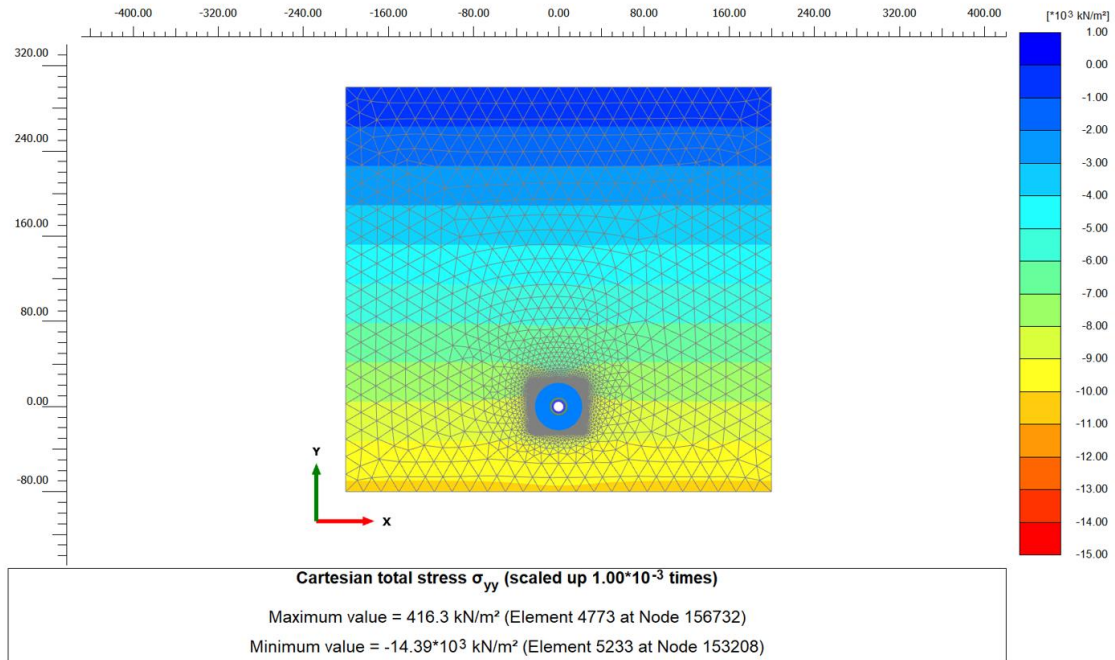


Figura 13–37: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase3

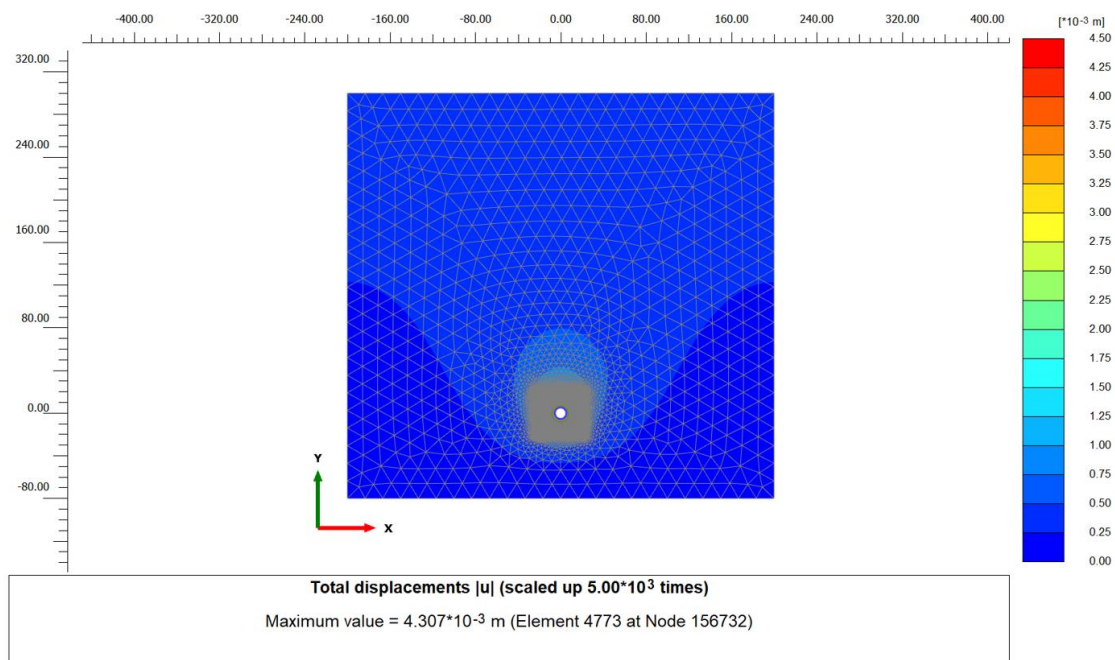


Figura 13–38: Spostamenti  $|u|$  Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 133 di 148

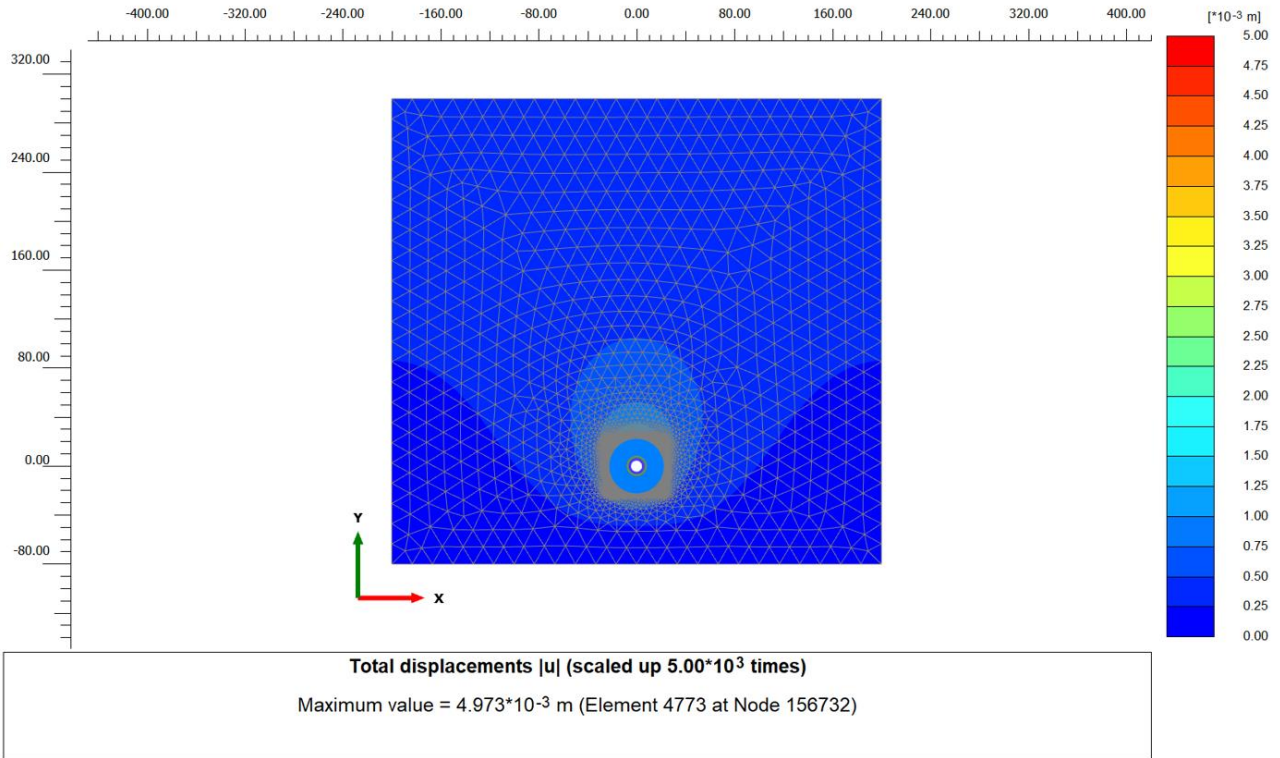


Figura 13–39: Spostamenti  $|u|$  Fase 3

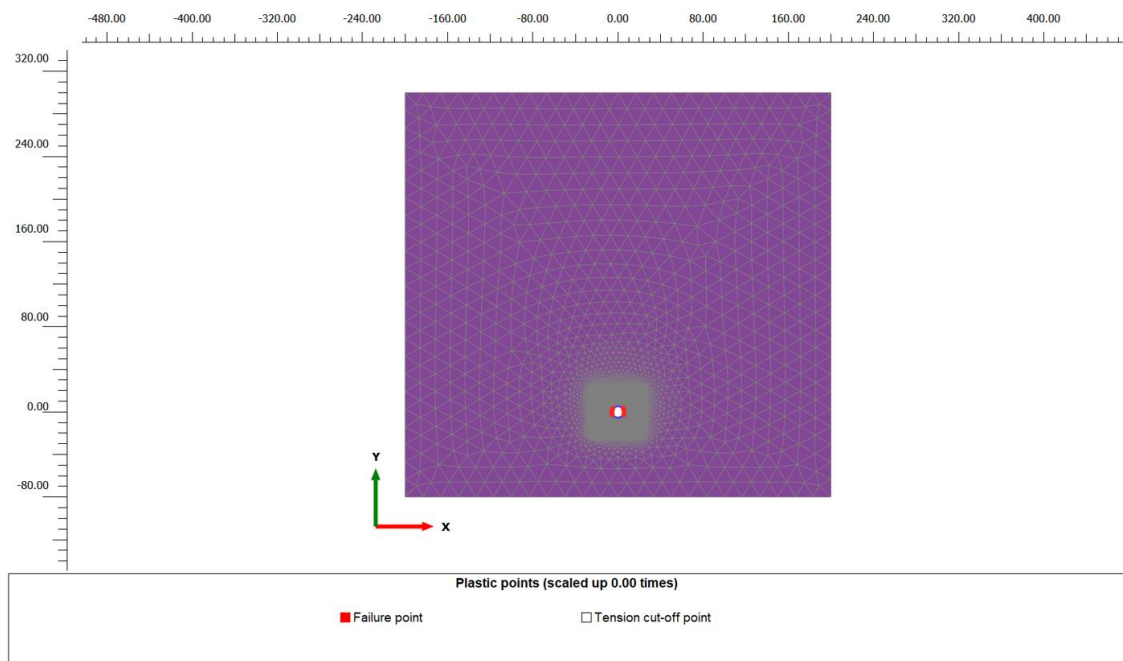


Figura 13–40: Zone di plasticizzazione Fase 2

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 134 di 148

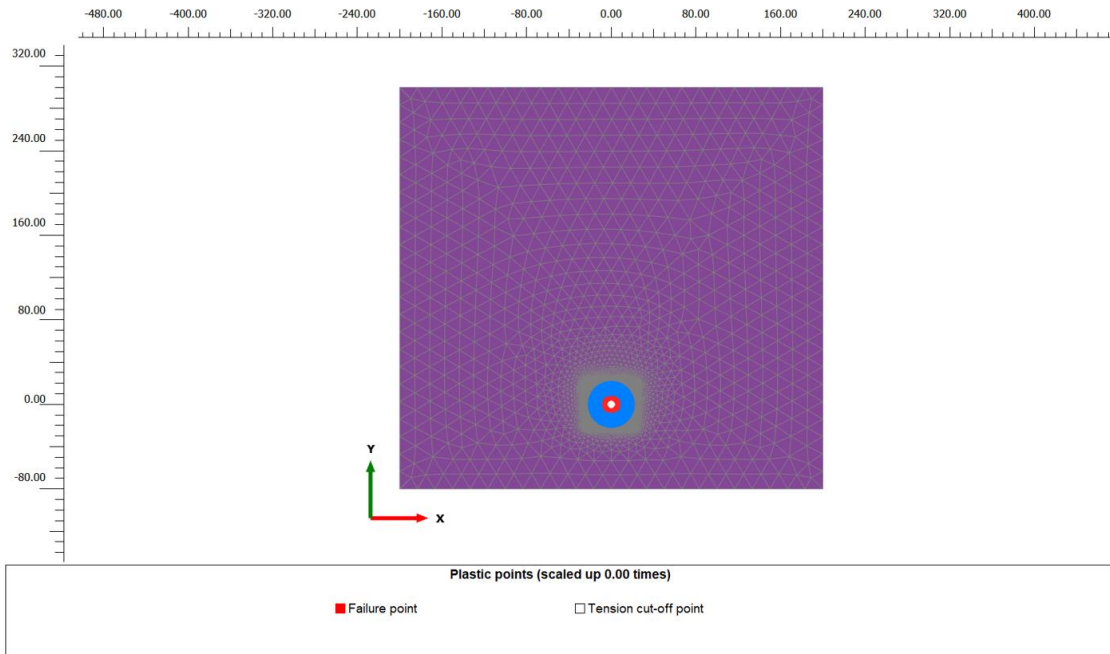


Figura 13-41: Zone di plasticizzazione Fase 3

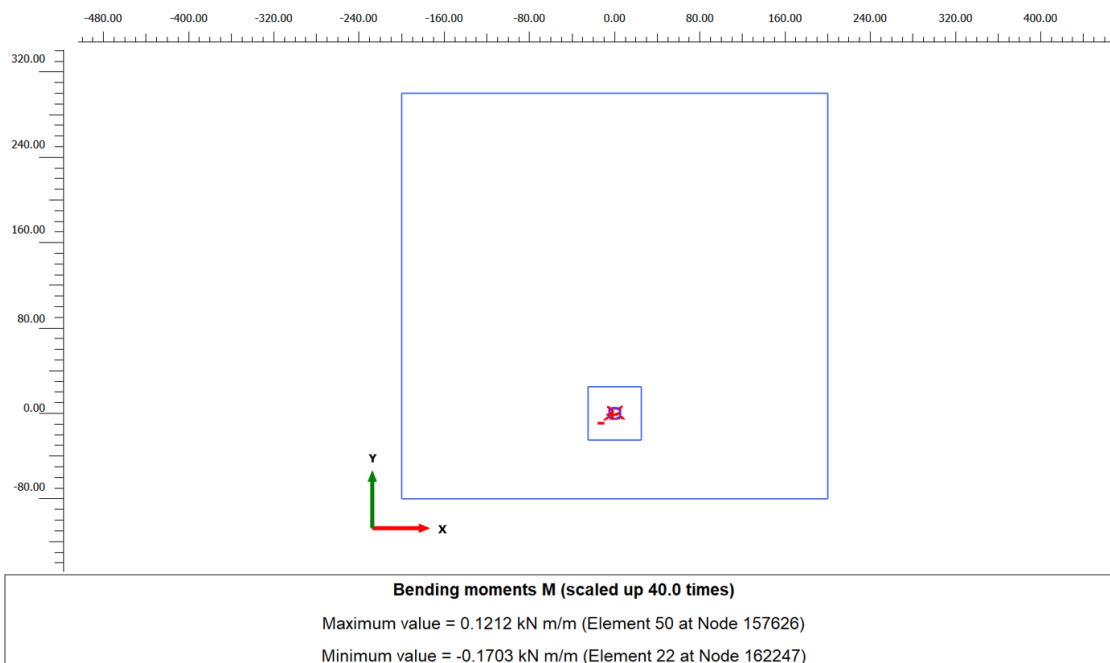
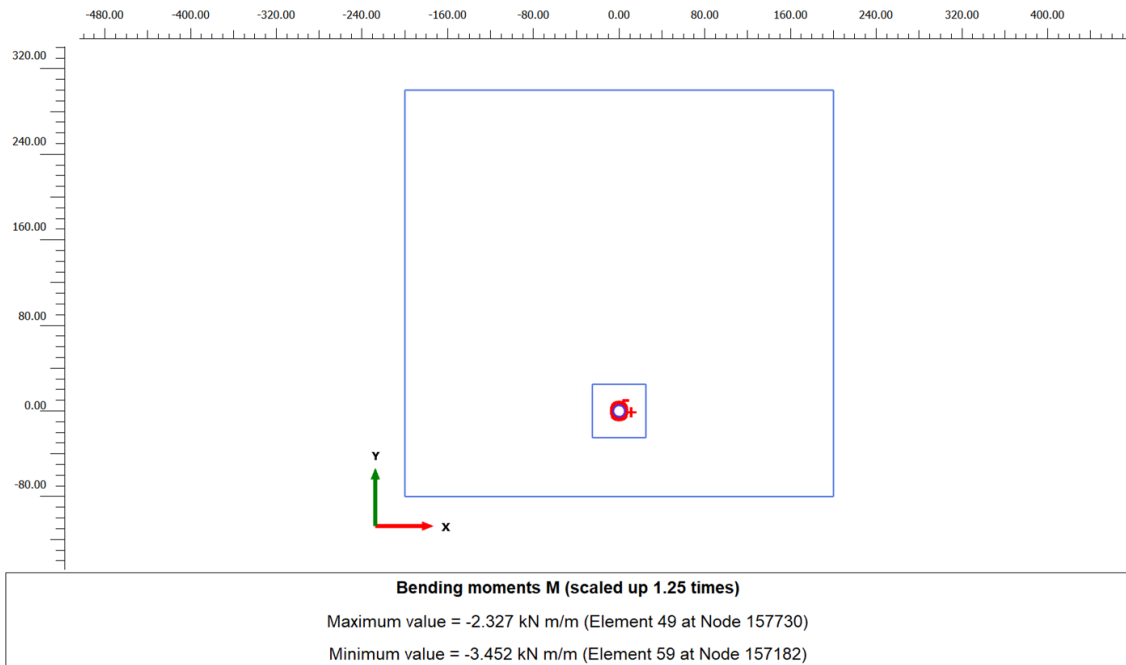
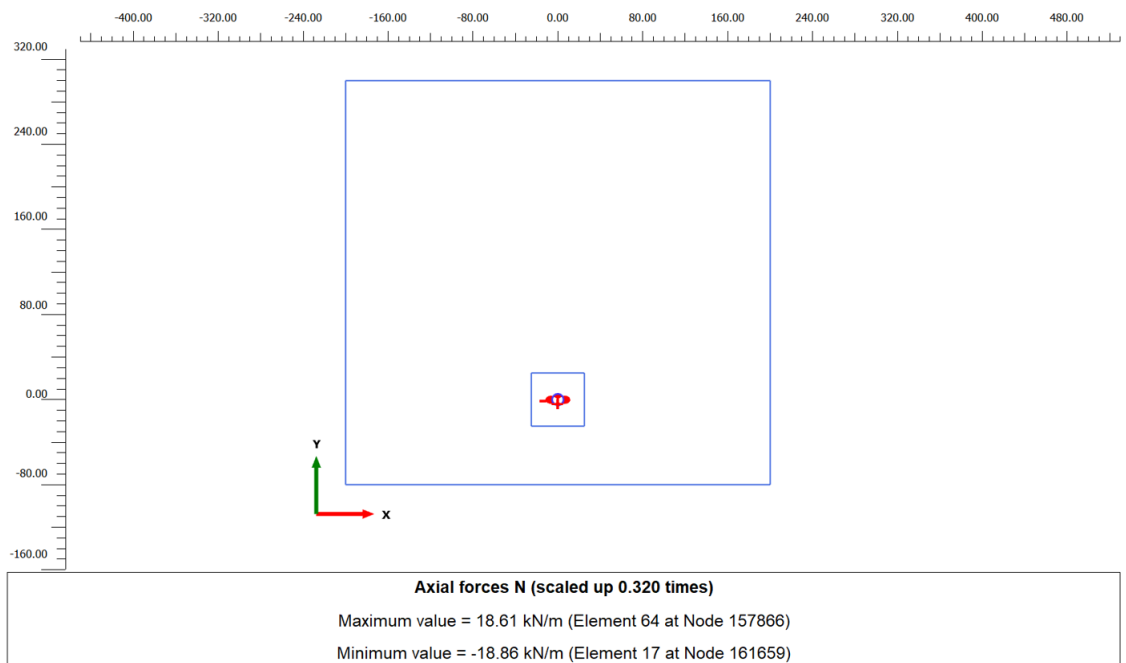


Figura 13-42: Sollecitazione momento flettente Fase 2

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 GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 135 di 148

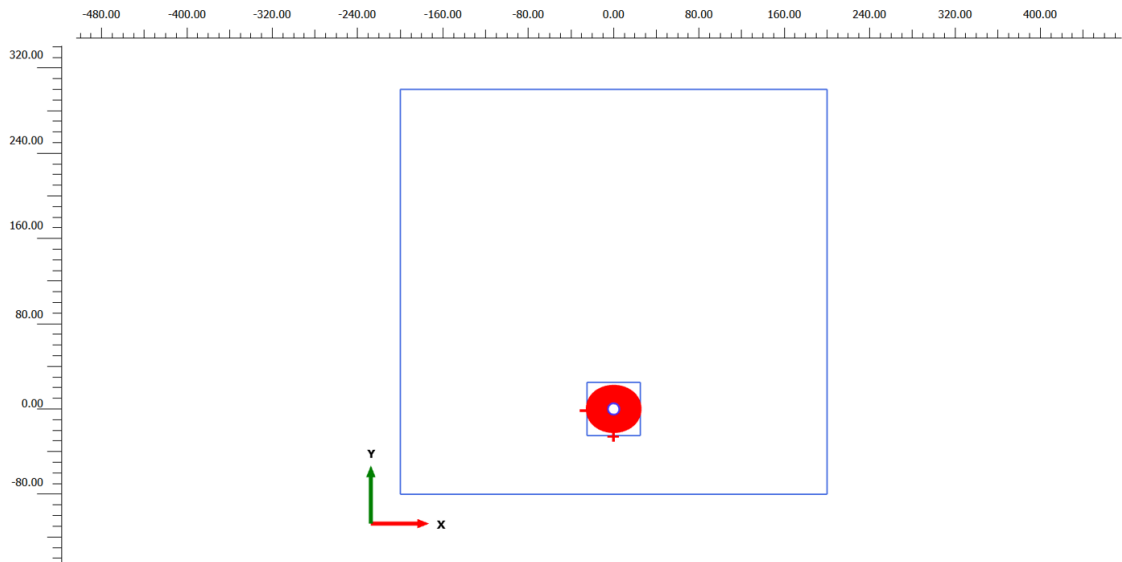


*Figura 13-43: Sollecitazione momento flettente Fase 3*



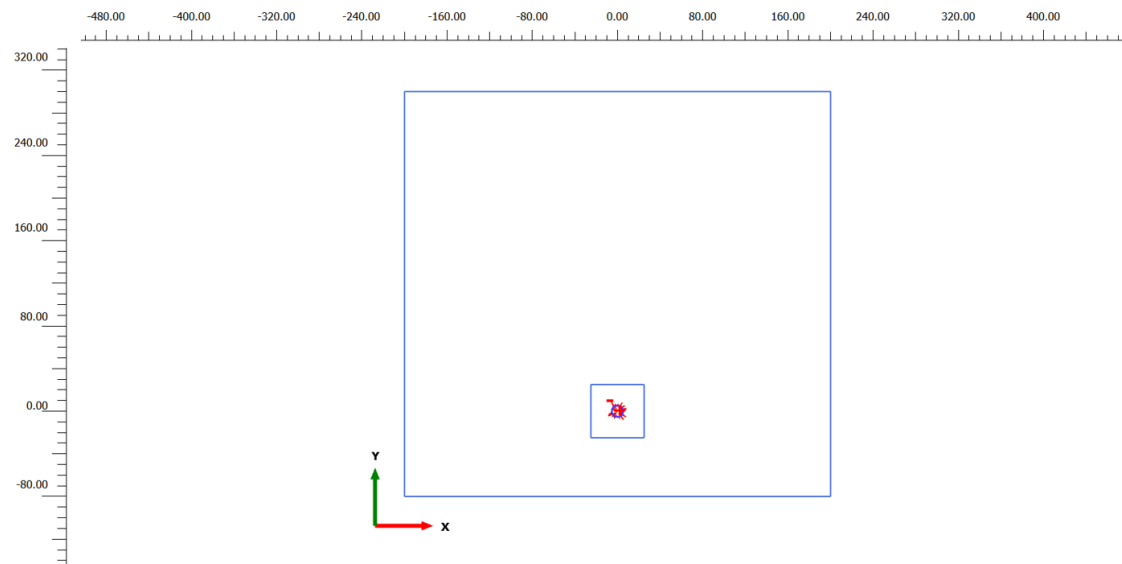
*Figura 13-44: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2*

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 GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 136 di 148



**Axial forces N (scaled up 0.0100 times)**  
Maximum value = -1681 kN/m (Element 33 at Node 162197)  
Minimum value = -2044 kN/m (Element 16 at Node 161659)

*Figura 13–45: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3*

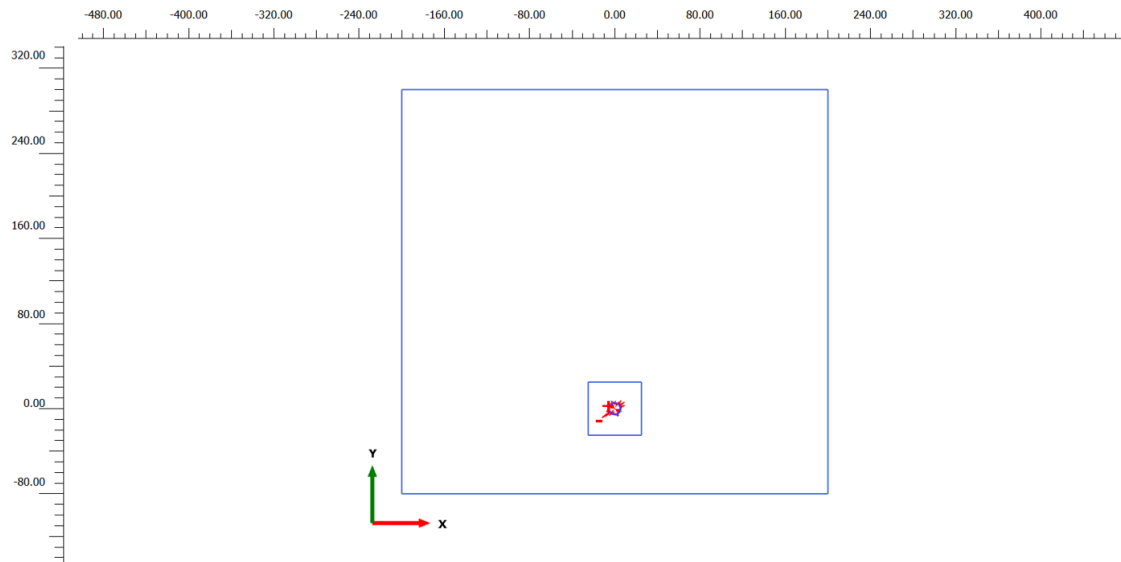


**Shear forces Q (scaled up 20.5 times)**  
Maximum value = 0.2807 kN/m (Element 23 at Node 162252)  
Minimum value = -0.2457 kN/m (Element 6 at Node 159806)

*Figura 13–46: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2*



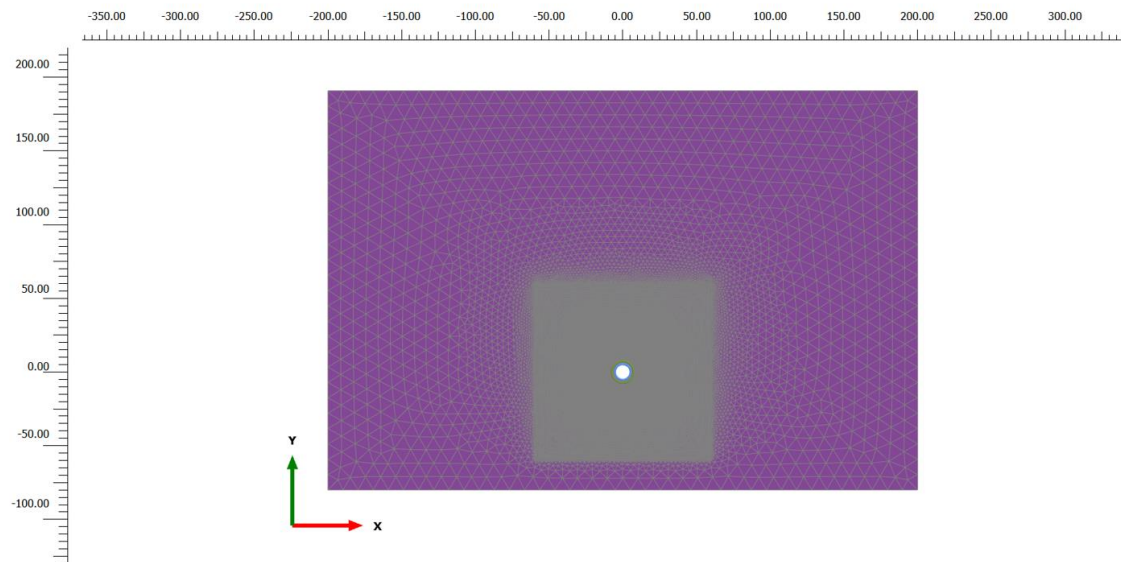
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 137 di 148



**Shear forces Q (scaled up 10.2 times)**  
Maximum value = 0.9058 kN/m (Element 42 at Node 159622)  
Minimum value = -0.9324 kN/m (Element 23 at Node 162251)

*Figura 13–47: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3*

### 13.3.6 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 6 (pk. 1+187)



**Connectivity plot**

*Figura 13–48: 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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 138 di 148

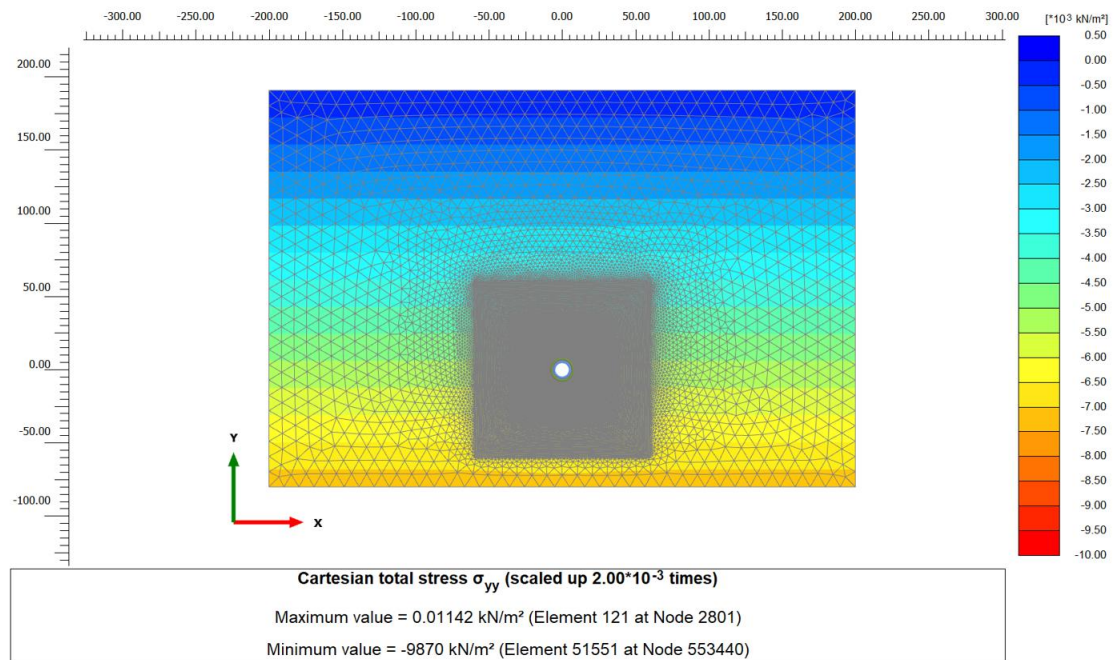


Figura 13–49: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

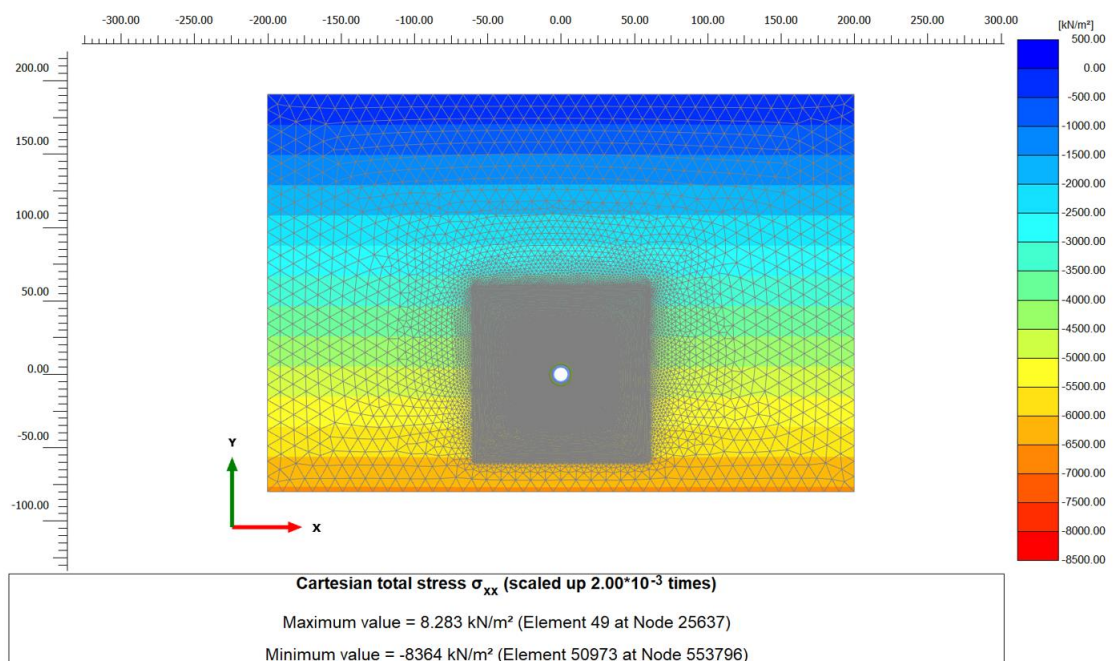


Figura 13–50: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase2

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 139 di 148

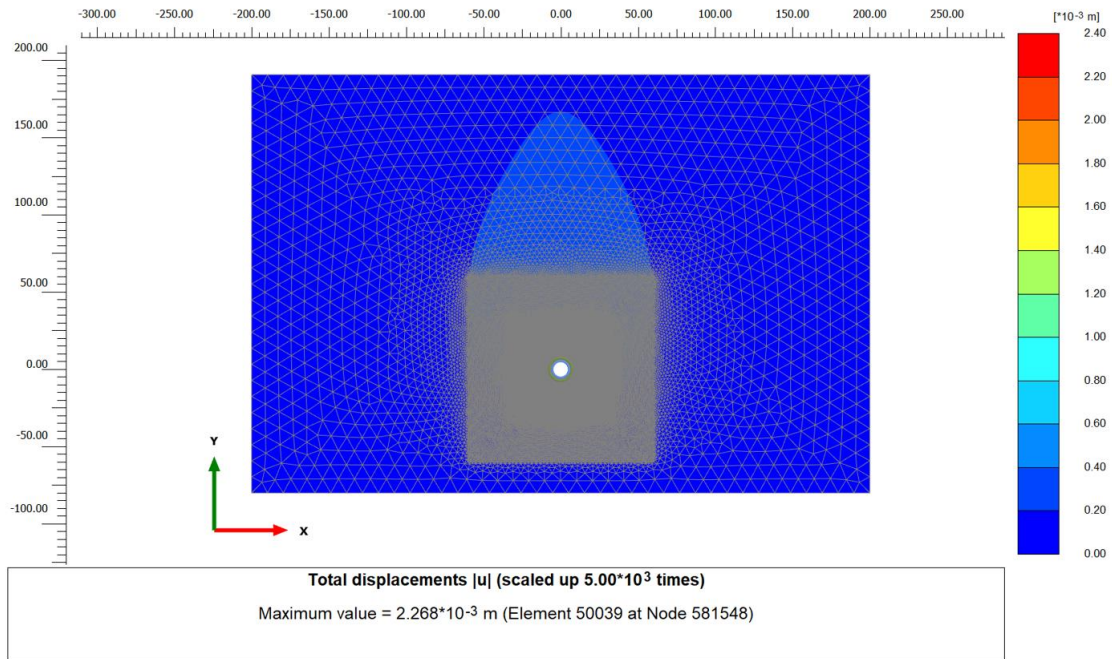


Figura 13-51: Spostamenti |u| Fase 2

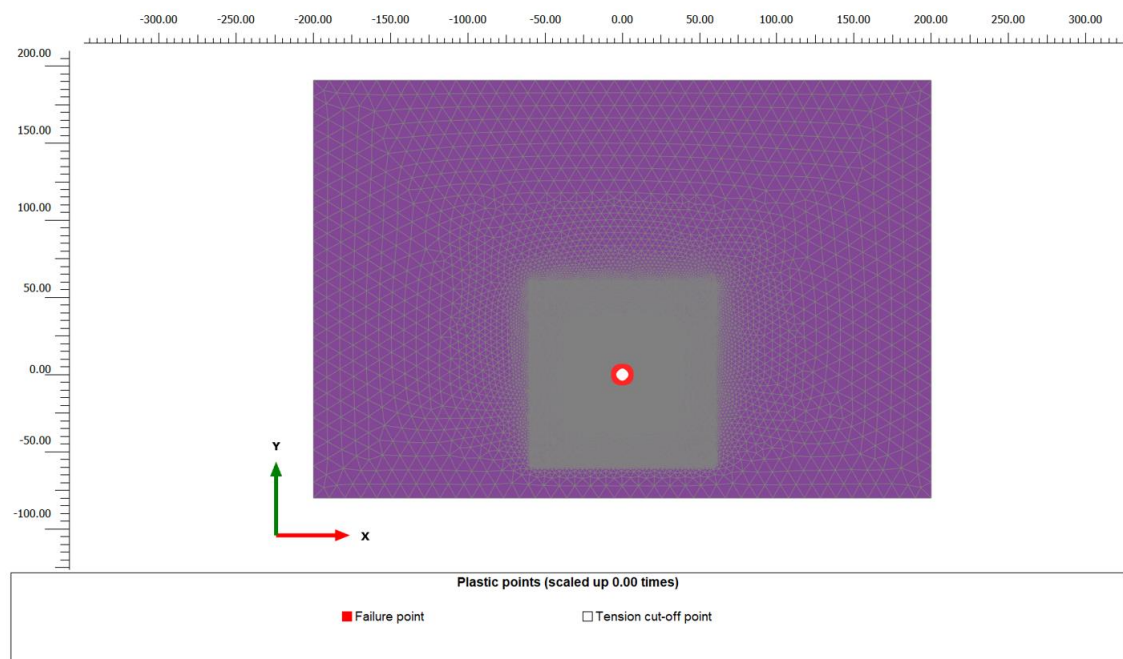


Figura 13-52: Zone di plasticizzazione Fase 2

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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 140 di 148

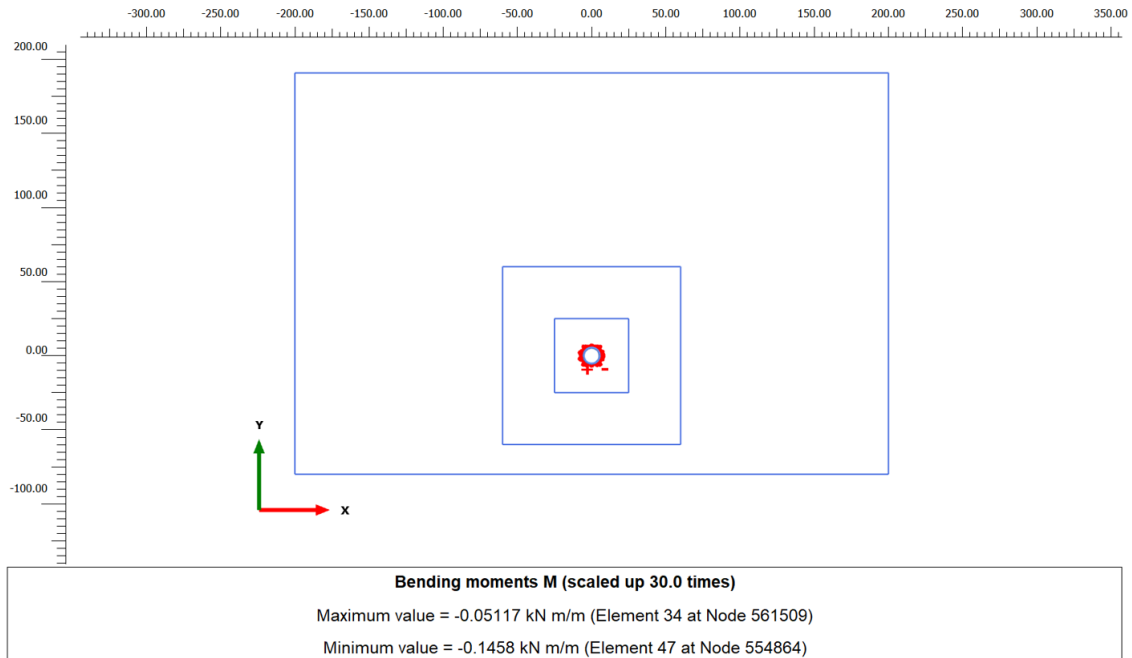


Figura 13-53: Sollecitazione momento flettente Fase 2

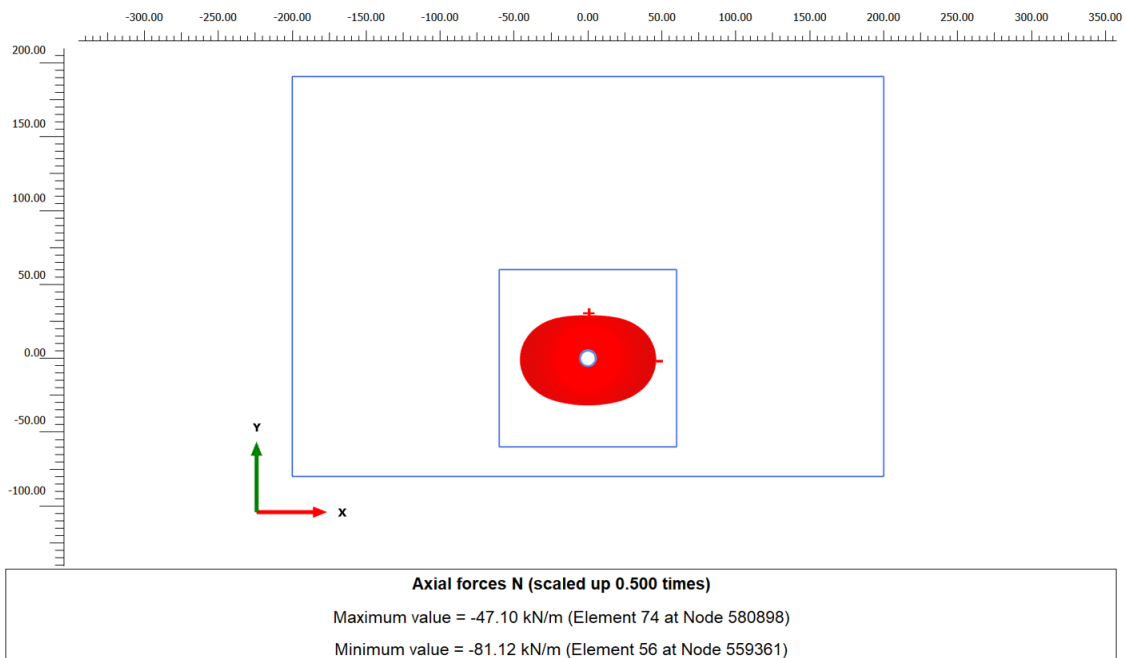
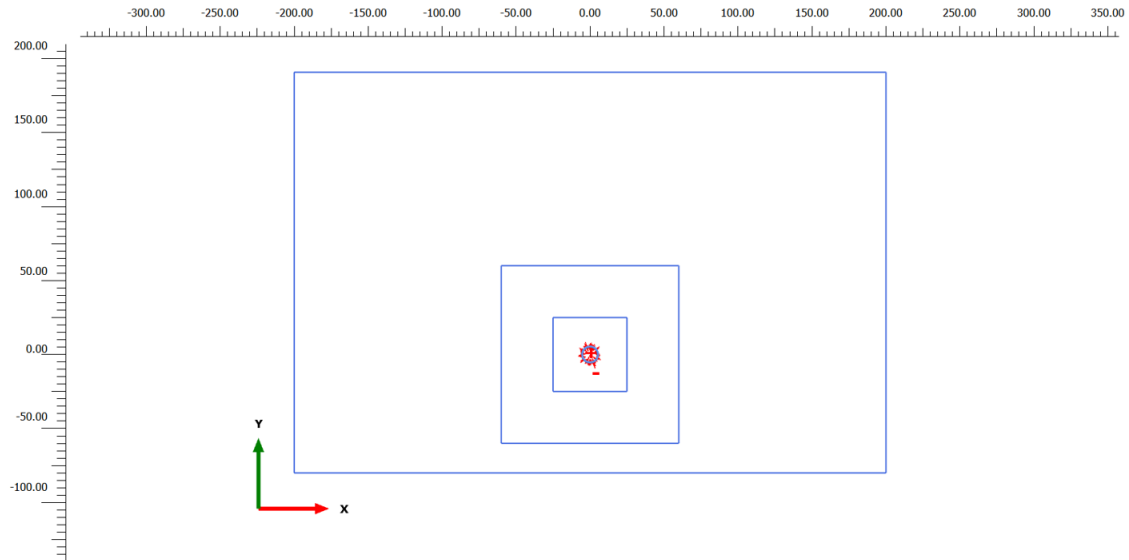


Figura 13-54: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2

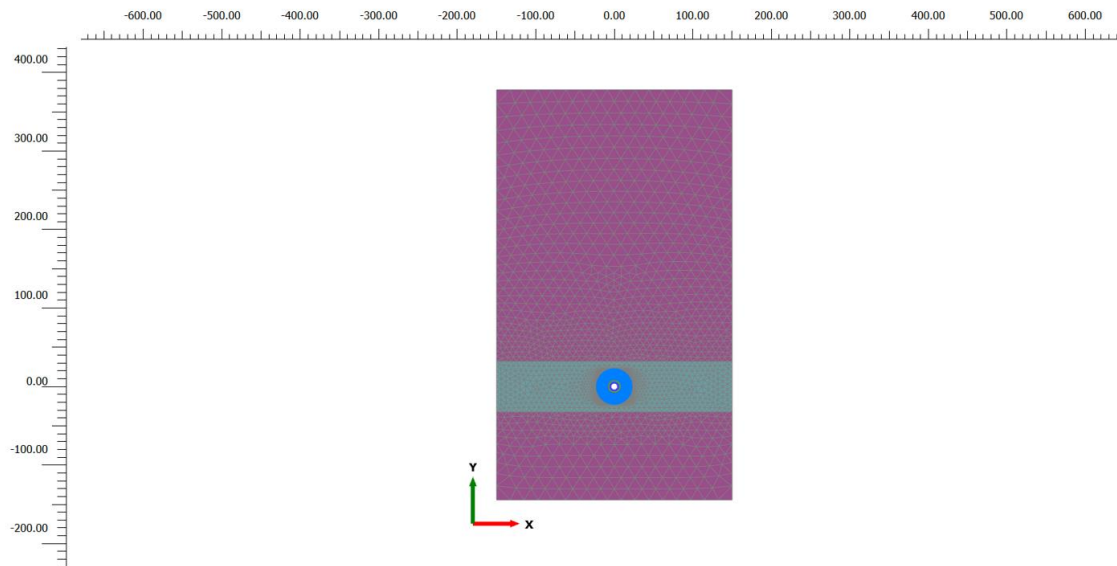
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>GN0300004</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>141 di 148</b>



**Shear forces Q (scaled up 25.0 times)**  
Maximum value = 0.1909 kN/m (Element 34 at Node 561790)  
Minimum value = -0.1891 kN/m (Element 41 at Node 557288)

*Figura 13–55: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2*

### 13.3.7 Galleria naturale Finestra di Forch – Sezione 7 (pk. 1+258)



**Connectivity plot**

*Figura 13–56: 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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>08 - GALLERIE</b> Relazione di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 142 di 148

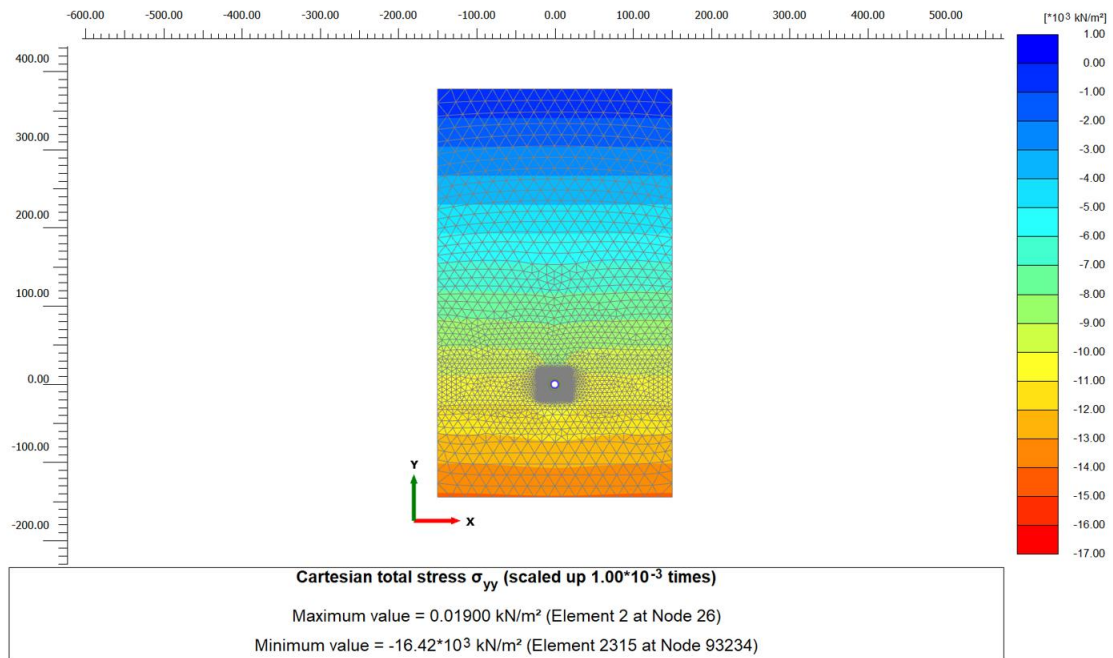


Figura 13–57: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 2

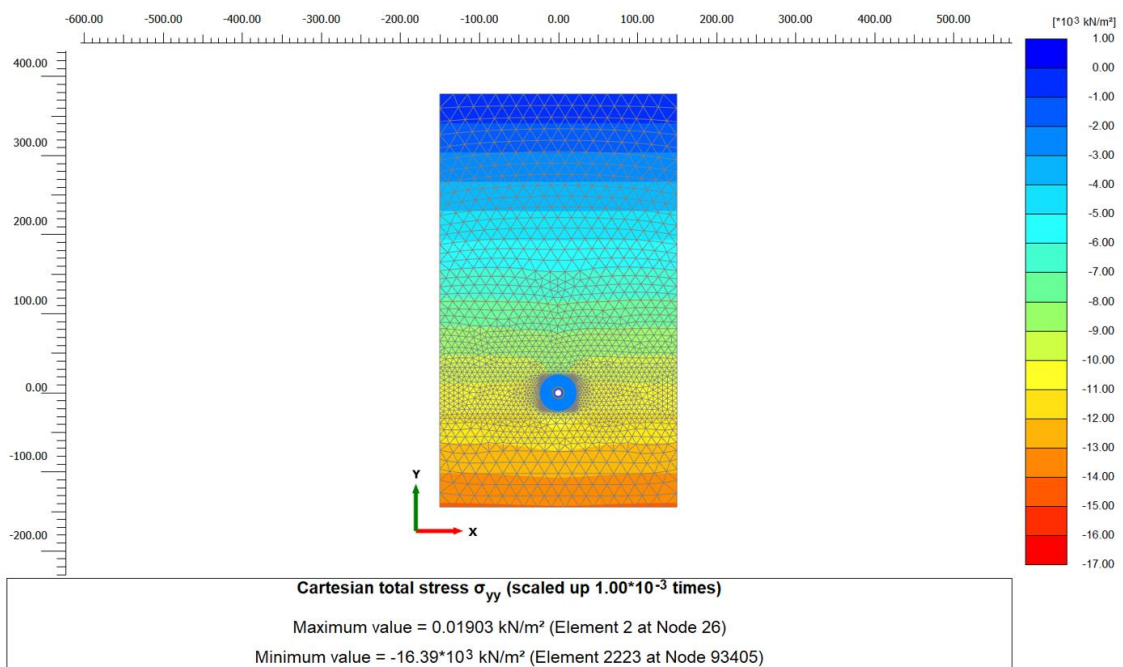


Figura 13–58: Stress  $\sigma_{yy}$  Fase 3

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 143 di 148

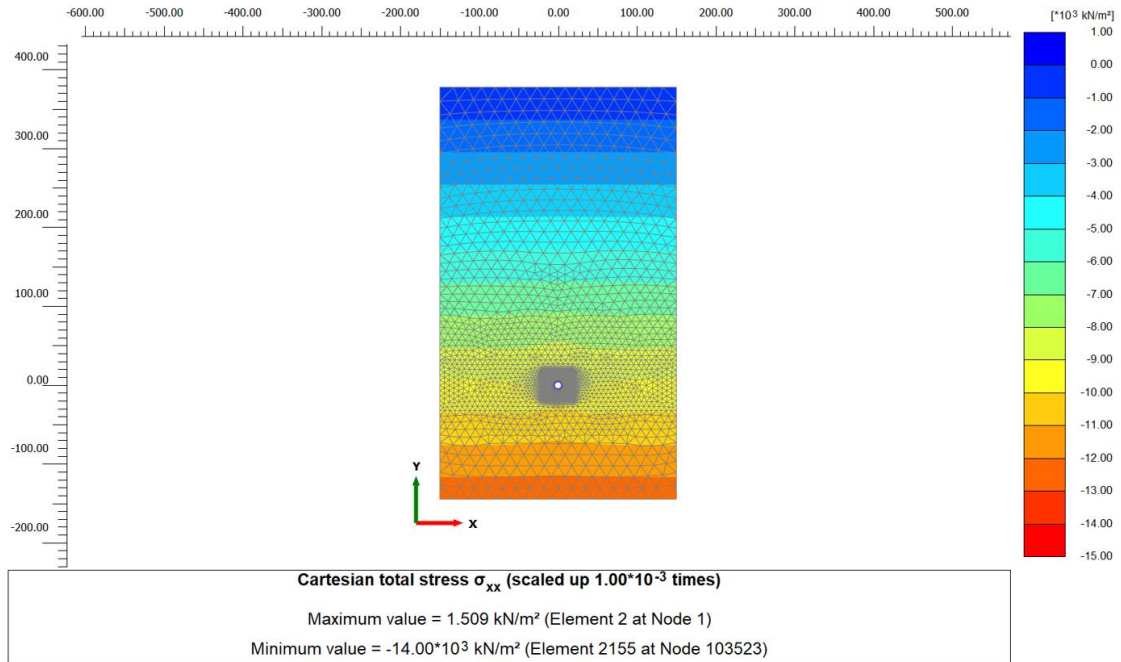


Figura 13–59: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase2

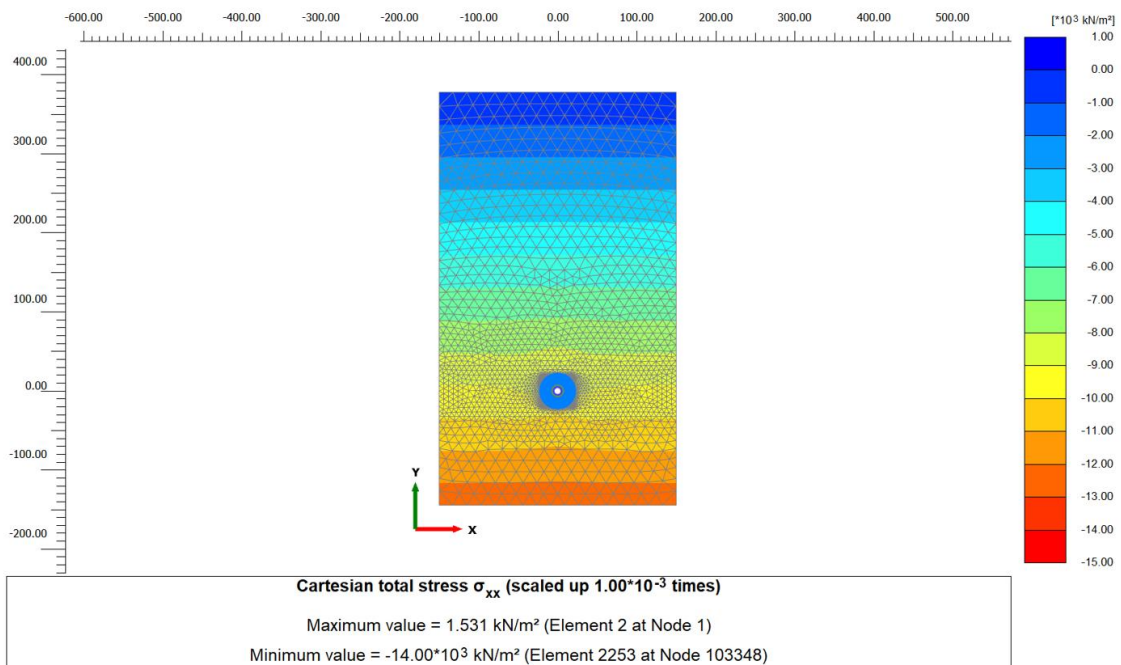
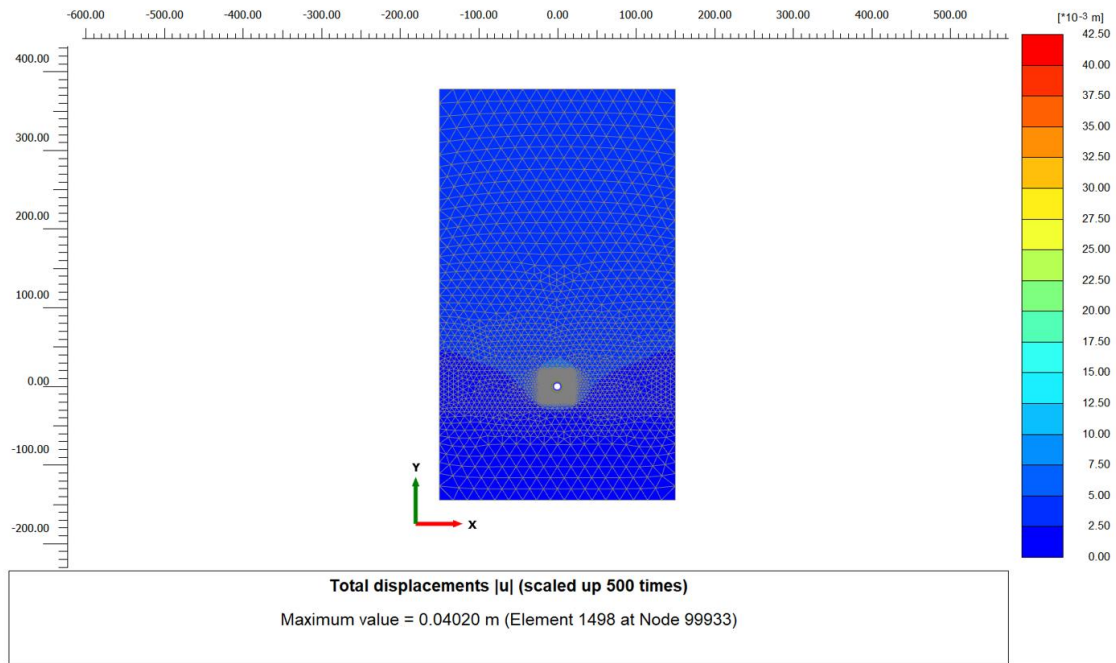
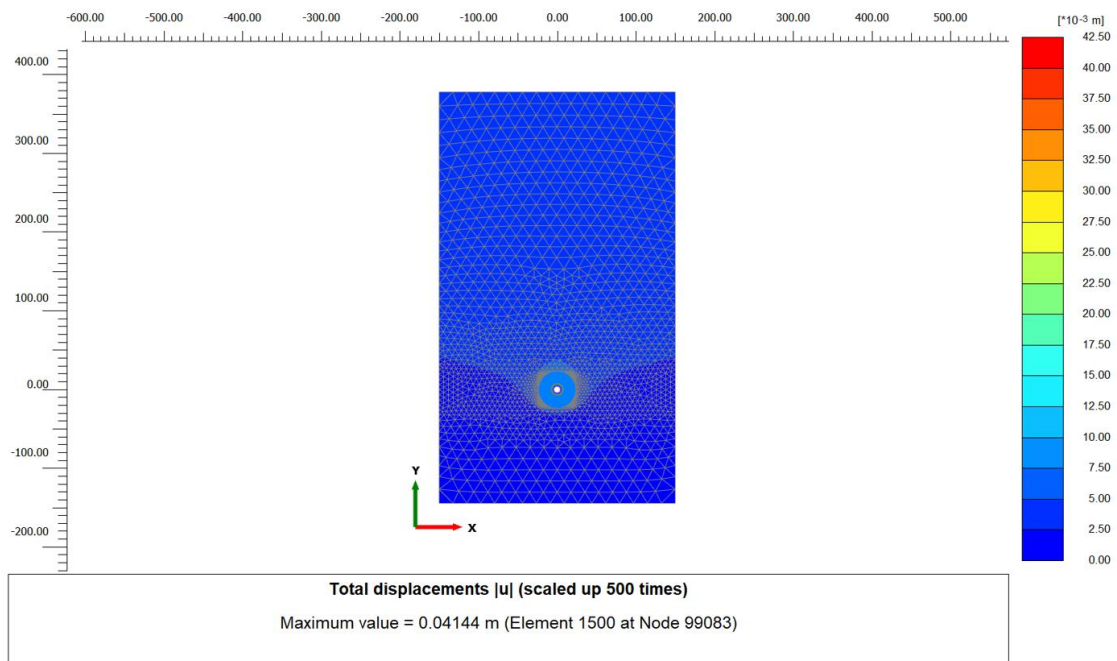


Figura 13–60: Stress  $\sigma_{xx}$  Fase3

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 144 di 148



*Figura 13–61: Spostamenti |u| Fase 2*



*Figura 13–62: Spostamenti |u| Fase 3*



APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 145 di 148

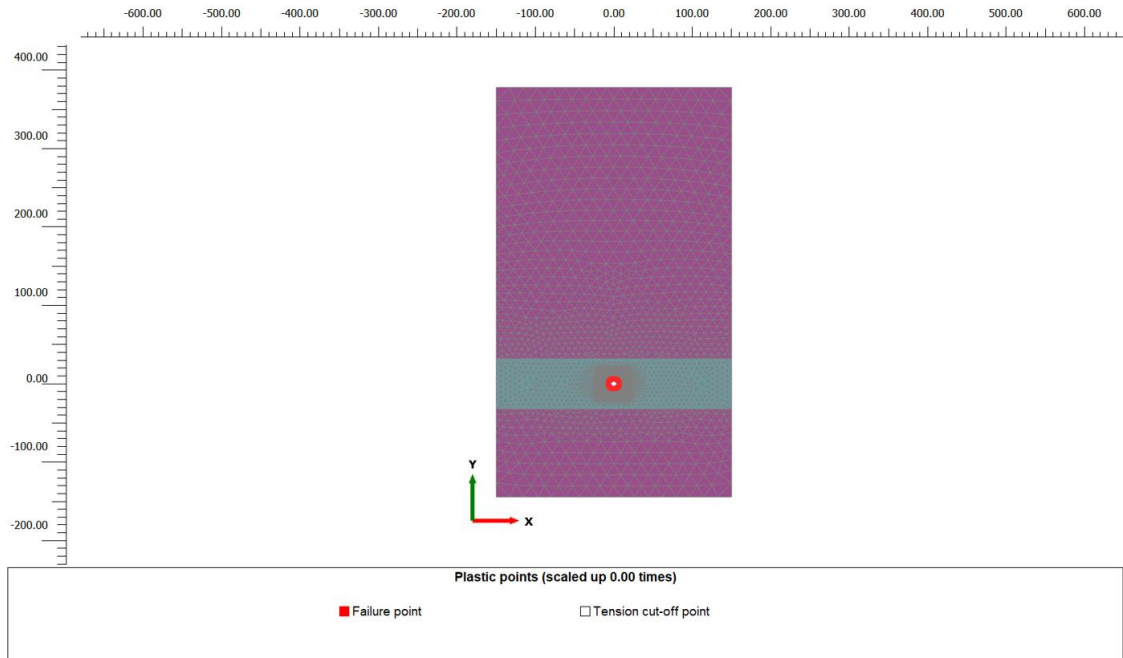


Figura 13–63: Zone di plasticizzazione Fase 2

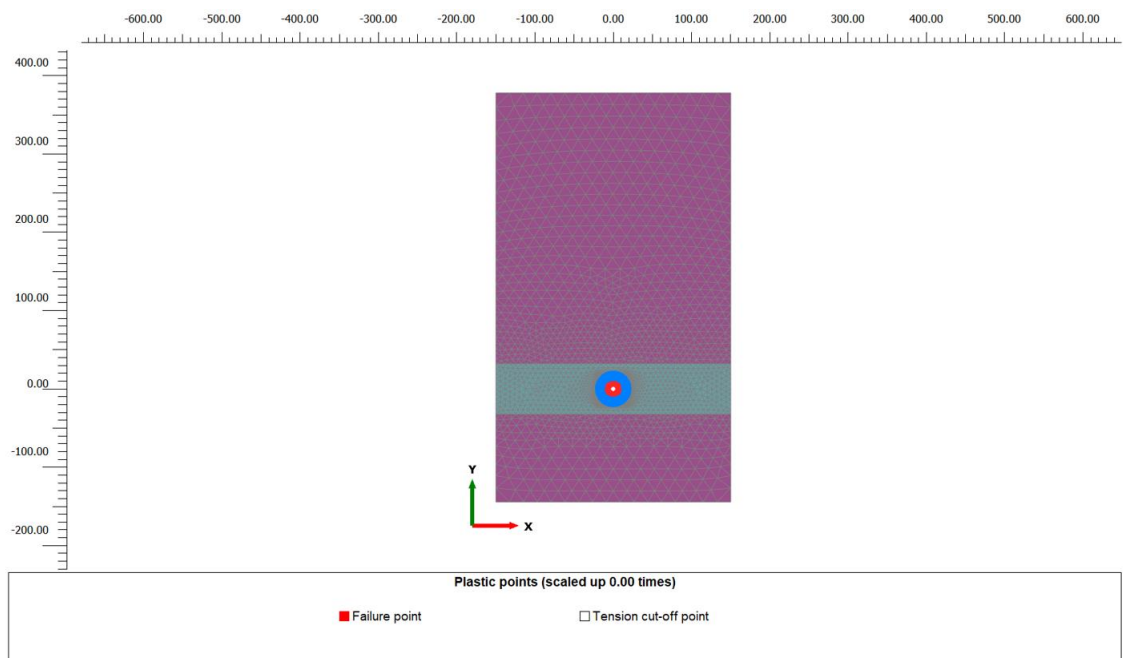


Figura 13–64: Zone di plasticizzazione Fase 3

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 146 di 148

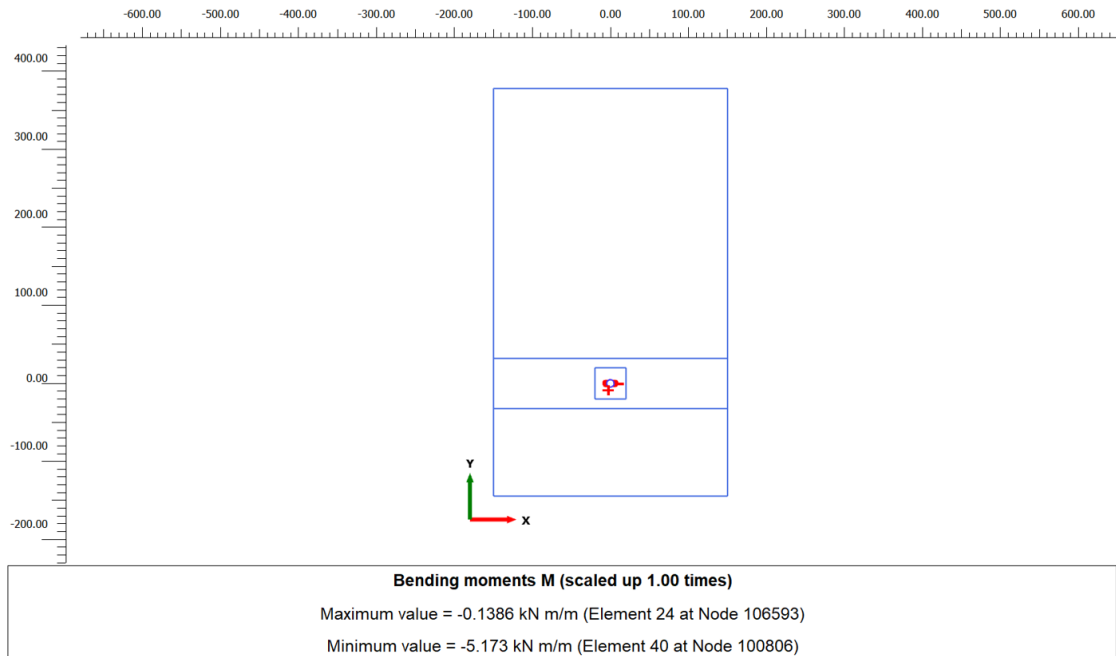


Figura 13–65: Sollecitazione momento flettente Fase 2

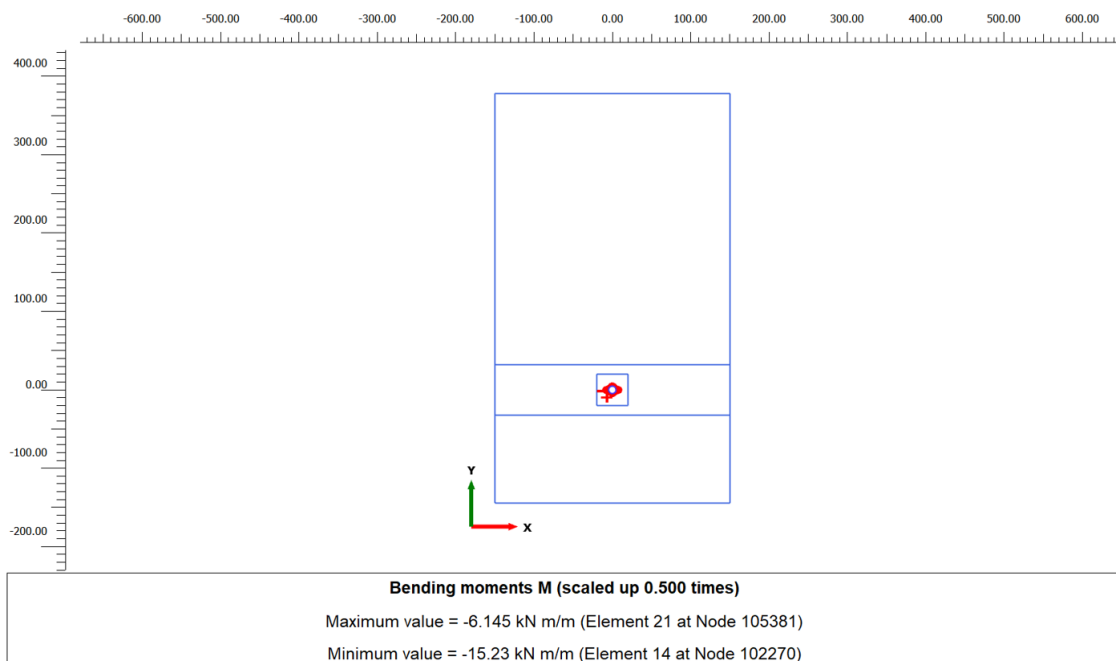
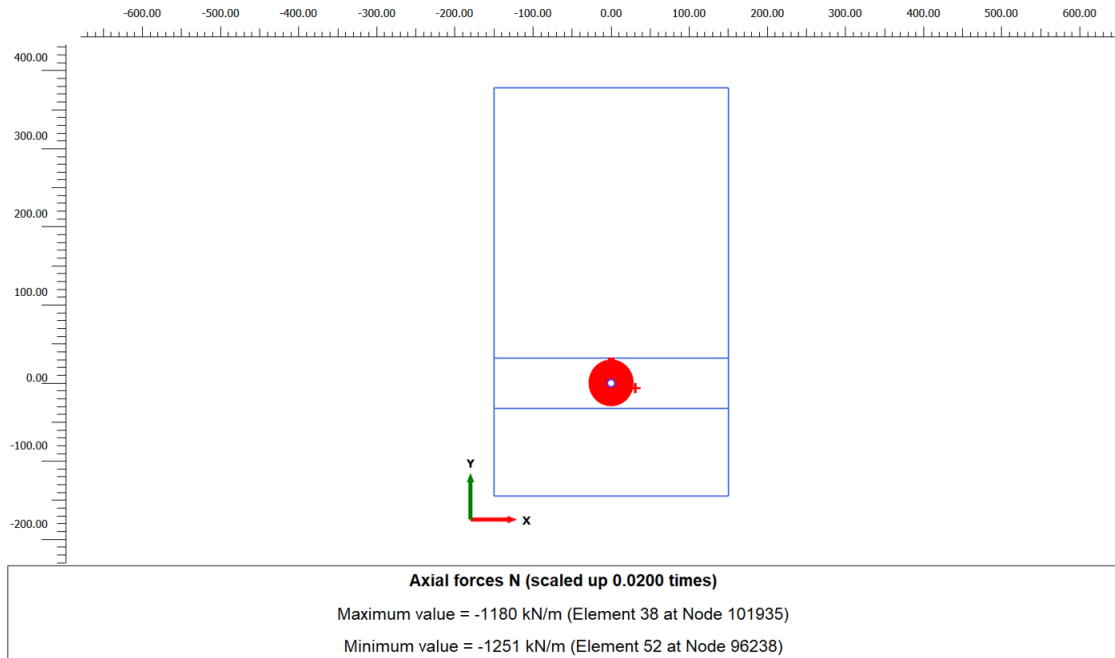
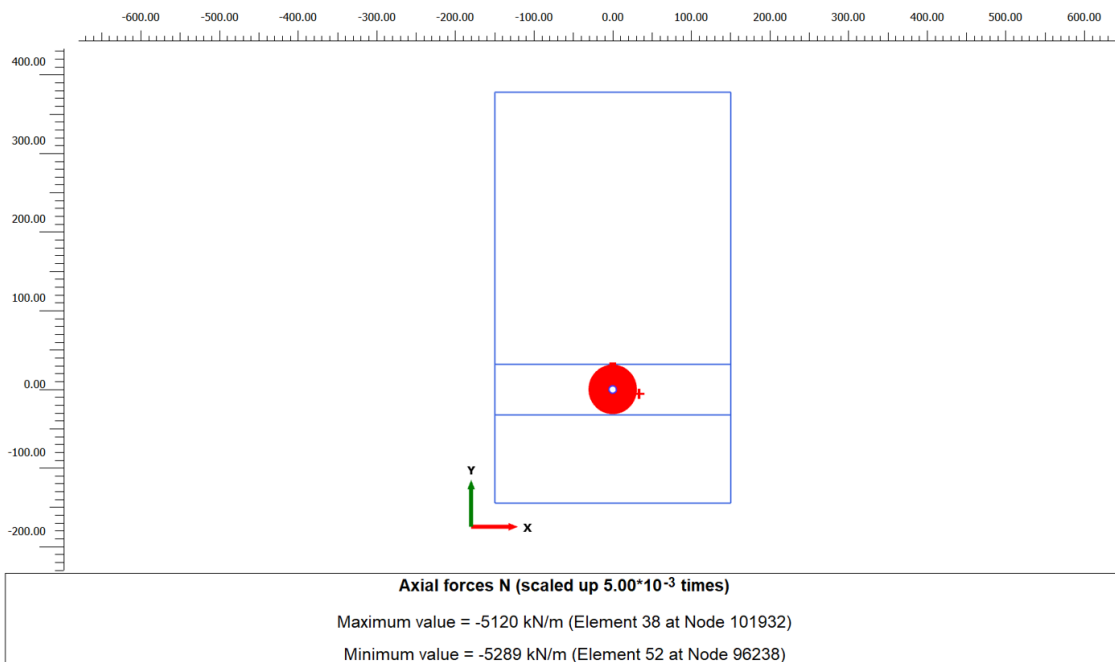


Figura 13–66: Sollecitazione momento flettente Fase 3

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 147 di 148



*Figura 13–67: Sollecitazione sforzo assiale Fase 2*



*Figura 13–68: Sollecitazione sforzo assiale Fase 3*

APPALTATORE:		<b>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 di calcolo - Scavo Meccanizzato - Conci Tipo 1 e 2	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN0300004	REV. C	FOGLIO. 148 di 148

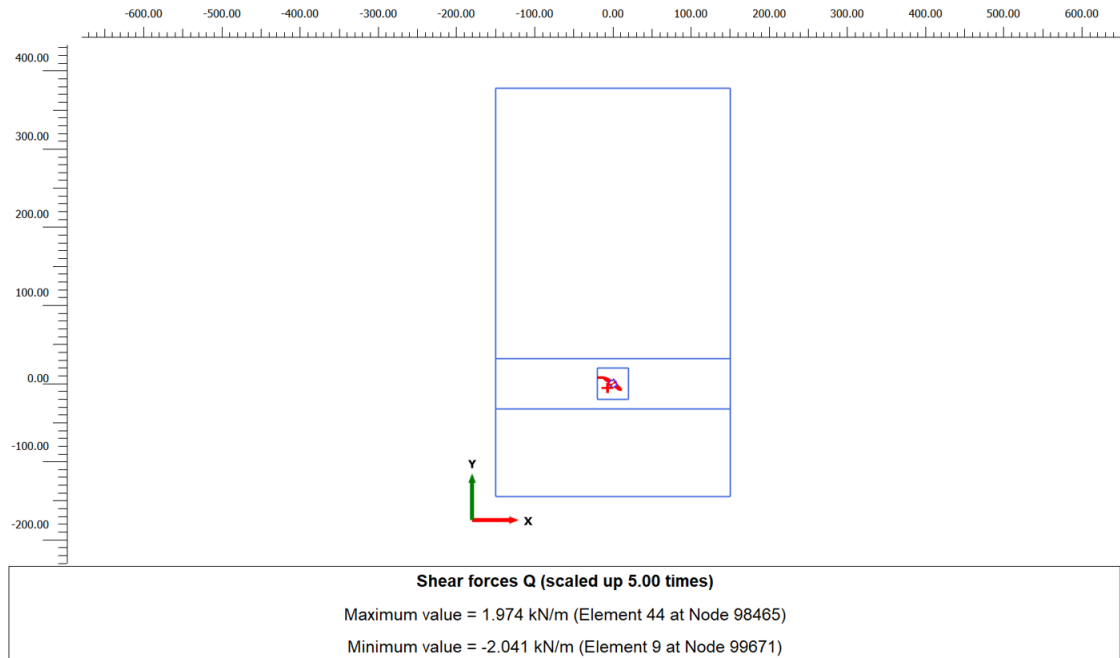


Figura 13–69: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 2

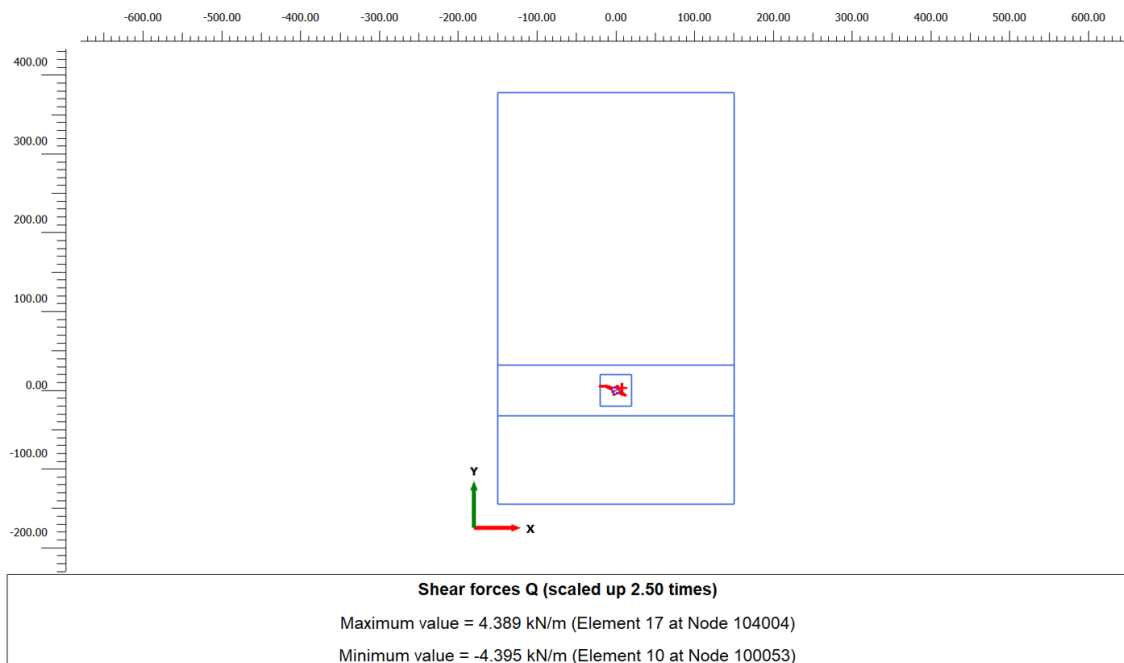


Figura 13–70: Sollecitazione sforzo di taglio Fase 3