

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Dott. Paolo Cucino
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

C - GALLERIE NATURALI DI LINEA E DI INTERCONNESSIONE

Scavo tradizionale

Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente

| | | |
|---|--|--------|
| 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 0 0 0 | 0 0 1 | C |

| Rev | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|-----|---|-----------|------------|-------------|------------|----------------------------|------------|---|
| A | Emissione | E.Maiello | 10/01/2022 | C. Iasiello | 14/01/2022 | D. Buttafoco (Dolomiti) | 19/01/2022 | IL PROGETTISTA P. Cucino ISCRIZIONE ALBO 16/03/2023 |
| B | Emissione a seguito indicazioni Committenza | E.Maiello | 18/07/2022 | C. Iasiello | 19/07/2022 | D. Buttafoco (Dolomiti) | 20/07/2022 | |
| C | Emissione a seguito indicazioni Committenza | E.Maiello | 13/03/2023 | C. Iasiello | 14/03/2023 | D. Buttafoco (Dolomiti) | 15/03/2023 | |

File: IB0U1BEZZCLGN0000001C.docx

| | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C |
| | | | | | | FOGLIO. |
| | | | | | | 1 di 159 |

SOMMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO | 4 |
| 3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI..... | 6 |
| 3.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 6 |
| 3.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO..... | 6 |
| 3.2.1 Documenti referenziati | 6 |
| 3.2.2 Documenti correlati | 6 |
| 3.2.3 Documenti prodotti..... | 7 |
| 3.3 SOFTWARE IMPIEGATI | 7 |
| 4. METODOLOGIA PROGETTUALE..... | 8 |
| 5. FASE CONOSCITIVA..... | 9 |
| 6. FASE DI DIAGNOSI | 10 |
| 6.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO..... | 10 |
| 7. FASE DI TERAPIA..... | 12 |
| 7.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO BY-PASS DI ESODO | 12 |
| 7.1.1 Sezione A0 | 12 |
| 7.1.2 Sezione A1 | 13 |
| 7.1.3 Sezione B | 13 |
| 7.1.4 Sezione C | 14 |
| 7.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 15 |
| 7.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO..... | 17 |
| 7.3.1 Criteri di verifica | 17 |
| 7.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi..... | 21 |
| 7.3.3 Sezione A0 – By-pass 6 Galleria Scaleres..... | 3 |
| 7.3.4 Sezione A1 – By-pass 16 Galleria Scaleres | 12 |
| 7.3.5 Sezione B – By-pass 36 Galleria Gardena | 23 |
| 7.3.6 Sezione C – By-pass 7 Galleria Interconnessione | 37 |
| 7.3.7 Sezione A1 – By-pass 2 Galleria Scaleres..... | 51 |
| 8. FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO | 68 |

| | | | | | | |
|---|---|---|----------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 2 di 159 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 8.1 | MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA | 68 |
| 9. | CONCLUSIONI | 69 |
| 10. | ALLEGATI | 70 |
| 10.1 | CURVE CARATTERISTICHE FASI DI TERAPIA | 70 |
| 10.1.1 | Sezione A0 | 70 |
| 10.1.2 | Sezione A1 | 74 |
| 10.1.3 | Sezione B | 78 |
| 10.1.4 | Sezione C | 82 |
| 10.1.5 | Sezione A1 – By-pass 2 | 85 |
| 10.2 | OUTPUT PLAXIS 2D | 89 |
| 10.2.1 | Output Sezione A0 | 89 |
| 10.2.2 | Output Sezione A1 | 97 |
| 10.2.3 | Output Sezione B | 106 |
| 10.2.4 | Output Sezione C | 115 |
| 10.2.5 | Output Sezione A1 – By-pass 2 | 124 |

| | | | | | | |
|---|---|---|----------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 3 di 159 |

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari all'esecuzione del rivestimento di prima fase e definitivo dei by-pass.

In particolare, lo scopo del documento è illustrare i risultati della progettazione esecutiva dei by-pass della linea Verona – Fortezza, nella tratta Ponte Gardena – Fortezza (Lotto 1°).

Gli obiettivi della progettazione definitiva per le opere in sotterraneo sono i seguenti:

- Definizione della geometria e delle caratteristiche tecniche delle opere;
- Classificazione delle rocce interessate dalla realizzazione dei by-pass;
- Individuazione delle problematiche connesse al comportamento delle rocce in fase di scavo in funzione del quadro geologico, idrogeologico e geotecnico;
- Definizione delle modalità realizzative e delle sezioni di scavo.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 4 di 159 |

2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei sostegni al fronte, dei rivestimenti di prima fase e definitivi dei by-pass di esodo e dei by-pass tecnologici tra le gallerie di linee e interconnessioni.

Tali by-pass sono stati dimensionati considerando un'area di scavo di 32 mq corrispondente alle sezioni dei by-pass tecnologici, i quali rappresentano la condizione di scavo più sfavorevole.

Il totale dei by-pass analizzati nella presente relazione sono 52, così distribuiti:

- 34 by-pass per la Galleria Scaleres;
- 12 by-pass per la Galleria Gardena;
- 6 by-pass per le Gallerie di Interconnessione.

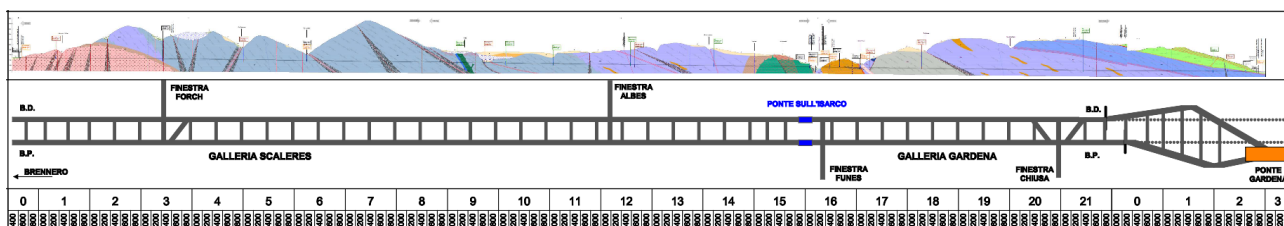


Figura 2-1: Planimetria schematica delle opere

Per i by-pass delle Gallerie di Interconnessione sono state condotte più sezioni di calcolo per alcuni cunicoli, visto che si sviluppano lungo ammassi rocciosi differenti.

La metodologia progettuale utilizzata per il dimensionamento dei rivestimenti e dei sostegni, viene descritta al cap 4.

Per l'applicazione delle sezioni di scavo definite nella presente relazione, si rimanda alle linee guida di applicazione delle sezioni tipo.

Di seguito vengono illustrate le carpenterie di riferimento utilizzate per i calcoli di riportati nel presente report.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| 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 - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 5 di 159 |

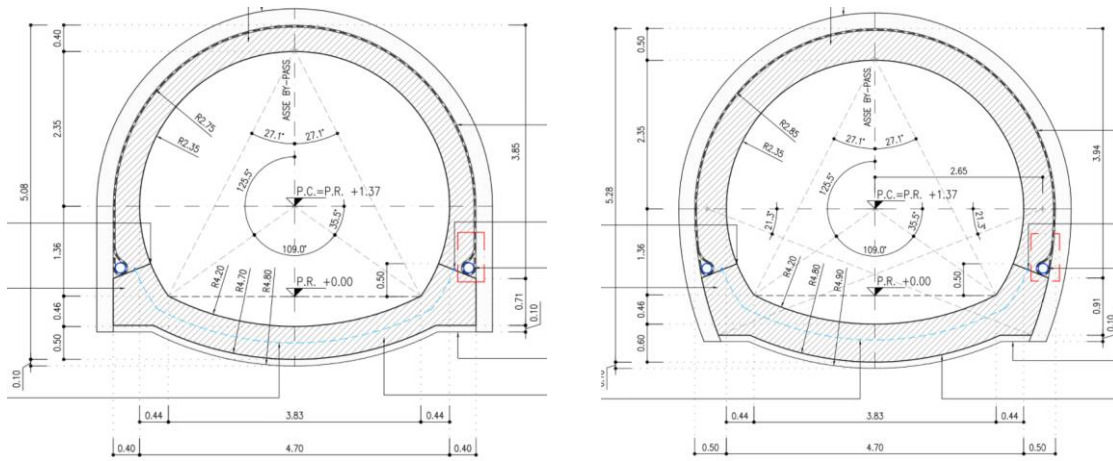


Figura 2-2: Carpenteria by-pass di esodo sezione tipo A, B/C

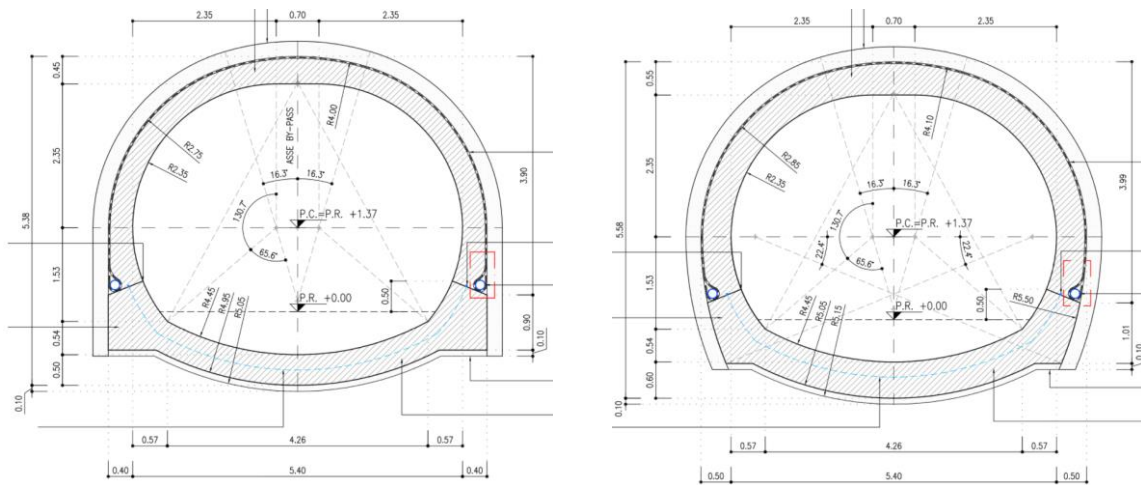


Figura 2-3: Carpenteria by-pass tecnologici sezione tipo A, B/C

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 6 di 159 |

3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

3.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

[1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";

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

3.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

3.2.1 Documenti referenziati

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

Relazioni:

Relazione geotecnica Galleria Scaleres IB0U1BEZZGEGN0000001

Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni IB0U1BEZZGEGN0000002

Galleria Scaleres:

Profilo geotecnico - tav. 1-8 IB0U1BEZZF6GN0100001A-08

Galleria Gardena:

Profilo geotecnico - tav. 1-3 IB0U1BEZZF6GN0200001A-03

Gallerie di interconnessione – BP:

Profilo geotecnico - tav. 1-2 IB0U1BEZZF6GN0700001A-02

Gallerie di interconnessione – BD:

Profilo geotecnico - tav. 1-2 IB0U1BEZZF6GN0700003A-04

Gallerie di interconnessione - by-pass:

Profilo geotecnico - tav. 1-3 IB0U1BEZZF7GN0700001A-03

3.2.2 Documenti correlati

I documenti correlati, la cui lettura è consigliata per allargare la conoscenza dell'ambito del quale il presente documento si inquadra, sono:

[3] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).

[4] M. Bustamante, B. Doix (1985). Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés. Bull. Liaison Lab. Ponts et Chaussées, Paris, n. 140, nov-déc 1985 – Ref. 3047, 75-92.

[5] C. Viggiani (1999). Fondazioni, Hevelius Edizioni.

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 7 di 159 |

[6] 46, 811 pp.N.R. Morgestern & V.E. Price (1965). The analysis of the stability of generalised slip surfaces. Geotechnique, 15, 79-93.

[7] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.)

[8] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La “nouvelle méthode implicite” pour le calcul des tunnel dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Géotechnique, N° 68;

[9] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60;

[10] RFI Rete Ferroviaria Italiana (2016). Manuale di progettazione opera civili – Parte II – Sezione 4 – Gallerie revisione A del 30/12/2016, Codifica RFI DTC SI GA MA IFS 001 A

3.2.3 Documenti prodotti

A seguito dei calcoli condotti nella presente relazione sono stati prodotti i seguenti elaborati:

| | |
|--|----------------------|
| By-pass di esodo - Scavo e consolidamenti sezione tipo A0 | IBOU1BEZZWBGN0000044 |
| By-pass di esodo - Scavo e consolidamenti sezione tipo A1 | IBOU1BEZZWBGN0000049 |
| By-pass di esodo - Scavo e consolidamenti sezione tipo B | IBOU1BEZZWBGN0000045 |
| By-pass di esodo - Scavo e consolidamenti sezione tipo C | IBOU1BEZZWBGN0000046 |
| By-pass di esodo - Carpenteria sezione tipo A / B / C | IBOU1BEZZWBGN0000047 |
| By-pass tecnologico - Scavo e consolidamenti sezione tipo A1 | IBOU1BEZZWBGN0000071 |
| By-pass tecnologico - Scavo e consolidamenti sezione tipo B | IBOU1BEZZWBGN0000072 |
| By-pass tecnologico - Scavo e consolidamenti sezione tipo C | IBOU1BEZZWBGN0000073 |
| By-pass tecnologico - Carpenteria sezione tipo A / B / C | IBOU1BEZZWBGN0000074 |

3.3 SOFTWARE IMPIEGATI

I software utilizzati per la progettazione sono:

- Plaxis 2D versione 21.01.00.479 Bentley Systems.
- GV4 versione s1.07 Sial.tec. Engineering s.r.l

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 8 di 159 |

4. METODOLOGIA PROGETTUALE

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO – RS (Rif.[3]), è stata articolata nelle seguenti fasi:

1. FASE CONOSCITIVA: acquisizione degli elementi geologici e geotecnici;
2. FASE DI DIAGNOSI: analisi del comportamento dell'ammasso allo scavo;
3. FASE DI TERAPIA: scelta delle modalità realizzative e definizione delle sezioni tipo di scavo ed avanzamento.

Le scelte messe a punto in sede di progettazione definitiva si sono basate su quanto sviluppato nella precedente fase Progettuale (Progetto Definitivo), sull'analisi dei dati e dei requisiti di base e della documentazione relativa agli studi condotti nel corso della Fase Conoscitiva.

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo. Il quadro geologico, idrogeologico e geotecnico risultante ha permesso di definire in particolare i seguenti aspetti:

- la litologia degli ammassi rocciosi e la loro successione stratigrafica lungo il tracciato delle gallerie;
- la morfologia presente nell'area interessata dai lavori;
- il quadro idrogeologico di riferimento;
- le principali caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi attraversati e il loro comportamento allo scavo.

I risultati dello studio geologico sono stati esaminati ed interpretati allo scopo di individuare le principali problematiche progettuali legate alla realizzazione delle singole opere (Fase di Diagnosi), individuando tra le soluzioni tecniche possibili, le migliori ai fini del rispetto dell'impatto sul territorio e dei requisiti di sicurezza, sia in fase esecutiva che di esercizio (Fase di Terapia).

Sono stati, pertanto, definiti i metodi di scavo e le sezioni tipo di avanzamento più idonee per le varie tratte, individuando, in funzione delle caratteristiche geotecniche e geomorfologiche dei materiali, dei fenomeni deformativi attesi e delle interferenze lungo il tracciato, anche la tipologia di interventi di consolidamento propedeutici allo scavo.

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN000001 | C | 9 di 159 |

5. FASE CONOSCITIVA

Per quanto riguarda gli elementi necessari la caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dai by-pass si rimanda alla seguente documentazione geotecnica:

Relazioni:

| | |
|--|----------------------|
| Relazione geotecnica Galleria Scaleres | IBOU1BEZZGEGN0000001 |
| Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni | IBOU1BEZZGEGN0000002 |

Galleria Scaleres:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Profilo geotecnico - tav. 1 | IBOU1BEZZF6GN0100001 |
| Profilo geotecnico - tav. 2 | IBOU1BEZZF6GN0100002 |
| Profilo geotecnico - tav. 3 | IBOU1BEZZF6GN0100003 |
| Profilo geotecnico - tav. 4 | IBOU1BEZZF6GN0100004 |
| Profilo geotecnico - tav. 5 | IBOU1BEZZF6GN0100005 |
| Profilo geotecnico - tav. 6 | IBOU1BEZZF6GN0100006 |
| Profilo geotecnico - tav. 7 | IBOU1BEZZF6GN0100007 |
| Profilo geotecnico - tav. 8 | IBOU1BEZZF6GN0100008 |

Galleria Gardena:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Profilo geotecnico - tav. 1 | IBOU1BEZZF6GN0200001 |
| Profilo geotecnico - tav. 2 | IBOU1BEZZF6GN0200002 |
| Profilo geotecnico - tav. 3 | IBOU1BEZZF6GN0200003 |

Gallerie di interconnessione – BP:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Profilo geotecnico - tav. 1 | IBOU1BEZZF6GN0700001 |
| Profilo geotecnico - tav. 2 | IBOU1BEZZF6GN0700002 |

Gallerie di interconnessione – BD:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Profilo geotecnico - tav. 1 | IBOU1BEZZF6GN0700003 |
| Profilo geotecnico - tav. 2 | IBOU1BEZZF6GN0700004 |

Gallerie di interconnessione - by-pass:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Profilo geotecnico - tav. 1 | IBOU1BEZZF7GN0700001 |
| Profilo geotecnico - tav. 2 | IBOU1BEZZF7GN0700002 |
| Profilo geotecnico - tav. 3 | IBOU1BEZZF7GN0700003 |

| | | | | | | |
|---|--|------------|------------|--------------|------|--------------------|
| APPALTATORE: |  | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | PROGETTO ESECUTIVO |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA | GDP GEOMIN | SIFEL SIST | M Ingegneria | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 10 di 159 |

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, di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di pre-contenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

6.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

Secondo l'approccio ADECO-RS 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 pre-contenimento 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 stabile 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

| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|------|-----------|--|----------|-------|----------|-----------|------|---------|------|-------|----|-----------|---|-----------|
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IB0U</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">GN0000001</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">11 di 159</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 11 di 159 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | | | | | | | | | | | | | |
| IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 11 di 159 | | | | | | | | | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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 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 ed 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.

Per la determinazione delle categorie di comportamento è stato utilizzato principalmente il metodo delle linee caratteristiche.

Tali valutazioni quantitative, unitamente a considerazioni in merito all'affidabilità e rappresentatività dei dati di ingresso, alle condizioni idrauliche al contorno, e alle variabilità attese lungo il tracciato, hanno condotto alla definizione della categoria di comportamento.

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 12 di 159 |

7. FASE DI TERAPIA

Nella fase di terapia, sulla base delle indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi), si individuano le modalità di scavo e gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine.

7.1 Definizione delle sezioni tipo by-pass di esodo

7.1.1 Sezione A0

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

Interventi di prima fase:

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.15 cm di spritz – beton fibrorinforzato, n.7+8 bulloni radiali ad ancoraggio continuo, costituiti da barre $\Phi 24$ mm (tipo Swellex Pm 16), di lunghezza pari a 3.00m, passo longitudinale pari a 1.50m e trasversale di 1.50m. È prevista una variabilità di $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 10.00m.

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo non armato con spessore di 0.50m;
- Calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.40m

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 3m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento radiale;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp.10 cm (sp tot. 15 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e murette a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 9: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 13 di 159 |

7.1.2 Sezione A1

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

Interventi di prima fase:

- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 cm di spritz – beton fibrorinforzato, n.7+6 bulloni radiali ad ancoraggio puntuale, costituiti da barre $\Phi 24\text{mm}$ (tipo Swellex Pm 16), di lunghezza pari a 4.00m, passo longitudinale pari a 1.20m e trasversale di 1.50m e centine metalli HEA160 con interasse longitudinale 1.20m. È prevista una variabilità di $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 10.00m.

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo non armato con spessore di 0.50m;
- Calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.40m

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.20m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento radiale;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con spritz-beton sp.20 cm (sp tot. 25 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e murette a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 9: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

7.1.3 Sezione B

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

Interventi di prima fase:

- Precontenimento al fronte mediante n.20 autoperforanti $\Phi 32\text{mm}$, in foro $\Phi 64\text{mm}$, L=9.00m, ogni 6.00m di avanzamento (eventuale);
- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 cm di spritz – beton fibrorinforzato, n.7+6 bulloni in avanzamento ad ancoraggio puntuale (successivamente cementati), costituiti da barre $\Phi 24\text{mm}$, di lunghezza pari a 4.50m aventi inclinazione variabile tra 20 e 45 °, passo longitudinale pari a 1.20m e trasversale di 1.00m e centine metalliche HEA180 con interasse longitudinale 1.00m con variabilità di $\pm 20\%$. È prevista una variabilità di $\pm 20\%$ riferita al passo trasversale e longitudinale dei bulloni;

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 14 di 159 |

- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 10.00m.

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo armato con spessore di 0.50m;
- Calotta in calcestruzzo non armato con spessore 0.50m

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione del consolidamento al fronte come da progetto (eventuale);
- Fase 2: esecuzione dello scavo per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, con sagomatura del fronte a forma concava;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato ed di sp.5cm al fronte ogni sfondo e sp.10cm ogni fine campo;
- Fase 4: esecuzione del consolidamento in avanzamento;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con centine metalliche spritz-beton sp.20 cm (sp tot. 25 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e murette a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 9: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

7.1.4 Sezione C

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

Interventi di prima fase:

- Precontenimento al fronte mediante n.25 autoperforanti $\Phi 51$ mm, in foro $\Phi 110$ mm, L=12.00m, ogni 6.00m di avanzamento;
- Rivestimento di prima fase composto da uno strato di 0.25 cm di spritz – beton fibrorinforzato e centine metalliche HEA180 ad interasse 1 longitudinale 1 metro con variabilità del di $\pm 20\%$;
- Presostegno al contorno costituito da 17 autoperforanti $\Phi 51$ mm in foro $\Phi 110$ mm L=6m, inclinazione 20° rispetto al fronte di scavo, passo long. 2.00m, passo trasv. 0.80m con variabilità del $\pm 20\%$;
- Impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- Eventuali 2+2 drenaggi in avanzamento, in caso di presenza di acqua, L=30m, sovrapposizione minima pari a 10.00m.

Rivestimento definitivo:

- Arco rovescio e murette in calcestruzzo armato con spessore di 0.60m;
- Calotta in calcestruzzo armato con spessore 0.50m

Le macrofasi costruttive sono le seguenti:

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 15 di 159 |

- Fase 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- Fase 2: esecuzione del consolidamento al fronte come da progetto;
- Fase 2: esecuzione dello scavo a sezione piena per sfondi di 1 m;
- Fase 3: esecuzione strato pari a 5cm di spritz – beton fibrorinforzato ed di sp.10cm al fronte ogni sfondo e sp.15cm ogni fine campo;
- Fase 4: esecuzione del presostegno al contorno ogni 2 m;
- Fase 5: completamento del rivestimento provvisorio al contorno con centine metalliche e spritz-beton sp.20 cm (sp tot. 25 cm);
- Fase 6: ripetizione delle fasi precedenti fino al getto dell'arco rovescio;
- Fase 7: scavo di ribasso e getto di arco rovescio e muratte a distanza dal fronte come da linee guida;
- Fase 8: posa in opera di impermeabilizzazione;
- Fase 9: getto calotta, distanza dal fronte come da linee guida.

7.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/2009 (Rif. 0 e Rif. 0).

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

Rivestimento provvisorio

| Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato) | |
|--|---|
| Classe di resistenza | C25/30 |
| Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni | $f_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,5} = 14.11 MPa$ |
| Modulo elastico a 28 giorni | $E_{cm} = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 31447 MPa$ |
| Classe minima di sviluppo della resistenza minima a compressione a breve termine | J2 |
| Curva granulometrica degli aggregati di tipo continuo con diametro massimo di: | 10 mm |
| Classe di consistenza | S5 |
| Dosaggio in fibre | 30 kg/m ³ |
| Classe di assorbimento energetica minima | E700 |

Acciaio per centine

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 16 di 159 | |

| | |
|--|-------------------------------|
| Tipo | S275 |
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$ |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$ |
| Modulo elastico | $E_s = 210000 \text{ MPa}$ |

Rivestimenti definitivi

| | |
|---|---|
| Calcestruzzo armato | |
| Classe di resistenza | C25/30 |
| Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni | $f_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{1,5} = 14,17 \text{ MPa}$ |
| Modulo elastico a 28 giorni | $E_{cm} = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} = 31447 \text{ MPa}$ |
| Classe di esposizione | XC2 |
| Classe di consistenza | S4 |
| Classe di contenuto in cloruri | CL 0.2 |
| Diametro massimo aggregato | 32 mm |
| Copriferro | 4,0 cm |

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

| | |
|---|---|
| Acciaio per barre di armatura | |
| 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 | $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1,15} = 391,3 \text{ MPa}$ |
| Tensione massima in condizioni di esercizio | $\sigma_{lim} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ |

| | | | | | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 17 di 159 |

7.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO

Le soluzioni progettuali descritte nel capitolo precedente sono state analizzate per verificarne adeguatezza ed efficacia, con riferimento al modello geotecnico di ciascuna sezione e nel rispetto della normativa vigente (Rif. [1] e Rif. [2]).

7.3.1 Criteri di verifica

Al fine di dimensionare i rivestimenti di prima fase e i rivestimenti definitivi delle sezioni tipologiche di scavo dei by-pass, sono state condotte analisi numeriche bidimensionali. Le sezioni di analisi sono state scelte in corrispondenza delle massime coperture per ciascuna sezione tipologica prevista e nella condizione geotecnica più critica interessata dall'opera, in modo da ottenere le sollecitazioni massime agenti sugli elementi strutturali. Pertanto, si ritiene che le condizioni di calcolo analizzate siano rappresentative e valide per ogni condizione di applicazione delle sezioni.

In particolare, avendo i by-pass tecnologici un'area di scavo leggermente maggiore, a favore di sicurezza si è scelto di adottare questa sezione di scavo per le verifiche.

La seguente tabella riassume le principali informazioni delle sezioni tipologiche dei baypass considerate nelle analisi numeriche:

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 18 di 159 |

| ID | SEZIONE DI CALCOLO | Unità | H [m] |
|------|--------------------|------------------------|--------|
| 1 | 730 | Graniti e granodioridi | 55 |
| 2 | 1100 | Graniti e granodioridi | 126 |
| 3 | 1600 | Graniti e granodioridi | 205 |
| 4 | 1975 | Graniti e granodioridi | 315 |
| 5 | 2475 | Graniti e granodioridi | 586 |
| 6 | 2975 | Graniti e granodioridi | 523 |
| 7 | 3475 | Filladi a granato | 445 |
| 8 | 3974.00 | Filladi a granato | 504 |
| 9 | 4474.00 | Filladi a granato | 436.04 |
| 10 | 4974.00 | Filladi a granato | 303.05 |
| 11 | 5468.90 | faglia 16 | 363.84 |
| 12 | 5961.00 | Filladi a granato | 165.89 |
| 13 | 6453.00 | Filladi a granato | 356.49 |
| BPT1 | 6500.00 | Filladi a granato | 389.52 |
| 14 | 6945.00 | Filladi a granato | 607.45 |
| 15 | 7444.50 | Filladi a granato | 747.91 |
| 16 | 7944.50 | Filladi a granato | 487.29 |
| 17 | 8444.50 | Filladi a granato | 279.44 |
| 18 | 8944.50 | faglia 22 | 203.47 |
| 19 | 9444.50 | Filladi a granato | 191.89 |
| BPT2 | 9500.00 | faglia 24 | 204.14 |
| 20 | 9944.50 | Filladi a granato | 209.77 |
| 21 | 10444.50 | Filladi a granato | 204.9 |
| 22 | 10944.50 | Filladi a granato | 203.14 |
| 23 | 11444.50 | Filladi a granato | 232.23 |
| 24 | 11944.40 | Filladi quarzifere | 250.62 |
| 25 | 12444.50 | Filladi quarzifere | 272.34 |
| 26 | 12944.50 | Filladi quarzifere | 374.69 |
| 27 | 13439.93 | Filladi quarzifere | 387.26 |
| 28 | 13932.07 | Filladi quarzifere | 322.35 |
| 29 | 14424.18 | Filladi quarzifere | 251.26 |
| 30 | 14916.31 | Dioriti | 216.31 |
| 31 | 15250.00 | Dioriti | 215.37 |
| 32 | 15600 | Dioriti | 116.5 |
| 33 | 16513.00 | Porfiroidi | 151.85 |
| 34 | 17013.00 | Filladi quarzifere | 132.74 |
| 35 | 17513.00 | Filladi quarzifere | 310.54 |
| 36 | 18013.00 | Filladi carboniose | 354.54 |
| 37 | 18513.00 | Filladi carboniose | 536.7 |
| BPT3 | 18600.00 | Filladi carboniose | 558.54 |
| 38 | 19013.00 | Filladi carboniose | 585.2 |
| 39 | 19513.00 | Filladi quarzifere | 503.92 |
| 40 | 20013.00 | Filladi quarzifere | 543.55 |
| 41 | 20513.00 | Filladi quarzifere | 564 |
| 42 | 21012.80 | Filladi quarzifere | 575 |
| 43 | 21889.69 | Filladi quarzifere | 514.76 |
| 2 | 667.23 | Filladi quarzifere | 565 |
| 3 | 1154.38 | Filladi | 576 |
| 4 | 1527.60 | Filladi | 518 |
| 5 | 1851.23 | Filladi | 433 |
| 6.1 | 2345.00 | Faglia 12 | 293.32 |
| 6.2 | 2345.00 | Filladi | 293.32 |
| 7.1 | 2829.50 | PRL | 140.86 |
| 7.2 | 2829.50 | Faglia 14 | 140.86 |

Tabella 7—1: Sezioni di calcolo di analizzate per ciascun by-pass

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 19 di 159 |

I tassi di rilascio da utilizzare nelle analisi numeriche per ciascuna fase di calcolo sono stati ottenuti dalle curve caratteristiche in presenza di sostegni riportate brevemente in seguito. Per gli output completi del programma di calcolo utilizzato per la definizione delle curve caratteristiche – GV – si rimanda invece agli Allegati.

Stabilità del fronte e del cavo

Le analisi di stabilità del fronte e del cavo sono mirate alla valutazione dello sviluppo di possibili meccanismi di collasso, con o senza propagazione verso la superficie, o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie. Trattandosi di una verifica per uno Stato Limite Ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1.

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

Gli eventuali interventi di consolidamento al fronte, realizzati mediante barre auto – perforanti, sono simulati mediante un incremento di coesione equivalente del fronte (Δc), valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte (σ_3) determinata sulla base del valore più basso tra la resistenza a trazione e resistenza a sfilamento dei singoli elementi, secondo le seguenti relazioni:

$$\Delta c = \frac{1}{2} \sqrt{K_p} \sigma_3^{autoperf.}$$

Con:

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}\varphi}{1 - \text{sen}\varphi}$$

$$\sigma_3^{autoperf.} = \text{minimo} (\sigma_{3.A}^{autoperf.}, \sigma_{3.B}^{autoperf.})$$

$$\sigma_{3.A}^{autoperf.} = \frac{\tau_{bk} L_A p_A}{A_i}$$

$$\sigma_{3.B}^{autoperf.} = \frac{f_{tk} A_T}{A_i}$$

Dove:

τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia con il terreno;

L_A = lunghezza utile dell'elemento;

p_A = perimetro dell'interfaccia con il terreno;

f_{tk} = resistenza a trazione dell'elemento in acciaio;

A_T = sezione resistente a trazione dell'elemento in acciaio;

A_i = area di influenza del singolo elemento di consolidamento.

Le valutazioni relative all'effetto dei consolidamenti sono condotte a partire dai parametri geotecnici caratteristici e adottando coefficienti parziali unitari sulle resistenze dei materiali. Agli incrementi di

| | | | | | | |
|---|--|------------|------------|--------------|------|--------------------|
| APPALTATORE: |  | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | PROGETTO ESECUTIVO |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA | GDP GEOMIN | SIFEL SIST | M Ingegneria | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 20 di 159 |

coesione equivalente calcolati come sopra descritto può quindi essere applicato lo stesso coefficiente parziale previsto per la coesione dell'ammasso.

Interazione opera – terreno

L'interazione opera – terreno è stata valutata mediante apposite analisi numeriche agli elementi finiti (FEM) utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D (versione 21.01.00.479), sviluppato da Bentley Systems. Tale codice permette di analizzare problemi di meccanica del continuo determinando gli stati tensionali e deformativi in campo bidimensionale e assial – simmetrico, in equilibrio con le azioni esterne e gravitative applicate e compatibilmente con le leggi costitutive adottate per i materiali, ricorrendo al metodo degli elementi finiti, sia in campo statico sia dinamico.

Nell'ambito delle analisi condotte per le sezioni in esame, sono state adottate leggi costitutive di tipo elastico lineare per gli elementi strutturali e leggi elasto – plastiche con il criterio di resistenza "Mohr – Coulomb" per le zone di terreno naturale.

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

- Stati Limite Ultimi per il raggiungimento della resistenza del terreno – ammasso roccioso interessato dallo scavo (Stato Limite Ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno;
- Stati Limite Ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (Stato Limite Ultimo di tipo STR);
- Stato Limite di Esercizio per il rivestimento definitivo.

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

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

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

Per le verifiche degli interventi di contenimento radiale con chiodi a aderenza continua o puntuale, con riferimento alla configurazione di equilibrio a breve termine ottenuta dall'analisi di interazione, sono state

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 21 di 159 |

effettuate le verifiche di resistenza a trazione e sfilamento degli elementi, da inquadrare come verifiche SLU di tipo STR secondo i coefficienti previsti dall'Approccio 1 – Combinazione 1. L'azione di sforzo normale ottenuta dal calcolo, amplificata di 1.3, è confrontata con la resistenza a trazione e sfilamento, valutate con i parametri caratteristici.

Nelle analisi di interazione con modelli numerici bidimensionali, lo scavo della galleria viene simulato mediante deconfinamento tenendo conto della variazione del tasso di confinamento in funzione della distanza della sezione di calcolo dal fronte; in questo modo il problema tridimensionale dello scavo della galleria viene ricondotto ad un problema piano, con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.

Le strutture di *rivestimento provvisorio* della galleria vengono simulate con elementi "plate" elastico-lineari, con proprietà di rigidità ed inerzia definite considerando la sezione acciaio – calcestruzzo omogeneizzata. In fase di verifica degli elementi strutturali, le sollecitazioni ottenute dalla modellazione vengono gestite ripartendo lo sforzo normale (N) tra centine e spritz-beton in base alle rigidità assiali relative, mentre il taglio (T) e il momento flettente (M) vengono assegnati interamente alle centine. Le verifiche e la ripartizione degli sforzi viene svolta come descritto nei successivi paragrafi.

Le strutture di *rivestimento definitivo* della galleria sono simulate con elementi di volume assegnando un legame costitutivo elastico-lineare. Per ottenere le sollecitazioni su quest'ultimi, sono introdotti nel modello degli elementi "plate" in linea d'asse ai rivestimenti definitivi caratterizzati da rigidità molto bassa (modulo elastico degli elementi diviso per un fattore di scala $F=10^{-6}$). A causa della loro bassa rigidità essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all'interno dell'elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output sono moltiplicate per lo stesso fattore di scala F per ottenere le sollecitazioni di verifica strutturale.

7.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

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

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

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN000001 | C | 22 di 159 |

| ID | SEZIONE DI CALCOLO | Unità | H [m] | H(m) rispetto centro | Ascavo [mq] | Req [m] | Y [kN/mc] | os [MPa] | C'min | C'max | c'kp [kPa] | c'kp [MPa] | c'kd [MPa] | φ' min [°] | φ'max [°] | φ'kp [°] | φ'kd [°] | Ek min [Gpa] | Ek max [Gpa] | Ek [Gpa] |
|------|--------------------|------------------------|--------|----------------------|-------------|----------|-----------|----------|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|------------|--------------|--------------|----------|
| 1 | 730.00 | Graniti e granodioridi | 55 | 58.19154 | 32 | 3.191538 | 27 | 1.571 | 654 | 986 | 986 | 0.986 | 0.7888 | 47 | 53 | 53 | 46.7124377 | 2 | 5.2 | 5.2 |
| 2 | 1100.00 | Graniti e granodioridi | 126 | 129.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.488 | 654 | 986 | 986 | 0.986 | 0.7888 | 47 | 53 | 53 | 46.7124377 | 2 | 5.2 | 5.2 |
| 3 | 1600.00 | Graniti e granodioridi | 205 | 208.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.621 | 1650 | 2167 | 2167 | 2.167 | 1.7336 | 50 | 54 | 54 | 47.754957 | 7 | 12.3 | 12.3 |
| 4 | 1975.00 | Graniti e granodioridi | 315 | 318.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.591 | 2382 | 2993 | 2993 | 2.993 | 2.3944 | 51 | 53 | 53 | 46.7124377 | 10.9 | 17.9 | 17.9 |
| 5 | 2475.00 | Graniti e granodioridi | 586 | 589.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.908 | 3656 | 4541 | 4541 | 4.541 | 3.6328 | 50 | 53 | 53 | 46.7124377 | 18.2 | 25.7 | 25.7 |
| 6 | 2975.00 | Graniti e granodioridi | 523 | 526.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 14.207 | 3656 | 4541 | 4541 | 4.541 | 3.6328 | 50 | 53 | 53 | 46.7124377 | 18.2 | 25.7 | 25.7 |
| 7 | 3475.00 | Filladi a granato | 445 | 448.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 12.101 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 |
| 8 | 3974.00 | Filladi a granato | 504 | 507.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.694 | 1692 | 2206 | 2206 | 2.206 | 1.7648 | 34 | 36 | 36 | 30.1666113 | 11.4 | 16.1 | 16.1 |
| 9 | 4474.00 | Filladi a granato | 436.04 | 439.2315 | 32 | 3.191538 | 27 | 11.859 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 |
| 10 | 4974.00 | Filladi a granato | 303.05 | 306.2415 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.269 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 |
| 11 | 5468.90 | flaglia 16 | 363.84 | 367.0315 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.910 | 891 | 891 | 891 | 0.891 | 0.7128 | 31 | 31 | 31 | 25.6730582 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| 12 | 5961.00 | Filladi a granato | 165.89 | 169.0815 | 32 | 3.191538 | 27 | 4.565 | 538 | 697 | 697 | 0.697 | 0.5576 | 38 | 41 | 41 | 34.8158864 | 3.5 | 6.8 | 6.8 |
| 13 | 6453.00 | Filladi a granato | 356.49 | 359.6815 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.711 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 |
| BPT1 | 6500.00 | Filladi a granato | 389.52 | 392.7115 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.603 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 |
| 14 | 6945.00 | Filladi a granato | 607.45 | 610.6415 | 32 | 3.191538 | 27 | 16.487 | 2059 | 2603 | 2603 | 2.603 | 2.0824 | 31 | 34 | 34 | 28.3516015 | 11.4 | 16.1 | 16.1 |
| 15 | 7444.50 | Filladi a granato | 747.91 | 751.1015 | 32 | 3.191538 | 27 | 20.280 | 2059 | 2603 | 2603 | 2.603 | 2.0824 | 31 | 34 | 34 | 28.3516015 | 11.4 | 16.1 | 16.1 |
| 16 | 7944.50 | Filladi a granato | 487.29 | 490.4815 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.243 | 1794 | 2315 | 2315 | 2.315 | 1.852 | 33 | 36 | 36 | 30.1666113 | 11.4 | 16.1 | 16.1 |
| 17 | 8444.50 | Filladi a granato | 279.44 | 282.6315 | 32 | 3.191538 | 27 | 7.631 | 889 | 1117 | 1117 | 1.117 | 0.8936 | 34 | 37 | 37 | 31.0833899 | 4.9 | 9 | 9 |
| 18 | 8944.50 | flaglia 22 | 203.47 | 206.6615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.580 | 725 | 936 | 936 | 0.936 | 0.7488 | 37 | 40 | 40 | 33.8726604 | 4.9 | 9 | 9 |
| 19 | 9444.50 | Filladi a granato | 191.89 | 195.0815 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.267 | 637 | 714 | 714 | 0.714 | 0.5712 | 36 | 37 | 37 | 31.0833899 | 3.5 | 4.9 | 4.9 |
| BPT2 | 9500.00 | flaglia 24 | 204.14 | 207.3315 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.598 | 322 | 322 | 322 | 0.322 | 0.2576 | 26 | 26 | 26 | 21.3150366 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 20 | 9944.50 | Filladi a granato | 209.77 | 212.9615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.750 | 656 | 946 | 946 | 0.946 | 0.7568 | 35 | 40 | 40 | 33.8726604 | 3.5 | 9 | 9 |
| 21 | 10444.50 | Filladi a granato | 204.9 | 208.0915 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.618 | 656 | 946 | 946 | 0.946 | 0.7568 | 35 | 40 | 40 | 33.8726604 | 3.5 | 9 | 9 |
| 22 | 10944.50 | Filladi a granato | 203.14 | 206.3315 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.571 | 794 | 1011 | 1011 | 1.011 | 0.8088 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 4.9 | 9 | 9 |
| 23 | 11444.50 | Filladi a granato | 232.23 | 235.4215 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.356 | 794 | 1011 | 1011 | 1.011 | 0.8088 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 4.9 | 9 | 9 |
| 24 | 11944.40 | Filladi quarzifere | 250.62 | 253.8115 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.853 | 973 | 1260 | 1260 | 1.26 | 1.008 | 37 | 40 | 40 | 33.8726604 | 6 | 11 | 11 |
| 25 | 12444.50 | Filladi quarzifere | 272.34 | 275.5315 | 32 | 3.191538 | 27 | 7.439 | 1024 | 1316 | 1316 | 1.316 | 1.0528 | 36 | 39 | 39 | 32.9326252 | 6 | 11 | 11 |
| 26 | 12944.50 | Filladi quarzifere | 374.69 | 377.8815 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.203 | 1349 | 1520 | 1520 | 1.52 | 1.216 | 36 | 37 | 37 | 31.0833899 | 8.3 | 11 | 11 |
| 27 | 13439.93 | Filladi quarzifere | 387.26 | 390.4515 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.542 | 1544 | 1763 | 1763 | 1.763 | 1.4104 | 37 | 38 | 38 | 32.0065575 | 11 | 14 | 14 |
| 28 | 13932.07 | Filladi quarzifere | 322.35 | 325.5415 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.790 | 1216 | 1381 | 1381 | 1.381 | 1.1048 | 37 | 39 | 39 | 32.9326252 | 9 | 11 | 8.3 |
| 29 | 14424.18 | Filladi quarzifere | 251.26 | 254.4515 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.870 | 1024 | 1316 | 1316 | 1.316 | 1.0528 | 36 | 39 | 39 | 32.9326252 | 6.2 | 11 | 11 |
| 30 | 14916.31 | Dioriti | 216.31 | 219.5015 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.927 | 1498 | 1944 | 1944 | 1.944 | 1.5552 | 53 | 56 | 56 | 49.8645683 | 6.2 | 11.4 | 11.4 |
| 31 | 15250.00 | Dioriti | 215.37 | 218.5615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.901 | 1458 | 1899 | 1899 | 1.899 | 1.5192 | 53 | 57 | 57 | 50.931707 | 6.2 | 11.4 | 11.4 |
| 32 | 15600.00 | Dioriti | 116.5 | 119.6915 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.232 | 925 | 1095 | 1095.00 | 1.095 | 0.876 | 50 | 56 | 56 | 49.8645683 | 2.4 | 6.2 | 6.2 |
| 33 | 16513.00 | Porfiriodi | 151.85 | 155.0415 | 32 | 3.191538 | 27 | 4.186 | 821 | 961 | 961.00 | 0.961 | 0.7688 | 42 | 43 | 43 | 36.7233829 | 6.9 | 9.2 | 9.2 |
| 34 | 17013.00 | Filladi quarzifere | 132.74 | 135.9315 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.670 | 612 | 703 | 703 | 0.703 | 0.5624 | 41 | 42 | 42 | 35.7680825 | 4.3 | 6 | 6 |
| 35 | 17513.00 | Filladi quarzifere | 310.54 | 313.7315 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.471 | 1605 | 1826 | 1826 | 1.826 | 1.4608 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 11 | 14 | 14 |
| 36 | 18013.00 | Filladi carboniose | 354.54 | 357.7315 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.659 | 923 | 1114 | 1114 | 1.114 | 0.8912 | 27 | 30 | 30 | 24.7912809 | 4.2 | 7.8 | 7.8 |
| 37 | 18513.00 | Filladi carboniose | 536.7 | 539.8915 | 32 | 3.191538 | 27 | 14.577 | 1155 | 1396 | 1396 | 1.396 | 1.1168 | 27 | 30 | 30 | 24.7912809 | 5.8 | 9.9 | 9.9 |
| BPT3 | 18600.00 | Filladi carboniose | 558.54 | 561.7315 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.167 | 1155 | 1396 | 1396 | 1.396 | 1.1168 | 27 | 30 | 30 | 24.7912809 | 5.8 | 9.9 | 9.9 |
| 38 | 19013.00 | Filladi carboniose | 585.2 | 588.3915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.887 | 2076 | 2769 | 2769 | 2.769 | 2.2152 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 39 | 19513.00 | Filladi quarzifere | 503.92 | 507.1115 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.692 | 2076 | 2769 | 2769 | 2.769 | 2.2152 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 40 | 20013.00 | Filladi quarzifere | 543.55 | 546.7415 | 32 | 3.191538 | 27 | 14.762 | 2053 | 2743 | 2743 | 2.743 | 2.1944 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 41 | 20513.00 | Filladi quarzifere | 564 | 567.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.314 | 1970 | 2656 | 2656 | 2.656 | 2.1248 | 36 | 39 | 39 | 32.9326252 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 42 | 21012.80 | Filladi quarzifere | 575 | 578.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.611 | 2083 | 2775 | 2775 | 2.775 | 2.22 | 36 | 38 | 38 | 32.0065575 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 43 | 21889.69 | Filladi quarzifere | 514.76 | 517.9515 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.985 | 1970 | 2656 | 2656 | 2.656 | 2.1248 | 36 | 39 | 39 | 32.9326252 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 2 | 667.23 | Filladi quarzifere | 565 | 568.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.341 | 2088 | 2780 | 2780 | 2.78 | 2.224 | 35 | 38 | 38 | 32.0065575 | 14 | 19.8 | 19.8 |
| 3 | 1154.38 | Filladi | 576 | 579.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.638 | 1434 | 1765 | 1765 | 1.765 | 1.412 | 30 | 33 | 33 | 27.4530532 | 6.8 | 11.4 | 11.4 |
| 4 | 1527.60 | Filladi | 518 | 521.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 14.072 | 1434 | 1765 | 1765 | 1.765 | 1.412 | 30 | 33 | 33 | 27.4530532 | 6.8 | 11.4 | 11.4 |
| 5 | 1851.23 | Filladi | 433 | 436.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 11.777 | 1217 | 1354 | 1354 | 1.354 | 1.0832 | 33 | 34 | 34 | 28.3516015 | 6.8 | 8.9 | 8.9 |
| 6.1 | 2345.00 | Flaglia 12 | 293.32 | 296.5115 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.006 | 562 | 562 | 562 | 0.562 | 0.4496 | 28 | 28 | 28 | 23.0433266 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| 6.2 | 2345.00 | Filladi | 293.32 | 296.5115 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.006 | 752 | 938 | 938 | 0.938 | 0.7504 | 33 | 36 | 36 | 30.1666113 | 3.5 | 6.8 | 6.8 |
| 7.1 | 2829.50 | PHI | 140.86 | 144.0515 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.889 | 378 | 487 | 487 | 0.487 | 0.3896 | 36 | 39 | 39 | 32.9326252 | 1.8 | 3.5 | 3.5 |
| 7.2 | 2829.50 | Flaglia 14 | 140.86 | 144.0515 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.889 | 174 | 174 | 174 | 0.174 | 0.1392 | 27 | 27 | 27 | 22.1768094 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

Tabella 7—2: Parametri geotecnici di calcolo per ogni by-pass

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 23 di 159 |

7.3.2.1. Risultati delle analisi

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

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso σ_c e la pressione critica al fronte $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$, 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:

Tabella 9-2 – Criterio 1

| σ_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 7—3: Criterio 1

Tabella 9-3 – Criterio 2

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

Tabella 7—4: Criterio 2

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, 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.

| | |
|---|---|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" |
| PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ CL GN0000001 C 1 di 159 |

| ID | SEZIONE DI CALCOLO | Unità | H [m] | H(m) rispetto centro | Ascavo [mq] | Req (m) | Y [kN/mc] | σ0 [Mpa] | C'min | C'max | c'kp [kPa] | c'kp [MPa] | c'kd [MPa] | ϕ' min [°] | ϕ' max [°] | ϕ' kp [°] | ϕ' kd [°] | Ek min [Gpa] | Ek max [Gpa] | Ek [Gpa] | Ek [Mpa] | σc [Mpa] | kp | pc [Mpa] | oc/pc | Uf | Uf/Req | Rpf | Rpf/Req | CRITERIO 1 | CRITERIO 2.1 | CRITERIO 2.2 |
|------|--------------------|--------------------------------|--------|----------------------|-------------|----------|-----------|----------|-------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|-------|--------|-------|---------|------------|--------------|--------------|
| 1 | 730.00 | Graniti e granodioridi | 55 | 58.19154 | 32 | 3.191538 | 27 | 1.571 | 654 | 986 | 986 | 0.986 | 0.7888 | 47 | 53 | 53 | 46.7124377 | 2 | 5.2 | 5.2 | 5200 | 3.98 | 6.351 | -0.24 | -16.824 | 0.001 | 0.02% | 3.068 | 0.961 | A | A | B |
| 2 | 1100.00 | Graniti e granodioridi | 126 | 129.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.488 | 654 | 986 | 986 | 0.986 | 0.7888 | 47 | 53 | 53 | 46.7124377 | 2 | 5.2 | 5.2 | 5200 | 3.98 | 6.351 | 0.18 | 21.675 | 0.001 | 0.04% | 3.252 | 1.019 | A | A | B |
| 3 | 1600.00 | Graniti e granodioridi | 205 | 208.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.621 | 1650 | 2167 | 2167 | 2.167 | 1.7336 | 50 | 54 | 54 | 47.754957 | 7 | 12.3 | 12.3 | 12300 | 8.97 | 6.700 | -0.08 | -118.970 | 0.001 | 0.03% | 3.174 | 0.995 | A | A | B |
| 4 | 1975.00 | Graniti e granodioridi | 315 | 318.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.591 | 2382 | 2993 | 2993 | 2.993 | 2.3944 | 51 | 53 | 53 | 46.7124377 | 10.9 | 17.9 | 17.9 | 17900 | 12.07 | 6.351 | 0.12 | 101.001 | 0.001 | 0.03% | 3.205 | 1.004 | A | A | B |
| 5 | 2475.00 | Graniti e granodioridi | 586 | 589.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 15.908 | 3656 | 4541 | 4541 | 4.541 | 3.6328 | 50 | 53 | 53 | 46.7124377 | 18.2 | 25.7 | 25.7 | 25700 | 18.31 | 6.351 | 0.81 | 22.592 | 0.001 | 0.04% | 3.254 | 1.020 | A | A | B |
| 6 | 2975.00 | Graniti e granodioridi | 523 | 526.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 14.207 | 3656 | 4541 | 4541 | 4.541 | 3.6328 | 50 | 53 | 53 | 46.7124377 | 18.2 | 25.7 | 25.7 | 25700 | 18.31 | 6.351 | 0.44 | 41.801 | 0.001 | 0.03% | 3.226 | 1.011 | A | A | B |
| 7 | 3475.00 | Filladi a granato | 445 | 448.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 12.101 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 4.23 | 2.912 | 4.08 | 1.035 | 0.005 | 0.17% | 4.189 | 1.313 | A/B | B | B |
| 8 | 3974.00 | Filladi a granato | 504 | 507.1915 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.694 | 1692 | 2206 | 2206 | 2.206 | 1.7648 | 34 | 36 | 36 | 30.1666113 | 11.4 | 16.1 | 16.1 | 16100 | 6.13 | 3.020 | 4.09 | 1.499 | 0.003 | 0.11% | 3.937 | 1.234 | A | B | B |
| 9 | 4474.00 | Filladi a granato | 436.04 | 439.2315 | 32 | 3.191538 | 27 | 11.859 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 4.23 | 2.912 | 3.98 | 1.063 | 0.005 | 0.16% | 4.170 | 1.307 | A/B | B | B |
| 10 | 4974.00 | Filladi a granato | 303.05 | 306.2415 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.269 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 4.23 | 2.912 | 6.79 | 1.071 | 0.003 | 0.09% | 3.859 | 1.209 | A/B | A | B |
| 11 | 5468.90 | Filladi a granato Faglia 16 | 363.84 | 367.0315 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.510 | 891 | 891 | 891 | 0.891 | 0.7128 | 31 | 31 | 31 | 25.6730582 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3500 | 2.27 | 2.529 | 4.16 | 0.545 | 0.025 | 0.78% | 4.929 | 1.544 | B/C | C | C |
| 12 | 5961.00 | Filladi a granato | 165.89 | 169.0815 | 32 | 3.191538 | 27 | 4.565 | 538 | 697 | 697 | 0.697 | 0.5576 | 38 | 41 | 41 | 34.8158864 | 3.5 | 6.8 | 6.8 | 6800 | 2.13 | 3.661 | 1.13 | 1.884 | 0.002 | 0.07% | 3.754 | 1.176 | A | A | B |
| 13 | 6453.00 | Filladi a granato | 356.49 | 359.6815 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.711 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 4.23 | 2.912 | 3.03 | 1.394 | 0.004 | 0.11% | 3.992 | 1.251 | A | B | B |
| BPT1 | 6500.00 | Filladi a granato | 389.52 | 392.7115 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.603 | 1379 | 1548 | 1548 | 1.548 | 1.2384 | 34 | 35 | 35 | 29.2560676 | 9 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 4.23 | 2.912 | 3.42 | 1.235 | 0.004 | 0.13% | 4.069 | 1.275 | A | B | B |
| 14 | 6945.00 | Filladi a granato | 607.45 | 610.6415 | 32 | 3.191538 | 27 | 16.487 | 2059 | 2603 | 2603 | 2.603 | 2.0824 | 31 | 34 | 34 | 28.3516015 | 11.4 | 16.1 | 16.1 | 16100 | 6.98 | 2.809 | 5.37 | 1.301 | 0.005 | 0.15% | 4.056 | 1.271 | A | B | B |
| 15 | 7444.50 | Filladi a granato | 747.91 | 751.1015 | 32 | 3.191538 | 27 | 20.280 | 2059 | 2603 | 2603 | 2.603 | 2.0824 | 31 | 34 | 34 | 28.3516015 | 11.4 | 16.1 | 16.1 | 16100 | 6.98 | 2.809 | 7.08 | 0.985 | 0.007 | 0.21% | 4.233 | 1.333 | A/B | B | B |
| 16 | 7944.50 | Filladi a granato | 487.29 | 490.4815 | 32 | 3.191538 | 27 | 13.243 | 1794 | 2315 | 2315 | 2.315 | 1.852 | 33 | 36 | 36 | 30.1666113 | 11.4 | 16.1 | 16.1 | 16100 | 6.44 | 3.020 | 3.81 | 1.688 | 0.003 | 0.10% | 3.873 | 1.214 | A | A | B |
| 17 | 8444.50 | Filladi a granato | 279.44 | 282.6315 | 32 | 3.191538 | 27 | 7.631 | 889 | 1117 | 1117 | 1.117 | 0.8936 | 34 | 37 | 37 | 31.0833899 | 4.9 | 9 | 9 | 9000 | 3.16 | 3.135 | 2.28 | 1.389 | 0.004 | 0.11% | 3.960 | 1.241 | A | A | B |
| 18 | 8944.50 | Filladi a granato Faglia 22 | 203.47 | 206.6615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.580 | 725 | 936 | 936 | 0.936 | 0.7488 | 37 | 40 | 40 | 33.8726604 | 4.9 | 9 | 9 | 9000 | 3.16 | 3.135 | 1.38 | 2.030 | 0.002 | 0.07% | 3.736 | 1.171 | A | A | B |
| 19 | 9444.50 | Filladi a granato | 191.89 | 195.0815 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.267 | 637 | 714 | 714 | 0.714 | 0.5712 | 36 | 37 | 37 | 31.0833899 | 3.5 | 4.9 | 4.9 | 4900 | 2.02 | 3.135 | 1.62 | 1.251 | 0.005 | 0.15% | 4.017 | 1.259 | A | B | B |
| BPT2 | 9500.00 | Filladi a granato Faglia 24 | 204.14 | 207.3315 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.598 | 322 | 322 | 322 | 0.322 | 0.2576 | 26 | 26 | 26 | 21.3190366 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 800 | 0.75 | 2.142 | 2.89 | 0.261 | 0.152 | 4.75% | 6.627 | 2.076 | B/C | C | C |
| 20 | 9944.50 | Filladi a granato | 209.77 | 212.9615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.750 | 656 | 946 | 946 | 0.946 | 0.7568 | 35 | 40 | 40 | 33.8726604 | 3.5 | 9 | 9 | 9000 | 2.84 | 3.518 | 1.44 | 1.972 | 0.002 | 0.07% | 3.749 | 1.175 | A | A | B |
| 21 | 10444.50 | Filladi a granato | 204.9 | 208.0915 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.618 | 656 | 946 | 946 | 0.946 | 0.7568 | 35 | 40 | 40 | 33.8726604 | 3.5 | 9 | 9 | 9000 | 2.84 | 3.518 | 1.39 | 2.041 | 0.002 | 0.07% | 3.734 | 1.170 | A | A | B |
| 22 | 10944.50 | Filladi a granato | 203.14 | 206.3315 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.571 | 794 | 1011 | 1011 | 1.011 | 0.8088 | 36 | 38 | 38 | 32.0655575 | 4.9 | 9 | 9 | 9000 | 2.92 | 3.255 | 1.45 | 2.016 | 0.002 | 0.07% | 3.759 | 1.178 | A | A | B |
| 23 | 11444.50 | Filladi a granato | 232.23 | 235.4215 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.356 | 794 | 1011 | 1011 | 1.011 | 0.8088 | 36 | 38 | 38 | 32.0655575 | 4.9 | 9 | 9 | 9000 | 2.92 | 3.255 | 1.76 | 1.657 | 0.003 | 0.08% | 3.852 | 1.207 | A | A | B |
| 24 | 11944.40 | Filladi quarzifere | 250.62 | 253.8115 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.853 | 973 | 1260 | 1260 | 1.26 | 1.008 | 37 | 40 | 40 | 33.8726604 | 6 | 11 | 11 | 11000 | 3.78 | 3.518 | 1.62 | 2.338 | 0.002 | 0.06% | 3.682 | 1.154 | A | A | B |
| 25 | 12444.50 | Filladi quarzifere | 272.34 | 275.5315 | 32 | 3.191538 | 27 | 7.439 | 1024 | 1316 | 1316 | 1.316 | 1.0528 | 36 | 39 | 39 | 32.9362652 | 6 | 11 | 11 | 11000 | 3.87 | 3.383 | 1.88 | 2.064 | 0.002 | 0.07% | 3.742 | 1.172 | A | A | B |
| 26 | 12944.50 | Filladi quarzifere | 374.69 | 377.8815 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.203 | 1349 | 1520 | 1520 | 1.52 | 1.216 | 36 | 37 | 37 | 31.0833899 | 8.3 | 11 | 11 | 11000 | 4.31 | 3.135 | 3.03 | 1.423 | 0.004 | 0.12% | 3.949 | 1.237 | A | B | B |
| 27 | 13439.93 | Filladi quarzifere | 387.26 | 390.4515 | 32 | 3.191538 | 27 | 10.542 | 1544 | 1763 | 1763 | 1.763 | 1.4104 | 37 | 38 | 38 | 32.0655575 | 11 | 14 | 14 | 14000 | 5.09 | 3.255 | 2.86 | 1.782 | 0.003 | 0.09% | 3.820 | 1.197 | A | A | B |
| 28 | 13932.07 | Filladi quarzifere | 322.35 | 325.5415 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.790 | 1216 | 1381 | 1381 | 1.381 | 1.1048 | 37 | 39 | 39 | 32.9362652 | 9 | 11 | 11 | 8300 | 4.06 | 3.383 | 2.35 | 1.730 | 0.003 | 0.09% | 3.821 | 1.197 | A | A | B |
| 29 | 14424.18 | Filladi quarzifere | 251.26 | 254.4515 | 32 | 3.191538 | 27 | 6.870 | 1024 | 1316 | 1316 | 1.316 | 1.0528 | 36 | 39 | 39 | 32.9362652 | 6.2 | 11 | 11 | 11000 | 3.87 | 3.383 | 1.66 | 2.338 | 0.002 | 0.06% | 3.691 | 1.156 | A | A | B |
| 30 | 14916.31 | Dioriti | 216.31 | 219.5015 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.927 | 1498 | 1944 | 1944 | 1.944 | 1.5552 | 33 | 36 | 36 | 49.8645683 | 6.2 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 8.51 | 7.493 | 0.05 | 181.306 | 0.001 | 0.03% | 3.197 | 1.002 | A | A | B |
| 31 | 15250.00 | Dioriti | 215.37 | 218.5615 | 32 | 3.191538 | 27 | 5.901 | 1458 | 1899 | 1899 | 1.899 | 1.5192 | 53 | 57 | 57 | 50.931707 | 6.2 | 11.4 | 11.4 | 11400 | 8.56 | 7.944 | 0.03 | 251.285 | 0.001 | 0.03% | 3.195 | 1.001 | A | A | B |
| 32 | 15600.00 | Dioriti | 116.5 | 119.6915 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.232 | 925 | 1095 | 1095.00 | 1.095 | 0.876 | 50 | 56 | 56 | 49.8645683 | 2.4 | 6.2 | 6.2 | 6200 | 4.80 | 7.493 | 0.01 | 743.366 | 0.001 | 0.03% | 3.188 | 0.999 | A | A | B |
| 33 | 16513.00 | Porfiroidi | 151.85 | 155.0415 | 32 | 3.191538 | 27 | 4.186 | 821 | 961 | 961.00 | 0.961 | 0.7688 | 42 | 43 | 43 | 36.7233829 | 6.9 | 9.2 | 9.2 | 9200 | 3.07 | 3.975 | 0.72 | 4.268 | 0.001 | 0.04% | 3.478 | 1.090 | A | A | B |
| 34 | 17013.00 | Filladi quarzifere | 132.74 | 135.9315 | 32 | 3.191538 | 27 | 3.670 | 612 | 703 | 703 | 0.703 | 0.5624 | 41 | 42 | 42 | 35.7660825 | 4.3 | 6 | 6 | 6000 | 2.20 | 3.813 | 0.77 | 2.863 | 0.002 | 0.05% | 3.592 | 1.125 | A | A | B |
| 35 | 17513.00 | Filladi quarzifere | 310.54 | 313.7315 | 32 | 3.191538 | 27 | 8.471 | 1605 | 1826 | 1826 | 1.826 | 1.4608 | 36 | 38 | 38 | 32.0655575 | 11 | 14 | 14 | 14000 | 5.27 | 3.255 | 1.98 | 2.663 | 0.002 | 0.06% | 3.650 | 1.144 | A | A | B |
| 36 | 18013.00 | Filladi carboniose | 354.54 | 357.7315 | 32 | 3.191538 | 27 | 9.659 | 923 | 1114 | 1114 | 1.114 | 0.8912 | 27 | 30 | 30 | 24.7912809 | 4.2 | 7.8 | 7.8 | 7800 | 2.79 | 2.444 | 3.97 | 0.701 | 0.009 | 0.29% | 4.688 | 1.469 | B/C | B | B |
| 37 | 18513.00 | Filladi carboniose | 536.7 | 539.8915 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 2 di 159 |

7.3.2.2. Riepilogo delle sezioni di verifica

In seguito alle analisi condotte in fase di diagnosi per ciascun by-pass sono state selezionate le sezioni che hanno fornito i risultati peggiori in termini di deformazione per ciascuna classe di riferimento.

Le sezioni di riferimento sono state poi utilizzate per le verifiche FEM dei capitoli successivi. Nelle seguenti tabelle vengono riportate in forma tabellare e riassuntiva i risultati principali relativi alla fase di diagnosi delle sezioni di calcolo selezionate.

| Sezione di scavo | ID | Unità | H [m] | H(m) rispetto centro | σ [Mpa] | c'kp [kPa] | ϕ' kp [°] | Ek [Gpa] |
|------------------|------------|------------------------|--------|----------------------|----------------|------------|----------------|----------|
| A0 | 6 | Graniti e granodioridi | 523 | 526.1915 | 14.207 | 4541 | 53 | 25.7 |
| A1 | 16 | Filladi a granato | 487.29 | 490.4815 | 13.243 | 2315 | 36 | 16.1 |
| B | 36 | Filladi carboniose | 354.54 | 357.7315 | 9.659 | 1114 | 30 | 7.8 |
| C | 7.2 | Faglia 14 | 140.86 | 144.0515 | 3.889 | 174 | 27 | 0.7 |

| Sezione di scavo | Uf | Uf/Req | Rpf | Rpf/Req | CRITERIO 1 | CRITERIO 2.1 | CRITERIO 2.2 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| A0 | 0.001 | 0.03% | 3.226 | 1.011 | A | A | B |
| A1 | 0.003 | 0.10% | 3.873 | 1.214 | A | A | B |
| B | 0.009 | 0.29% | 4.688 | 1.469 | B/C | B | B |
| C | 0.141 | 4.42% | 6.997 | 2.192 | B/C | C | C |

Tabella 7—6: riassunto della fase di diagnosi per le sezioni di calcolo di riferimento

In aggiunta alle sezioni indicate nelle precedenti tabelle, viene presentata un'ulteriore analisi al paragrafo 7.3.7 nella quale si esamina il sottoattraversamento del by-pass 2 da parte della futura galleria di linea BP.

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 3 di 159 |

7.3.3 Sezione A0 – By-pass 6 Galleria Scaleres

7.3.3.1. Stabilità del fronte e del cavo

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

| Sezione di calcolo | R_{eq} [m] | H [m] | A_{scavo} [m ²] | σ_0 [MPa] | p_{w0} [MPa] | p_{wR} [MPa] | γ [kN/m ³] | c'_{kp} [kPa] | φ'_{kp} [°] | E_k [MPa] |
|--------------------|-----------------|----------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|
| A0 | 3.2 | 523 | 32 | 14.207 | - | - | 27 | 4541 | 53 | 25700 |

H = copertura rispetto alla calotta della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 A_{scavo} = area di scavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso
 E_k = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 7—7: Parametri input curve caratteristiche

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

| Sezione di calcolo | Unità | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|-----------------|--------------|---------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| A0 | $\gamma\beta_t$ | 0.001 | 0.03 | 3.226 | 1.011 | A | B |

Tabella 7—8: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A0

Le figure seguenti illustrano le curve caratteristiche del cavo, del pre – rivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria per i modelli considerati.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 4 di 159 |

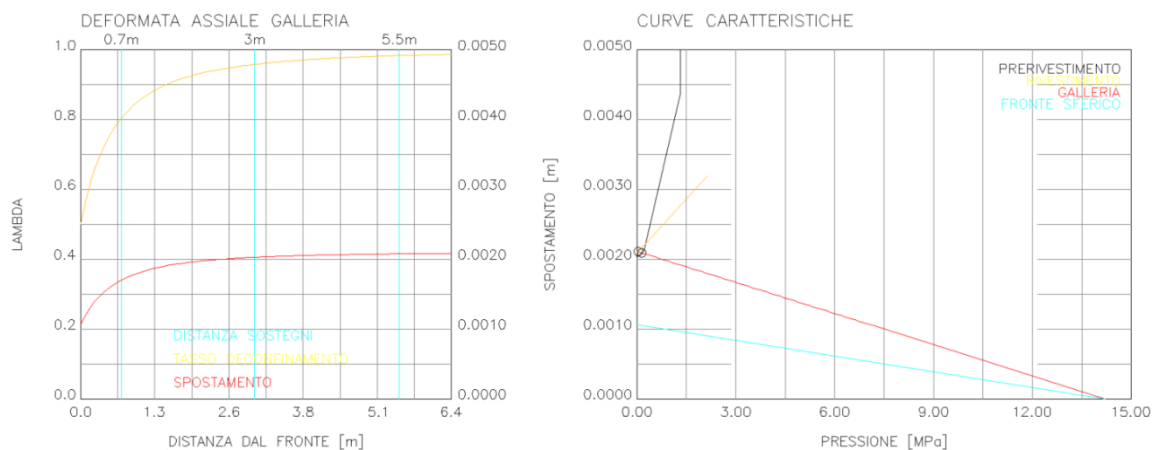


Figura 7-1: Deformata della galleria e curve caratteristiche sezione tipologica A0

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

| Fasi di analisi | Distanza dal fronte [m] | Tasso di rilascio [-] |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Pre – convergenza del fronte | 0 | 0.56 |
| Sfondo elementare di 1.2m | 0.7 | 0.80 |
| Attivazione del rivestimento di prima fase | 3.0 | 0.96 |
| Scarico a x1 dal fronte fino alla messa in opera dell’arco rovescio | - | 0.99 |

Tabella 7—9: Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo A0

7.3.3.2. Interazione opera – terreno

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

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono simulati come precedentemente descritto al §7.3.1.

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

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 7—35.

| Stratigrafia di calcolo | | γ | c' | φ | E | k_0 |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Formazione | Profondità da p.c. [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | |
| BSS | 523 | 27 | 4541 | 53 | 25700 | 0.90 |

| | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C |
| | | | | | | FOGLIO. |
| | | | | | | 5 di 159 |

Tabella 7—10: Definizione della stratigrafia di calcolo per il bypass 6

La geometria dei modelli è la seguente:

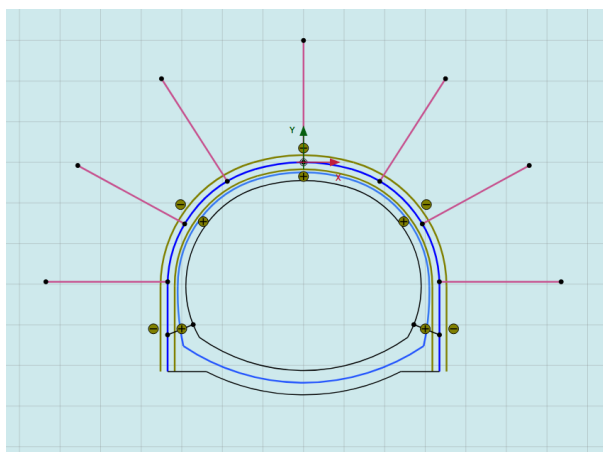


Figura 7-2: Sezione tipo A0 - modello di calcolo

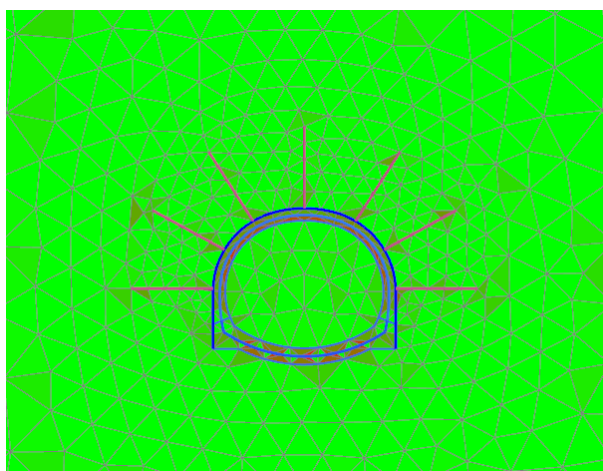


Figura 7-3: Sezione tipo A0 – mesh

I tassi di deconfinamento sono stati valutati mediante l'impiego del metodo delle curve caratteristiche, tenendo conto degli elementi di pre-sostegno. Il dettaglio è riportato negli Allegati.

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali. Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 6 di 159 |

| | Descrizione | λ |
|---------------|---|-----------|
| Fase_1 | Fase litostatica | - |
| Fase_2 | Pre – convergenza del cavo con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta | 0.56 |
| Fase_3 | Applicazione rivestimento provvisorio al contorno spessore 5 cm e esecuzione consolidamento radiale | 0.80 |
| Fase_4 | Applicazione dello strato di spritz sp. 15 cm | 0.96 |
| Fase_5 | Attivazione del rivestimento di prima fase giunto a maturazione e installazione dell'arco rovescio | 0.98 |
| Fase_6 | Installazione della calotta | 1 |
| Fase_7 | Degrado del rivestimento di prima fase | 1 |
| Fase_8 | Innalzamento della falda fino ad ottenere un battente idraulico in calotta pari a 20 m (condizione di lungo termine). | 1 |

Tabella 7–11: Descrizione fasi di calcolo

Nella fase 8, viene cautelativamente considerata la presenza di un carico idraulico nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

7.3.3.3. Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

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

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

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

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

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

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

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 7 di 159 |

| | |
|-----------------------|------------|
| CALCESTRUZZO | C25/30 |
| fck | 25 MPa |
| 0.25 f _{ck} | 6.25 MPa |
| 0.25 f _{ctk} | 0.2898 MPa |

Tabella 7–12: Caratteristiche geometriche della sezione

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

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

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

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

Le caratteristiche geometriche della sezione sono le seguenti:

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| B | 0.15 m |
| H | 1 m |
| A | 0.15 m ² |
| I | 0.002812 m ⁴ |

Tabella 7–13: Caratteristiche geometriche della sezione

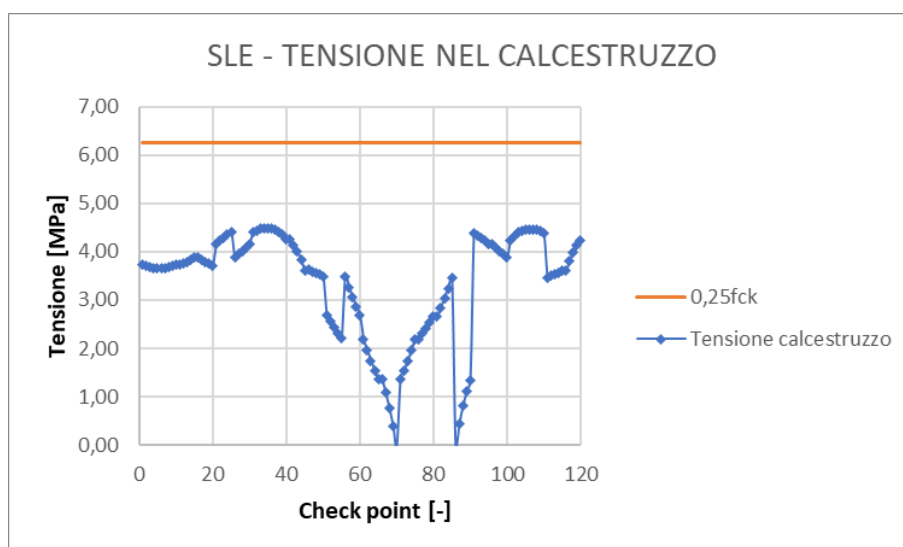


Figura 7-4: Verifica tensione calcestruzzo rivestimento di prima fase

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 8 di 159 |

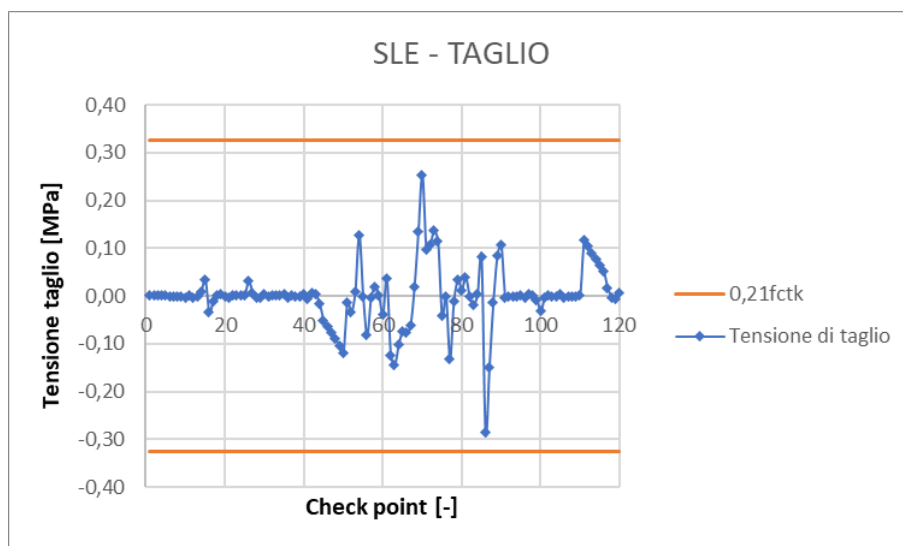


Figura 7-5: Verifica a taglio rivestimento di prima fase

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone (solo in caso di bulloni cementati).

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

I bulloni utilizzati sono tipo Swellex Pm 16 aventi $N_{yk} = 140$ e $N_{yd} = 122$ kN

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

| | | |
|--------------|-------|------|
| N_{yk} | 140 | kN |
| γ_s | 1.15 | - |
| R_d | 122 | kN |
| $N_{k,max}$ | 11.82 | kN/m |
| $N_{ed,max}$ | 17.73 | kN |
| FS | 6.8 | - |

Tabella 7—14: Verifiche a snervamento chiodi

7.3.3.4. Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla Fase_8.

Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 9 di 159 |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | | | | | | |

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

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.40 m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato uno spessore di 0.50m.

Per il rivestimento definitivo del bypass di tipo A0 non è prevista armatura, sia per la calotta che per l'arco rovescio.

Per questo tipo di verifiche la normativa del 2008 (Rif.[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

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

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

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

| CALCESTRUZZO | C25/30 |
|--------------|------------|
| fck | 25 MPa |
| σ_c | 6.25 MPa |
| τ_c | 0.3255 MPa |

Tabella 7—15: Caratteristiche geometriche della sezione

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

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

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

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

Le caratteristiche geometriche della sezione della calotta e dell'arco rovescio sono le seguenti:

| | Calotta | Arco rovescio |
|---|-------------------------|------------------------|
| B | 0.4 m | 0.5m |
| H | 1 m | 1 m |
| A | 0.4 m ² | 0.5 m ² |
| I | 0.005333 m ⁴ | 0.01042 m ⁴ |

Tabella 7—16: Caratteristiche geometriche della sezione

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 10 di 159 |

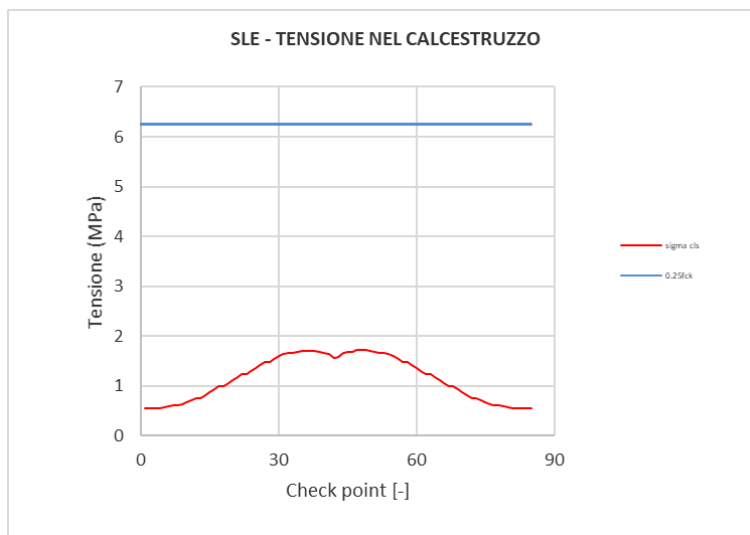


Figura 7-6: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

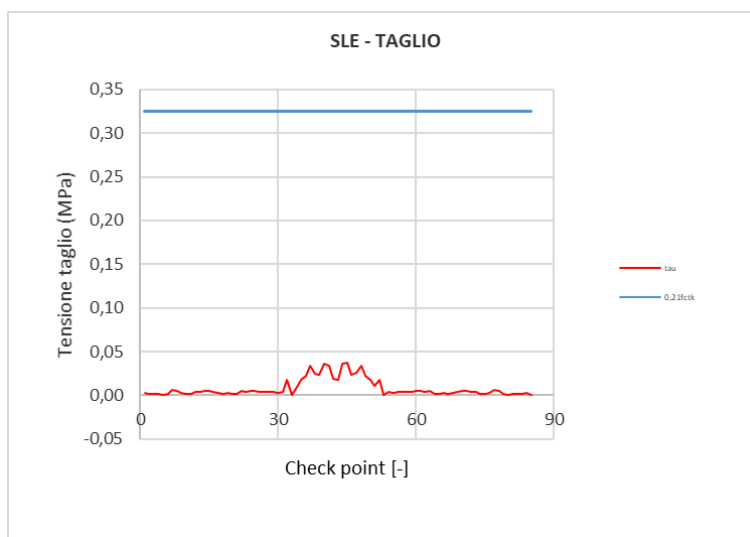


Figura 7-7: Verifica SLE taglio calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 11 di 159 |

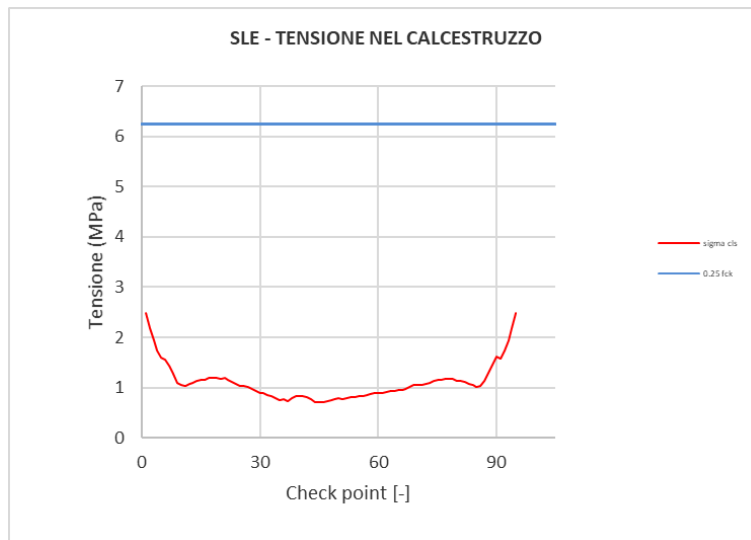


Figura 7-8: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

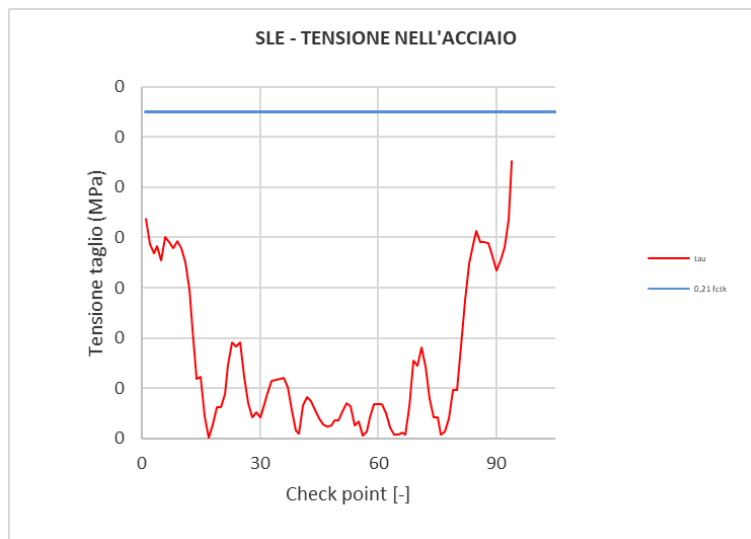


Figura 7-9: Verifica SLE taglio arco rovescio

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 12 di 159 |

7.3.4 Sezione A1 – By-pass 16 Galleria Scaleres

7.3.4.1. Stabilità del fronte e del cavo

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

| Sezione di calcolo | R_{eq} [m] | H [m] | A_{scavo} [m ²] | σ_0 [MPa] | p_{w0} [MPa] | p_{wR} [MPa] | γ [kN/m ³] | c'_{kp} [kPa] | φ'_{kp} [°] | E_k [MPa] |
|--------------------|-----------------|----------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|
| A1 | 3.2 | 488 | 32 | 13.243 | - | - | 27 | 2315 | 36 | 16100 |

H = copertura rispetto alla calotta della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 A_{scavo} = area di scavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso
 E_k = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 7—17: Parametri input curve caratteristiche

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

| Sezione di calcolo | Unità | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|-------|--------------|---------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| A1 | BSS | 0.003 | 0.10 | 3.873 | 1.214 | A | B |

Tabella 7—18: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A1

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 7—18.

Le figure seguenti illustrano le curve caratteristiche del cavo, del pre – rivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria per entrambi i modelli considerati.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 13 di 159 |

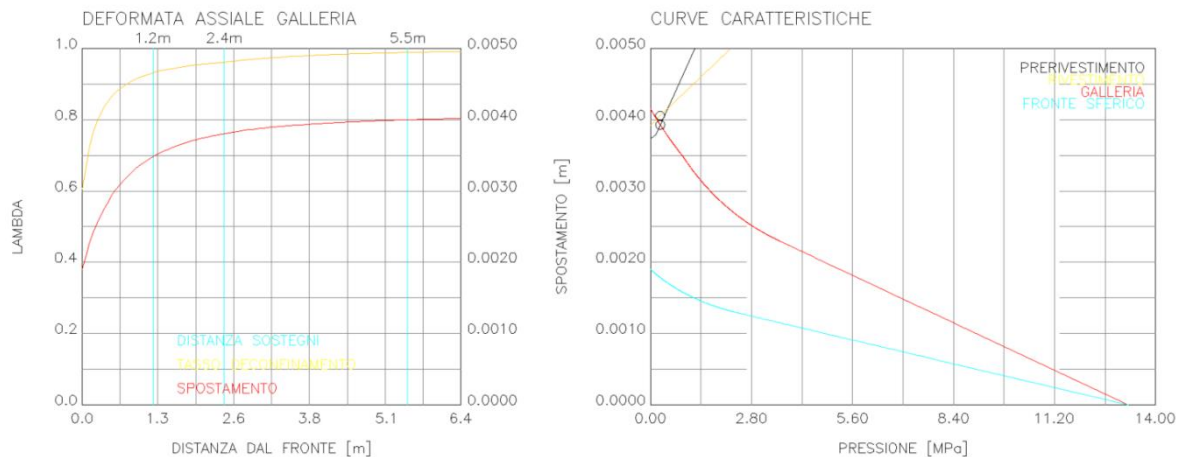


Figura 7-10: Deformata della galleria e curve caratteristiche sezione tipologica A1

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

| Fasi di analisi | Distanza dal fronte [m] | Tasso di rilascio [-] |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Pre – convergenza del fronte | 0 | 0.62 |
| Sfondo elementare di 1.2m | 1.2 | 0.93 |
| Attivazione del rivestimento di prima fase | 2.4 | 0.96 |
| Scarico a x1 dal fronte fino alla messa in opera dell’arco rovescio | - | 0.99 |

Tabella 7—19: Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo A1

7.3.4.2. Interazione opera – terreno

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

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono simulati come precedentemente descritto al §7.3.1.

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

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 7—35.

| Stratigrafia di calcolo | | γ | c' | φ | E | k_0 |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Formazione | Profondità da p.c. [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | |
| BSS | 488 | 27 | 2315 | 36 | 16100 | 0.90 |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 14 di 159 |

Tabella 7—20: Definizione della stratigrafia di calcolo per il bypass 16

La geometria dei modelli è la seguente:

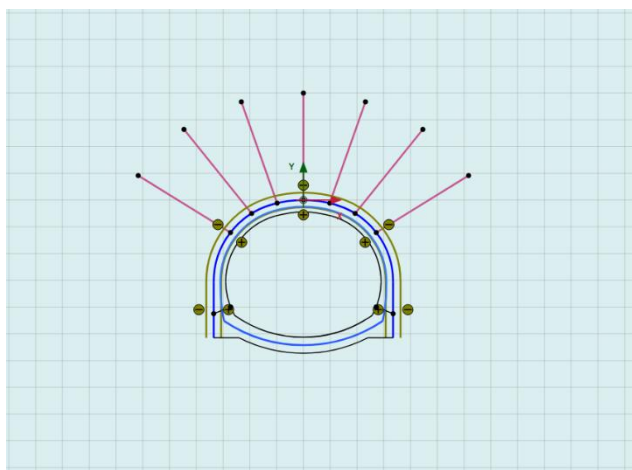


Figura 7-11: Sezione tipo A1 - modello di calcolo

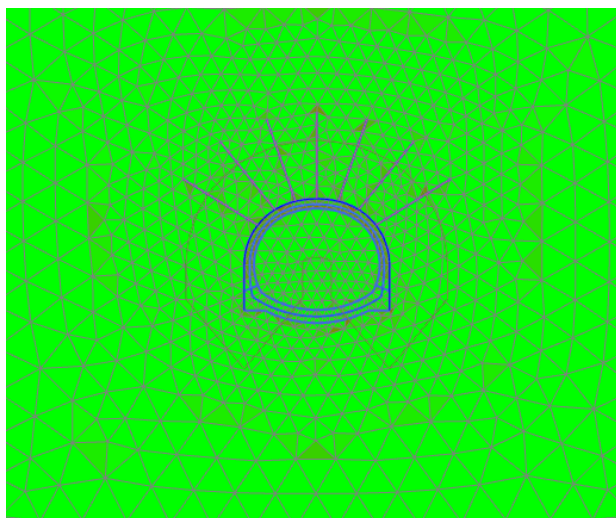


Figura 7-12: Sezione tipo A1 – mesh

I tassi di deconfinamento sono stati valutati mediante l'impiego del metodo delle curve caratteristiche, tenendo conto degli elementi di pre-sostegno. Il dettaglio è riportato negli Allegati.

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali. Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

| | Descrizione | λ |
|--|-------------|-----------|
| | | |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 15 di 159 |

| | | |
|---------------|---|------|
| Fase_1 | Fase litostatica | - |
| Fase_2 | Pre – convergenza del cavo con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta | 0.62 |
| Fase_3 | Applicazione rivestimento provvisorio al contorno spessore 5 cm e esecuzione consolidamento radiale | 0.93 |
| Fase_4 | Installazione delle centine nel rivestimento provvisorio | 0.95 |
| Fase_5 | Applicazione dello strato di spritz sp. 25 cm | 0.96 |
| Fase_6 | Attivazione del rivestimento di prima fase giunto a maturazione e installazione dell'arco rovescio | 0.99 |
| Fase_7 | Installazione della calotta | 1 |
| Fase_8 | Degrado del rivestimento di prima fase | 1 |
| Fase_9 | Innalzamento della falda fino ad ottenere un battente idraulico in calotta pari a 20 m (condizione di lungo termine). | 1 |

Tabella 7–21: Descrizione fasi di calcolo

Nella fase 9, viene cautelativamente considerata la presenza di un carico idraulico nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

7.3.4.3. Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione B dei bypass è costituito da n. 1 centina metallica HEA 160 a passo 1.20m e da uno strato di spritz – beton avente spessore di 25 cm. L'analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione omogeneizzata spritz – centine, e utilizzando un modulo elastico della sezione omogeneizzata.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- Lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidzze assiali (EA) dei due sostegni;
- Il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- Lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma = 1.00$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma = 1.30$ (Combinazione A1+M1, Rif. 0).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

- Per l'acciaio di carpenteria:
le tensioni normali ai lembi delle centine ($\sigma_{max,cen}$; $\sigma_{min,cen}$)

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 16 di 159 |

la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ($\tau_{max,cen}$)

la tensione ideale massima agente nel profilato ($\sigma_{id,cen}$)

- Per il calcestruzzo proiettato

le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ($\sigma_{max,sb}$; $\sigma_{min,sb}$)

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

In Tabella 7—22 sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla fase Fase_6.

| Sollecitazioni | Ripartizione | | Calcolo | |
|---------------------------------|---|--------|--|---|
| | Centine | Spritz | Centine | Spritz |
| Sforzo Normale (N_{tot}) | X | X | $N_{cent} = \frac{E_{acc} A_{cen}}{E_{eq} S_{eq}} N_{tot} d$ | $N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cent}}{d}$ |
| Momento flettente (M_{tot}) | X | | $M_{cent} = M_{tot} d$ | |
| Sforzo di taglio (T_{tot}) | X | | $T_{cent} = T_{tot} d$ | |
| Tensioni | | | $\sigma_{max,cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\sigma_{min,cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\tau_{max,cen} = \frac{T_{cen}}{h a}$ $\sigma_{id,cen} = \sqrt{(\sigma_{max,cen}^2 + 3\tau_{max,cen}^2)}$ | $\sigma_{max,sb} = \frac{N_{sb}}{s}$ |
| E_{cls} | modulo elastico del calcestruzzo proiettato | | | |
| s | spessore del calcestruzzo proiettato | | | |
| E_{acc} | modulo elastico dell'acciaio | | | |
| A_{cen} | area delle centine | | | |
| d | interasse tra le centine | | | |
| a | spessore dell'anima del profilato | | | |
| E_{eq} | modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| S_{eq} | spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| N_{tot} | sforzo normale agente sul rivestimento equivalente | | | |
| N_{cen} | sforzo normale agente sulle centine | | | |
| N_{sb} | sforzo normale agente sullo spritz beton | | | |
| M_{tot} | momento flettente sul rivestimento equivalente | | | |
| M_{cen} | momento flettente agente sulle centine | | | |
| T_{tot} | sforzo di taglio sul rivestimento equivalente | | | |
| T_{cen} | sforzo di taglio agente sulle centine | | | |
| $\sigma_{max,cen}$ | tensione massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{min,cen}$ | tensione minima nelle centine | | | |
| $\tau_{min,cen}$ | tensione tangenziale massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{id,cen}$ | tensione ideale nelle centine | | | |
| $\sigma_{max,sb}$ | tensione massima nello spritz beton | | | |
| $\sigma_{min,sb}$ | tensione minima nello spritz beton | | | |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 17 di 159 |

Tabella 7—22: Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

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

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

| Spritz – beton | | |
|------------------|--------|-----------------|
| Classe | C25/30 | |
| R _{ck} | 30 | MPa |
| γ | 1.50 | - |
| f _{ck} | 25 | MPa |
| f _{cd} | 14.16 | MPa |
| f _{ctm} | 2.61 | MPa |
| b | 100 | cm |
| s | 25 | cm |
| A _{sb} | 25 | cm ² |
| I _{sb} | 130208 | cm ⁴ |
| W _{sb} | 10500 | cm ³ |
| E _{cls} | 31450 | MPa |

| Centine | | |
|-------------------|--------|-----------------|
| Tipo | S275 | |
| Profilato | HEA160 | |
| γ | 1.05 | - |
| n | 1 | - |
| f _y | 275 | MPa |
| f _{yd} | 261 | MPa |
| A _{cent} | 38.77 | cm ² |
| I _{cent} | 1673 | cm ⁴ |
| W _{cent} | 220 | cm ³ |
| h _{cent} | 152 | mm |
| a | 6 | mm |
| d | 1.2 | m |
| E _{cent} | 210000 | MPa |

| Rivestimento equivalente | | |
|--------------------------|--------|-----|
| S _{eq} | 0.2408 | m |
| E _{eq} | 36880 | MPa |

Tabella 7—23: Materiali pre-rivestimento

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 18 di 159 |

| Sezione | M | N | T |
|------------------|---------|----------|---------|
| | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |
| M _{max} | 34.56 | -1750.16 | -1.76 |
| M _{min} | -15.09 | -2544.20 | -8.43 |
| N _{max} | 0.00 | 43.57 | 21.59 |
| N _{min} | -5.18 | -2560.59 | -16.03 |
| T _{max} | 8.75 | -2257.37 | 103.73 |
| T _{min} | 7.65 | -2256.75 | -109.67 |

Tabella 7—24: Sollecitazioni da calcolo numerico

| Sezione | M _{cent} | N _{cent} | T _{cent} | σ _{max cen} | σ _{min cen} | τ _{min cen} | σ _{id cen} | Verifica |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| | [kNm] | [kN] | [kN] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | |
| M _{max} | 41.48 | -158.63 | -2.12 | 147.53 | -229.36 | -2.32 | 147.59 | OK |
| M _{min} | -18.11 | -230.60 | -10.11 | -141.77 | 22.81 | -11.09 | 143.06 | OK |
| N _{max} | 0.00 | 3.95 | 25.91 | 1.02 | 1.02 | 28.41 | 49.21 | OK |
| N _{min} | -6.22 | -232.08 | -19.24 | -88.13 | -31.59 | -21.09 | 95.40 | OK |
| T _{max} | 10.50 | -204.60 | 124.47 | -5.05 | -100.49 | 136.49 | 236.45 | OK |
| T _{min} | 9.18 | -204.54 | -131.60 | -11.07 | -94.45 | -144.30 | 250.18 | OK |

Tabella 7—25: Sollecitazioni e verifica centine

| Sezione | N _{sb} | σ _{max sb} | Verifica |
|------------------|-----------------|---------------------|----------|
| | [kN] | [MPa] | |
| M _{max} | -1617.97 | -6.47 | OK |
| M _{min} | -2352.03 | -9.41 | OK |
| N _{max} | 40.28 | 0.16 | OK |
| N _{min} | -2367.19 | -9.47 | OK |
| T _{max} | -2086.87 | -8.35 | OK |
| T _{min} | -2086.30 | -8.35 | OK |

Tabella 7—26: Sollecitazioni e verifica spritz – beton

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 19 di 159 |

Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone (solo in caso di bulloni cementati).

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

I bulloni utilizzati sono tipo Swellex Pm 16 aventi $N_{yk}=140$ kN e $N_{yd} = 122$ kN

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

| | | |
|--------------|------|------|
| N_{yk} | 140 | kN |
| γ_s | 1.15 | - |
| R_d | 122 | kN |
| $N_{k,max}$ | 24 | kN/m |
| $N_{ed,max}$ | 31.2 | kN |
| FS | 3.9 | - |

Tabella 7—27: Verifiche a snervamento chiodi

7.3.4.4. Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

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

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1). Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il Metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il Metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla Fase_8.

Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

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

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.40m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato uno spessore di 0.50m.

Per il rivestimento definitivo del bypass di tipo A1 non è prevista armatura, sia per la calotta che per l'arco rovescio.

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 20 di 159 |

Per questo tipo di verifiche la normativa del 2008 (Rif.[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

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

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

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

| | |
|--------------|------------|
| CALCESTRUZZO | C25/30 |
| fck | 25 MPa |
| σ_c | 6.25 MPa |
| τ_c | 0.3255 MPa |

Tabella 7—28: Caratteristiche geometriche della sezione

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

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

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

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

Le caratteristiche geometriche della sezione della calotta e dell'arco rovescio sono le seguenti:

| | Calotta | Arco rovescio |
|---|-------------------------|------------------------|
| B | 0.4 m | 0.5m |
| H | 1 m | 1 m |
| A | 0.4 m ² | 0.5 m ² |
| I | 0.005333 m ⁴ | 0.01042 m ⁴ |

Tabella 7—29: Caratteristiche geometriche della sezione

| | | | | | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 21 di 159 |

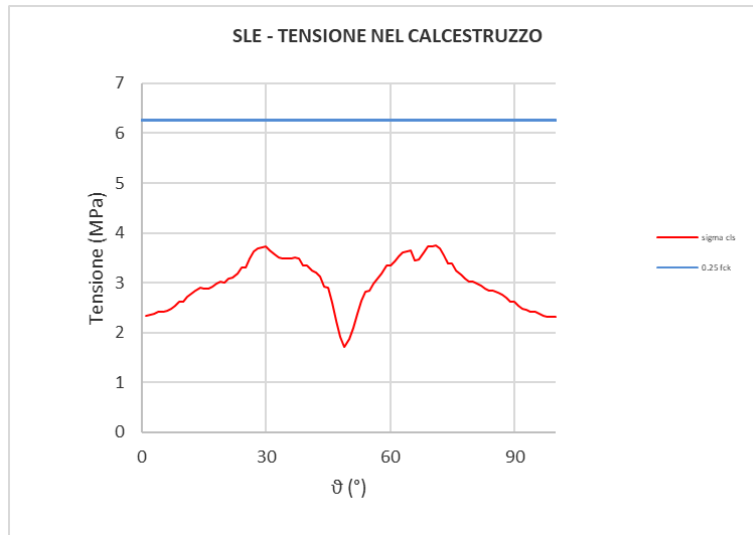


Figura 7-13: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

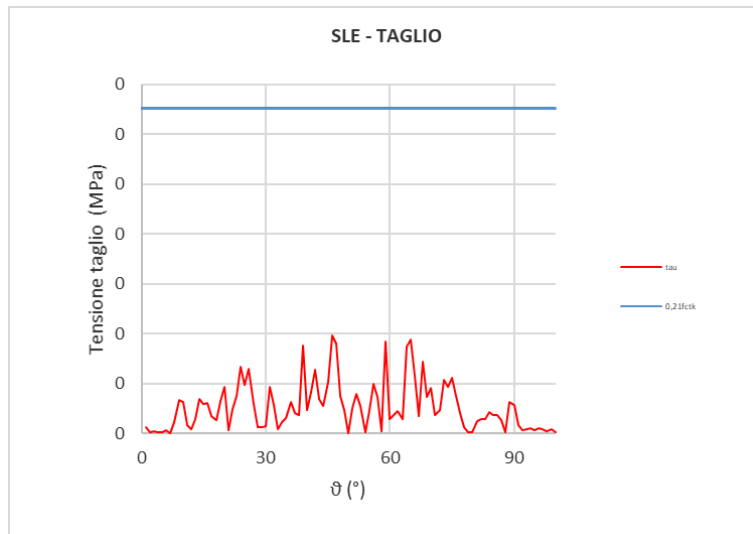


Figura 7-14: Verifica SLE tensione taglio calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 22 di 159 |

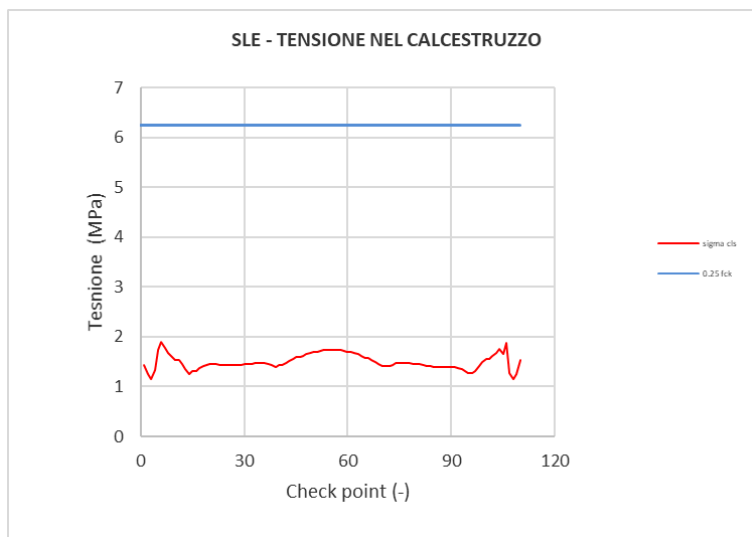


Figura 7-15: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

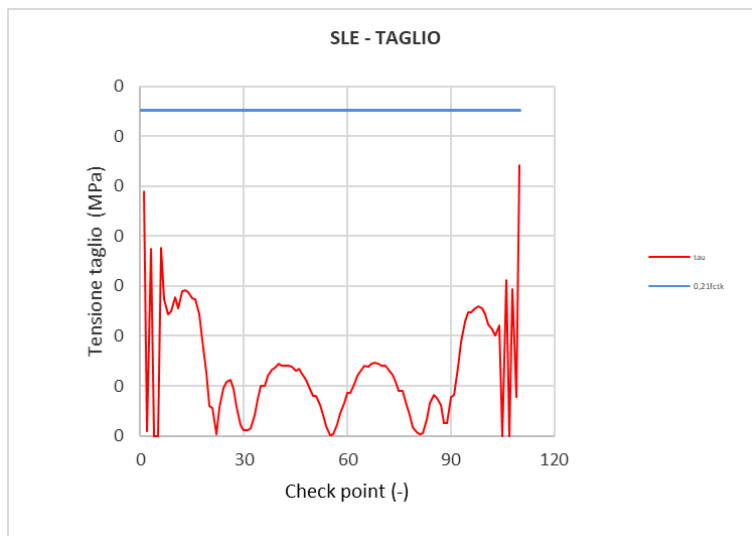


Figura 7-16: Verifica SLE tensione taglio arco rovescio

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

| | | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 23 di 159 | |

7.3.5 Sezione B – By-pass 36 Galleria Gardena

7.3.5.1. Stabilità del fronte e del cavo

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

| Sezione di calcolo | R_{eq} [m] | H [m] | A_{scavo} [m ²] | σ_0 [MPa] | p_{w0} [MPa] | p_{wR} [MPa] | γ [kN/m ³] | c'_{kp} [kPa] | φ'_{kp} [°] | E_k [MPa] |
|--------------------|-----------------|----------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|
| B | 3.2 | 355 | 32 | 9.659 | - | - | 27 | 1114 | 30 | 7800 |

H = copertura rispetto alla calotta della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 A_{scavo} = area di scavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso
 E_k = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 7—30: Parametri input curve caratteristiche

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

| Sezione di calcolo | Unità | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|-------|--------------|---------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| B | BSSc | 0.009 | 0.29 | 4.688 | 1.469 | B | B |

Tabella 7—31: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo B – Fase di diagnosi

Di seguito si riportano i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento in con autoporforanti.

| n. barre | L_A | ϕ_{barra} | ϕ_{perf} | τ_{bk} | σ_b | $\sigma_{T,1}$ | $\sigma_{T,2}$ | $\Delta c'_k$ | $\Delta c'_d$ |
|----------|-------|----------------|---------------|-------------|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| [-] | [m] | [m] | [m] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] |
| 20 | 3 | 0.032 | 0.064 | 400 | 460 | 141 | 151 | 122 | 98 |

Nbarre= numero di autoporforanti al fronte;
 L_A = lunghezza minima di sovrapposizione;
 ϕ_{barra} = diametro barra;
 ϕ_{perf} = diametro di perforazione;

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 24 di 159 |

τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia col terreno;
 σ_b = resistenza a rottura barra;
 $\sigma_{T,1}$ = pressione limite per rottura barre;
 $\sigma_{T,2}$ = pressione limite per sfilamento barre;
 $\Delta c'_k$ = incremento di coesione caratteristica indotta dall'intervento di consolidamento;
 $\Delta c'_d$ = incremento di coesione di calcolo indotta dall'intervento di consolidamento (secondo l'approccio A2-M2-R2).

Tabella 7—32: Parametri input per la determinazione dell'incremento di coesione al fronte

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte dalla curva caratteristica con cavità sferica tenendo conto della resistenza di mezzo nucleo. Trattandosi di una verifica per stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'approccio 1 -Combinazione 2 (A2-M2-R2) con R2=1.

| Sezione di calcolo | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|--------------|---------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| C | 0.003 | 0.09 | 3.83 | 1.2 | A | B |

Tabella 7—33: Verifica di stabilità del fronte dopo l'intervento di consolidamento

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

L'applicazione del consolidamento al fronte verrà adottato in base alle linee guida ed in base alle risultanze dello scavo.

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 7—2.

Le figure seguenti illustrano le curve caratteristiche del cavo, del pre - rivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria per entrambi i modelli considerati.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 25 di 159 |

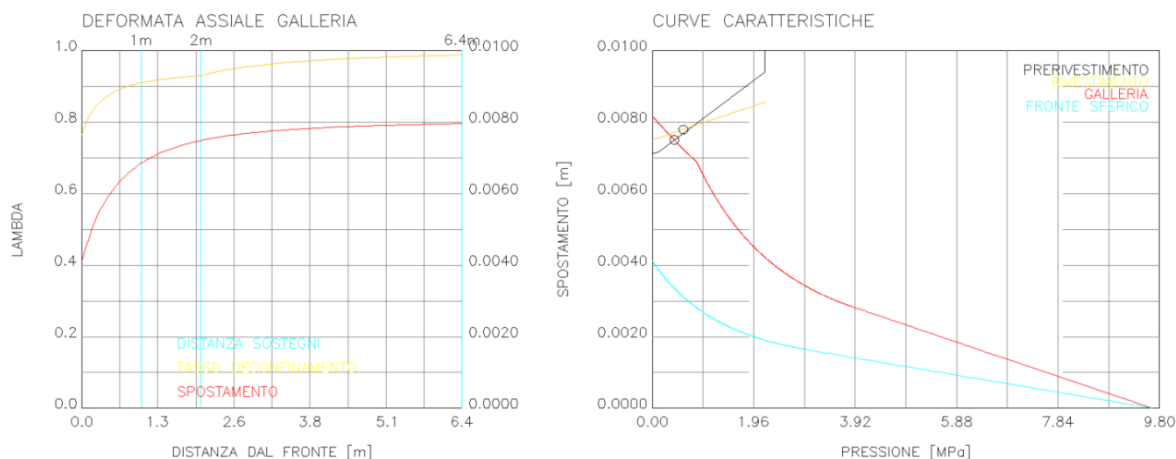


Figura 7-17: Deformata della galleria e curve caratteristiche sezione tipologica B

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

| Fasi di analisi | Distanza dal fronte [m] | Tasso di rilascio [-] |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Pre – convergenza del fronte | 0 | 0.78 |
| Sfondo elementare di 1.0m | 1 | 0.91 |
| Attivazione del rivestimento di prima fase | 2 | 0.93 |
| Scarico a x1 dal fronte fino alla messa in opera dell’arco rovescio | 6.4 | 0.99 |

Tabella 7—34: Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo B

7.3.5.2. Interazione opera – terreno

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

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono simulati come precedentemente descritto al §7.3.1.

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

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 7—35.

| Stratigrafia di calcolo | | γ | c' | φ | E | k_0 |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Formazione | Profondità da p.c. [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | |
| BSSc | 354 | 27 | 1114 | 30 | 7800 | 0.90 |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 26 di 159 |

Tabella 7—35: Definizione della stratigrafia di calcolo per il bypass 36

La geometria dei modelli è la seguente:

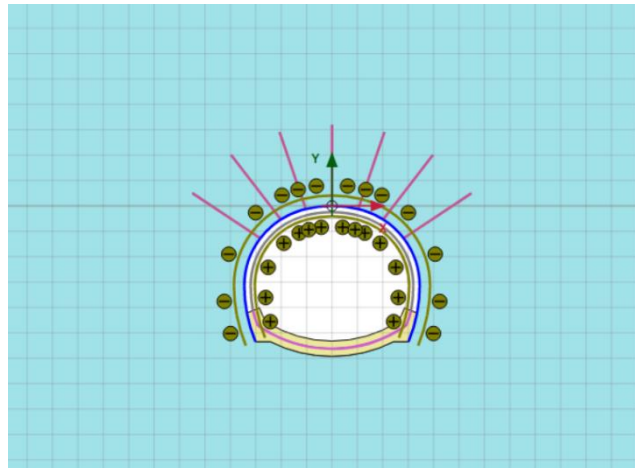


Figura 7-18: Sezione tipo B - modello di calcolo

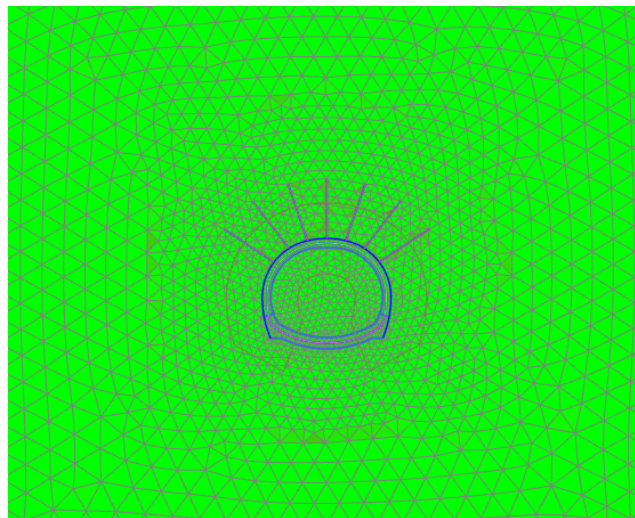


Figura 7-19: Sezione tipo B – mesh

I tassi di deconfinamento sono stati valutati mediante l'impiego del metodo delle curve caratteristiche, tenendo conto degli elementi di pre-sostegno. Il dettaglio è riportato negli Allegati.

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali. Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

| | Descrizione | λ |
|--|-------------|-----------|
|--|-------------|-----------|

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 27 di 159 |

| | | |
|---------------|---|------|
| Fase_1 | Fase litostatica | - |
| Fase_2 | Pre – convergenza del cavo con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta | 0.78 |
| Fase_3 | Applicazione rivestimento provvisorio al contorno spessore 5 cm e esecuzione consolidamento radiale | 0.91 |
| Fase_4 | Installazione delle centine | 0.92 |
| Fase_5 | Applicazione dello strato di spritz sp. 25 cm | 0.93 |
| Fase_6 | Attivazione del rivestimento di prima fase giunto a maturazione e installazione dell'arco rovescio | 0.99 |
| Fase_7 | Installazione della calotta | 1 |
| Fase_8 | Degrado del rivestimento provvisorio | 1 |
| Fase_9 | Innalzamento della falda fino ad ottenere un battente idraulico in calotta pari a 20 m (condizione di lungo termine). | 1 |

Tabella 7–36: Descrizione fasi di calcolo

Nella fase 13, viene cautelativamente considerata la presenza di un carico idraulico nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

7.3.5.3. Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione B dei bypass è costituito da n. 1 centina metallica HEA 180 a passo 1.00m e da uno strato di spritz – beton avente spessore di 25 cm. L'analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione omogeneizzata spritz – centine, e utilizzando un modulo elastico della sezione omogeneizzata.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- Lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidità assiali (EA) dei due sostegni;
- Il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- Lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma = 1.00$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma = 1.30$ (Combinazione A1+M1, Rif. 0).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

- Per l'acciaio di carpenteria:
le tensioni normali ai lembi delle centine ($\sigma_{max,cen}$; $\sigma_{min,cen}$)

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 28 di 159 |

la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ($\tau_{max, cen}$)

la tensione ideale massima agente nel profilato ($\sigma_{id, cen}$)

- Per il calcestruzzo proiettato

le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ($\sigma_{max, sb}$; $\sigma_{min, sb}$)

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

In Tabella 7—37 sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla fase Fase_6.

| Sollecitazioni | Ripartizione | | Calcolo | |
|---------------------------------|---|--------|--|---|
| | Centine | Spritz | Centine | Spritz |
| Sforzo Normale (N_{tot}) | X | X | $N_{cent} = \frac{E_{acc} A_{cen}}{E_{eq} S_{eq}} N_{tot} d$ | $N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cent}}{d}$ |
| Momento flettente (M_{tot}) | X | | $M_{cent} = M_{tot} d$ | |
| Sforzo di taglio (T_{tot}) | X | | $T_{cent} = T_{tot} d$ | |
| Tensioni | | | $\sigma_{max, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\sigma_{min, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\tau_{max, cen} = \frac{T_{cen}}{h a}$ $\sigma_{id, cen} = \sqrt{(\sigma_{max, cen}^2 + 3\tau_{max, cen}^2)}$ | $\sigma_{max, sb} = \frac{N_{sb}}{s}$ |
| E_{cls} | modulo elastico del calcestruzzo proiettato | | | |
| s | spessore del calcestruzzo proiettato | | | |
| E_{acc} | modulo elastico dell'acciaio | | | |
| A_{cen} | area delle centine | | | |
| d | interasse tra le centine | | | |
| a | spessore dell'anima del profilato | | | |
| E_{eq} | modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| S_{eq} | spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| N_{tot} | sforzo normale agente sul rivestimento equivalente | | | |
| N_{cen} | sforzo normale agente sulle centine | | | |
| N_{sb} | sforzo normale agente sullo spritz beton | | | |
| M_{tot} | momento flettente sul rivestimento equivalente | | | |
| M_{cen} | momento flettente agente sulle centine | | | |
| T_{tot} | sforzo di taglio sul rivestimento equivalente | | | |
| T_{cen} | sforzo di taglio agente sulle centine | | | |
| $\sigma_{max, cen}$ | tensione massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{min, cen}$ | tensione minima nelle centine | | | |
| $\tau_{min, cen}$ | tensione tangenziale massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{id, cen}$ | tensione ideale nelle centine | | | |
| $\sigma_{max, sb}$ | tensione massima nello spritz beton | | | |
| $\sigma_{min, sb}$ | tensione minima nello spritz beton | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 29 di 159 |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | | | | | | |

Tabella 7—37: Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

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

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

| Spritz – beton | | | Centine | | | Rivestimento equivalente | | |
|------------------|--------|-----------------|-------------------|--------|-----------------|--------------------------|--------|-----|
| Classe | C25/30 | | Tipo | S275 | | S _{eq} | 0.2507 | m |
| R _{ck} | 30 | MPa | Profilato | HEA180 | | E _{eq} | 36880 | MPa |
| γ | 1.50 | - | γ | 1.05 | - | | | |
| f _{ck} | 25 | MPa | n | 1 | - | | | |
| f _{cd} | 14.16 | MPa | f _y | 275 | MPa | | | |
| f _{ctm} | 2.61 | MPa | f _{yd} | 261 | MPa | | | |
| b | 100 | cm | A _{cent} | 45.25 | cm ² | | | |
| s | 25 | cm | I _{cent} | 2510 | cm ⁴ | | | |
| A _{sb} | 25 | cm ² | W _{cent} | 296 | cm ³ | | | |
| I _{sb} | 130208 | cm ⁴ | h _{cent} | 171 | mm | | | |
| W _{sb} | 10500 | cm ³ | a | 6 | mm | | | |
| E _{cls} | 31450 | MPa | d | 1 | m | | | |
| | | | E _{cent} | 210000 | MPa | | | |

Tabella 7—38: Materiali pre-rivestimento

| Sezione | M | N | T |
|------------------|---------|----------|---------|
| | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |
| M _{max} | 36.65 | -3403.14 | -6.06 |
| M _{min} | -57.41 | -2572.05 | 21.43 |
| N _{max} | 0.00 | -1.19 | -35.64 |
| N _{min} | -9.56 | -3912.93 | 3.05 |
| T _{max} | 5.77 | -2989.72 | 141.87 |
| T _{min} | -3.77 | -1756.91 | -140.39 |

Tabella 7—39: Sollecitazioni da calcolo numerico

| Sezione | M _{cent} | N _{cent} | T _{cent} | σ _{max cen} | σ _{min cen} | τ _{min cen} | σ _{id cen} | Verifica |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| | [kNm] | [kN] | [kN] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | |
| M _{max} | 36.65 | -353.55 | -6.06 | 45.68 | -201.94 | -5.91 | 46.81 | OK |
| M _{min} | -57.41 | -267.21 | 21.43 | -253.01 | 134.90 | 20.88 | 255.58 | OK |
| N _{max} | 0.00 | -0.12 | -35.64 | -0.03 | -0.03 | -34.73 | 60.16 | OK |
| N _{min} | -9.56 | -406.51 | 3.05 | -122.13 | -57.55 | 2.97 | 122.23 | OK |
| T _{max} | 5.77 | -310.60 | 141.87 | -49.15 | -88.13 | 138.27 | 244.49 | OK |
| T _{min} | -3.77 | -182.52 | -140.39 | -53.08 | -27.59 | -136.83 | 242.87 | OK |

Tabella 7—40: Sollecitazioni e verifica centine

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 30 di 159 |

| Sezione | Nsb | $\sigma_{\max sb}$ | Verifica |
|------------------|----------|--------------------|----------|
| | [kN] | [MPa] | |
| M _{max} | -3049.59 | -12.20 | OK |
| M _{min} | -2304.84 | -9.22 | OK |
| N _{max} | -1.07 | 0.00 | OK |
| N _{min} | -3506.42 | -14.03 | OK |
| T _{max} | -2679.12 | -10.72 | OK |
| T _{min} | -1574.39 | -6.30 | OK |

Tabella 7—41: Sollecitazioni e verifica spritz – beton

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 31 di 159 |

Verifiche di resistenza bulloni

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

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

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

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

Dove:

$D_s = \alpha D_{foro}$, con $\alpha = 1.1$ e $D_{foro} = 64\text{mm}$

τ_{lim} = tensione tangenziale limite = 400 MPa in accordo con Bustamante e Doix

L = lunghezza dei chiodi

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

| | | |
|-----------------|----------|-----------------|
| f_{yk} | 450 | MPa |
| Φ_{chiodo} | 32 | mm |
| A_s | 803.84 | mm ² |
| γ_s | 1.15 | - |
| R_d | 315 | kN |
| $N_{k,max}$ | 101 | kN/m |
| $N_{ed,max}$ | 131.3 | kN |
| FS | 2.395629 | - |

Tabella 7—42: Verifiche a snervamento chiodi

| | | |
|--------------|------------|------|
| D_{foro} | 64 | mm |
| L | 4.5 | m |
| τ_{LIM} | 400 | KPa |
| ζ | 1.8 | - |
| γ | 1.1 | kN |
| R_d | 201.06193 | kN |
| $N_{k,max}$ | 101 | kN/m |
| $N_{ed,max}$ | 131.3 | kN |
| FS | 1.53131706 | - |

Tabella 7—43: Verifiche a sfilamento

| | | | | | | |
|---|---|---|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 32 di 159 |

7.3.5.4. Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

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

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1). Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il Metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il Metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla Fase_9.

Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

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

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.50m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato uno spessore di 0.60m.

Il rivestimento definitivo del bypass di tipo B è previsto armato in arco rovescio disponendo un'armatura principale costituita da 5 Φ 16 sia in zona tesa sia in zona compressa. E' inoltre necessaria armatura a taglio costituita da Φ 12/20, mentre il passo è pari a 20cm. Non è invece prevista armatura in calotta.

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

In allegato sono riportate tutte le sollecitazioni dei rivestimenti.

Per le verifiche sulle sezioni non armate la normativa del 2008 (Rif.[1]) si pone come misura della sicurezza, quella del controllo che le tensioni di compressione che insorgono nel calcestruzzo per effetto delle azioni, nella combinazione rara, risultino minori di:

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

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

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

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

| | |
|--------------|------------|
| CALCESTRUZZO | C25/30 |
| fck | 25 MPa |
| σ_c | 6.25 MPa |
| τ_c | 0.3255 MPa |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 33 di 159 |

Tabella 7—44: Caratteristiche geometriche della sezione

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

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

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

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

- Calotta:

Le caratteristiche geometriche della sezione della calotta sono le seguenti:

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE | |
|-------------------------------------|------------------------|
| B | 0.5 m |
| H | 1 m |
| A | 0.5 m ² |
| I | 0.01042 m ⁴ |

Tabella 7—45: Caratteristiche geometriche della sezione

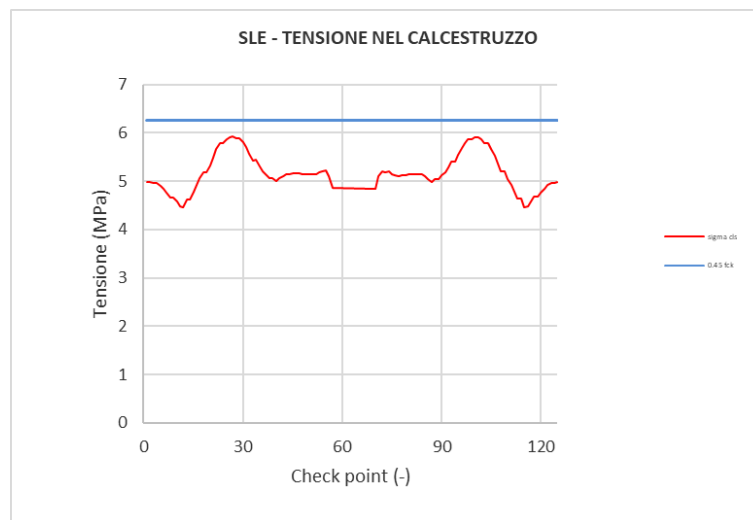


Figura 7-20: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 34 di 159 |

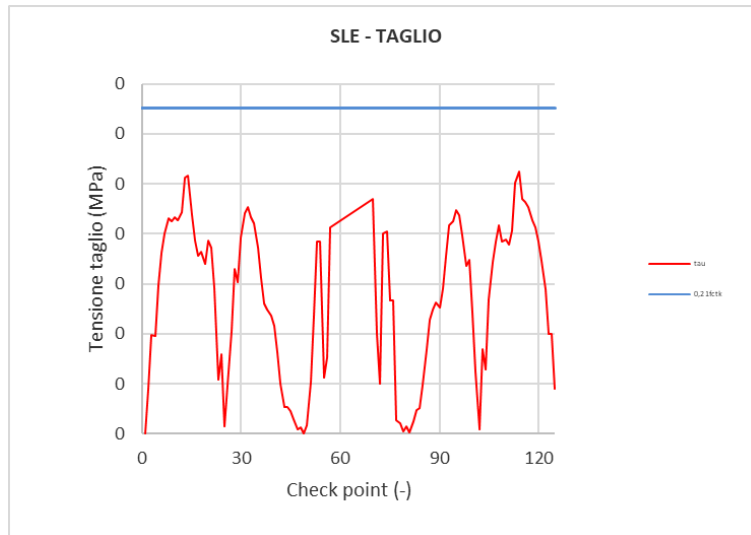


Figura 7-21: Verifica SLE tensione taglio calotta

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

- Arco rovescio:

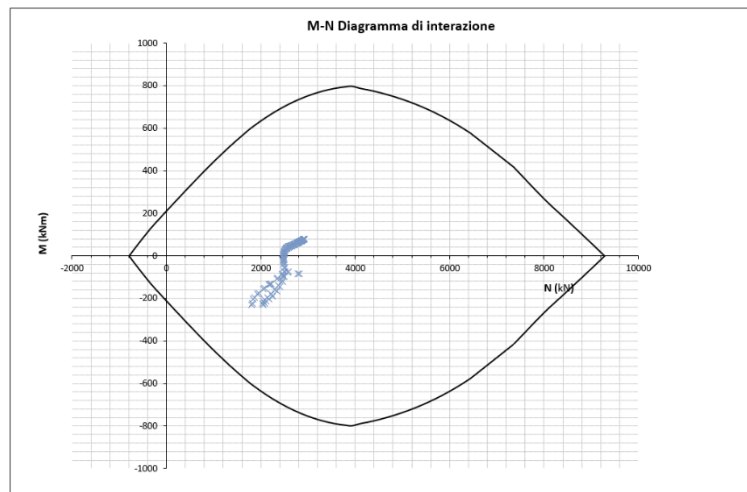


Figura 7-22: Dominio N-M arco rovescio

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 35 di 159 |

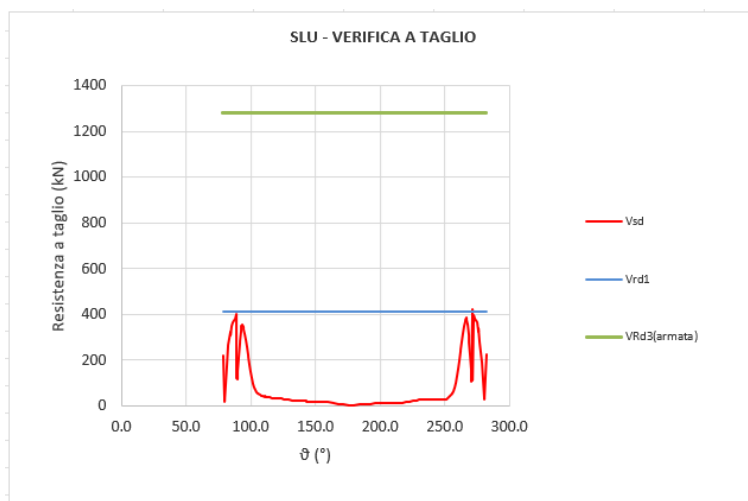


Figura 7-23: Verifica a taglio arco rovescio

Verifiche SLE

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

- Arco rovescio

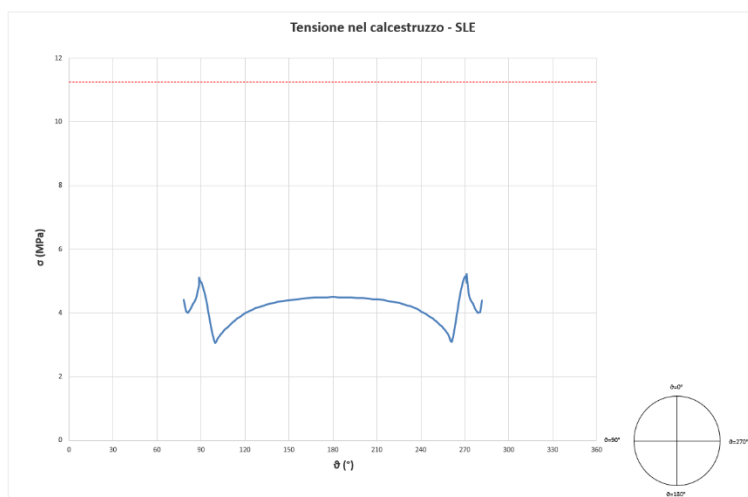


Figura 7-24: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 36 di 159 |

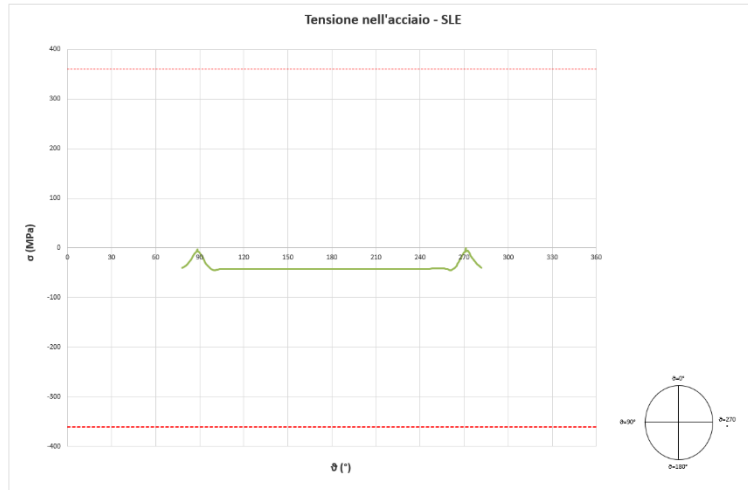


Figura 7-25: Verifica SLE tensione acciaio arco rovescio

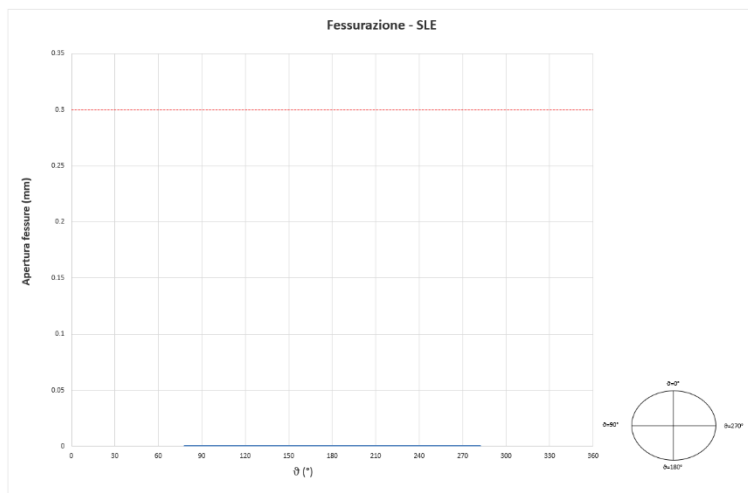


Figura 7-26: Verifica SLE fessurazione arco rovescio

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 37 di 159 | |

7.3.6 Sezione C – By-pass 7 Galleria Interconnessione

7.3.6.1. Stabilità del fronte e del cavo

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

| Sezione di calcolo | R_{eq} [m] | H [m] | A_{scavo} [m ²] | σ_0 [MPa] | p_{w0} [MPa] | p_{wR} [MPa] | γ [kN/m ³] | c'_{kp} [kPa] | φ'_{kp} [°] | E_k [MPa] |
|--------------------|--------------|-------|-------------------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| C | 3.2 | 141 | 32 | 3.889 | - | - | 27 | 174 | 27 | 700 |

H = copertura rispetto alla calotta della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 A_{scavo} = area di scavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso
 E_k = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 7—46: Parametri input curve caratteristiche

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

| Sezione di calcolo | Unità | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|-----------|-----------|------------------|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| C | Faglia 14 | 0.141 | 4.42 | 6.997 | 2.192 | C | C |

Tabella 7—47: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo C

Di seguito si riportano i calcoli effettuati per la valutazione dell'incremento di coesione equivalente al fronte, indotto dagli interventi di consolidamento con autoperforanti.

| n. barre | L_A | ϕ_{barra} | ϕ_{perf} | τ_{bk} | σ_b | $\sigma_{T,1}$ | $\sigma_{T,2}$ | $\Delta c'_k$ | $\Delta c'_d$ |
|----------|-------|----------------|---------------|-------------|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| [-] | [m] | [m] | [m] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] |
| 25 | 6 | 0.051 | 0.11 | 400 | 460 | 305 | 324 | 250 | 200 |

Nbarre= numero di autoperforanti al fronte;
 L_A = lunghezza minima di sovrapposizione;
 ϕ_{barra} = diametro barra;
 ϕ_{perf} = diametro di perforazione;

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 38 di 159 |

τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia col terreno;
 σ_b = resistenza a rottura barra;
 $\sigma_{T,1}$ = pressione limite per rottura barre;
 $\sigma_{T,2}$ = pressione limite per sfilamento barre;
 $\Delta c'_k$ = incremento di coesione caratteristica indotta dall'intervento di consolidamento;
 $\Delta c'_d$ = incremento di coesione di calcolo indotta dall'intervento di consolidamento (secondo l'approccio A2-M2-R2).

Tabella 7—48: Parametri input per la determinazione dell'incremento di coesione al fronte

Sono stati valutati lo spostamento ed il raggio plastico al fronte dalla curva caratteristica con cavità sferica tenendo conto della resistenza di mezzo nucleo. Trattandosi di una verifica per stato limite ultimo di tipo GEO, si utilizza l'approccio 1 -Combinazione 2 (A2-M2-R2) con R2=1.

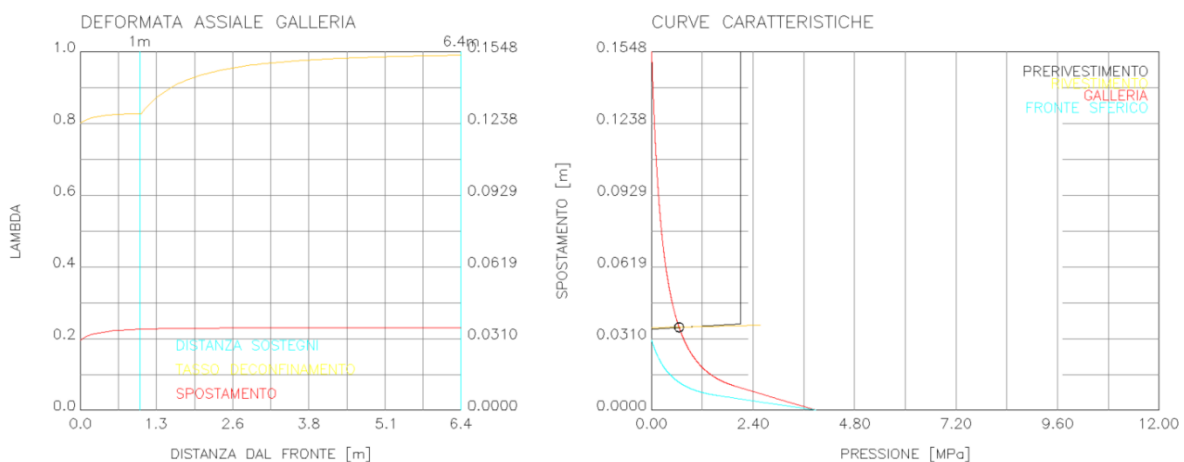
| Sezione di calcolo | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|-----------|------------------|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| C | 0.025 | 0.78 | 4.817 | 1.5 | C | B |

Tabella 7—49: Verifica di stabilità del fronte dopo l'intervento di consolidamento

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

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 7—46.

Le figure seguenti illustrano le curve caratteristiche del cavo, del pre - rivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria per entrambi i modelli considerati.



| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 39 di 159 |

Figura 7-27: Deformata della galleria e curve caratteristiche sezione tipologica C

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

| Fasi di analisi | Distanza dal fronte [m] | Tasso di rilascio [-] |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Pre – convergenza del fronte | 0 | 0.80 |
| Sfondo elementare di 1.0m | 1 | 0.83 |
| Scarico a x1 dal fronte fino alla messa in opera dell'arco rovescio | 6.4 | 0.99 |

Tabella 7—50: Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo C

7.3.6.2. Interazione opera – terreno

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

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono simulati come precedentemente descritto al §7.3.1.

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

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 7—51.

| Stratigrafia di calcolo | | γ | c' | φ | E | k_0 |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Formazione | Profondità da p.c. [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | |
| Faglia 14 | 141 | 27 | 174 | 27 | 700 | 0.90 |

Tabella 7—51: Definizione della stratigrafia di calcolo per il bypass 7

La geometria dei modelli è la seguente:

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 40 di 159 |

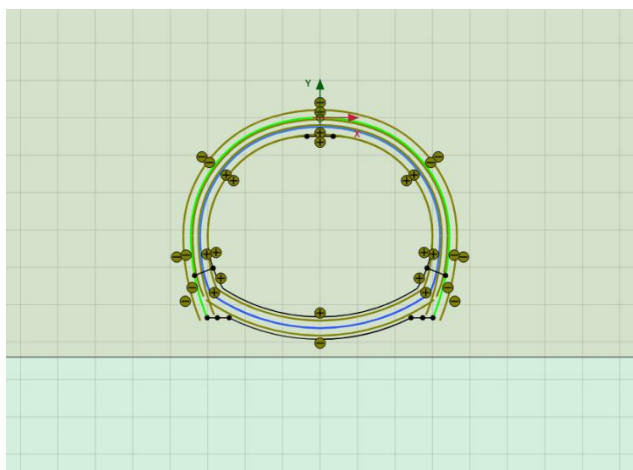


Figura 7-28: Sezione tipo C - modello di calcolo

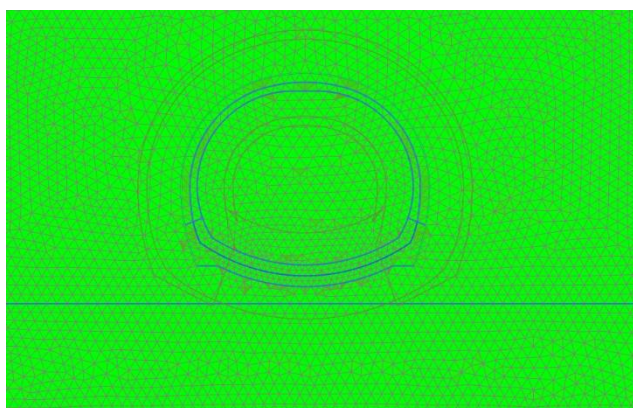


Figura 7-29: Sezione tipo C – mesh

I tassi di deconfinamento sono stati valutati mediante l'impiego del metodo delle curve caratteristiche, tenendo conto degli elementi di pre-sostegno. Il dettaglio è riportato negli Allegati.

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali. Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

| | Descrizione | λ |
|---------------|--|-----------|
| Fase_1 | Fase litostatica | - |
| Fase_2 | Pre – convergenza del cavo con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta | 0.80 |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 41 di 159 |

| | | |
|---------------|---|------|
| Fase_3 | Applicazione rivestimento provvisorio al contorno con spritz di spessore 25 cm e centine HEA180 | 0.83 |
| Fase_4 | Installazione arco rovescio | 0.99 |
| Fase_5 | Installazione della calotta | - |
| Fase_6 | Degrado del rivestimento di prima fase | - |
| Fase_7 | Innalzamento della falda fino ad ottenere un battente idraulico in calotta pari a 10 m (condizione di lungo termine). | - |

Tabella 7—52: Descrizione fasi di calcolo

Nella fase 7, viene cautelativamente considerata la presenza di un carico idraulico nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

7.3.6.3. Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione B dei bypass è costituito da n. 1 centina metallica HEA 180 a passo 1.00m e da uno strato di spritz – beton avente spessore di 25 cm. L'analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione omogeneizzata spritz – centine, e utilizzando un modulo elastico della sezione omogeneizzata.

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- Lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidità assiali (EA) dei due sostegni;
- Il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- Lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma = 1.00$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma = 1.30$ (Combinazione A1+M1, Rif.[1]).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

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

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

| | | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 42 di 159 | |

In Tabella 7—37 sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla fase Fase_4.

| Sollecitazioni | Ripartizione | | Calcolo | |
|---------------------------------|---|--------|--|---|
| | Centine | Spritz | Centine | Spritz |
| Sforzo Normale (N_{tot}) | X | X | $N_{cent} = \frac{E_{acc} A_{cen}}{E_{eq} s_{eq}} N_{tot} d$ | $N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cent}}{d}$ |
| Momento flettente (M_{tot}) | X | | $M_{cent} = M_{tot} d$ | |
| Sforzo di taglio (T_{tot}) | X | | $T_{cent} = T_{tot} d$ | |
| Tensioni | | | $\sigma_{max, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\sigma_{min, cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\tau_{max, cen} = \frac{T_{cen}}{h a}$ $\sigma_{id, cen} = \sqrt{(\sigma_{max, cen}^2 + 3\tau_{max, cen}^2)}$ | $\sigma_{max, sb} = \frac{N_{sb}}{s}$ |
| E_{cls} | modulo elastico del calcestruzzo proiettato | | | |
| s | spessore del calcestruzzo proiettato | | | |
| E_{acc} | modulo elastico dell'acciaio | | | |
| A_{cen} | area delle centine | | | |
| d | interasse tra le centine | | | |
| a | spessore dell'anima del profilato | | | |
| E_{eq} | modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| s_{eq} | spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine | | | |
| N_{tot} | sforzo normale agente sul rivestimento equivalente | | | |
| N_{cen} | sforzo normale agente sulle centine | | | |
| N_{sb} | sforzo normale agente sullo spritz beton | | | |
| M_{tot} | momento flettente sul rivestimento equivalente | | | |
| M_{cen} | momento flettente agente sulle centine | | | |
| T_{tot} | sforzo di taglio sul rivestimento equivalente | | | |
| T_{cen} | sforzo di taglio agente sulle centine | | | |
| $\sigma_{max, cen}$ | tensione massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{min, cen}$ | tensione minima nelle centine | | | |
| $\tau_{min, cen}$ | tensione tangenziale massima nelle centine | | | |
| $\sigma_{id, cen}$ | tensione ideale nelle centine | | | |
| $\sigma_{max, sb}$ | tensione massima nello spritz beton | | | |
| $\sigma_{min, sb}$ | tensione minima nello spritz beton | | | |

Tabella 7—53: Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

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

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

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 43 di 159 |

| | | |
|-----------------------|--------|-----------------|
| Spritz – beton | | |
| Classe | C25/30 | |
| R _{ck} | 30 | MPa |
| γ | 1.50 | - |
| f _{ck} | 25 | MPa |
| f _{cd} | 14.16 | MPa |
| f _{ctm} | 2.61 | MPa |
| b | 100 | cm |
| s | 25 | cm |
| A _{sb} | 25 | cm ² |
| I _{sb} | 130208 | cm ⁴ |
| W _{sb} | 10500 | cm ³ |
| E _{cls} | 31450 | MPa |

| | | |
|-------------------|--------|-----------------|
| Centine | | |
| Tipo | S275 | |
| Profilato | HEA180 | |
| γ | 1.05 | - |
| n | 1 | - |
| f _y | 275 | MPa |
| f _{yd} | 261 | MPa |
| A _{cent} | 45.25 | cm ² |
| I _{cent} | 2510 | cm ⁴ |
| W _{cent} | 296 | cm ³ |
| h _{cent} | 171 | mm |
| a | 6 | mm |
| d | 1 | m |
| E _{cent} | 210000 | MPa |

| | | |
|---------------------------------|--------|-----|
| Rivestimento equivalente | | |
| S _{eq} | 0.2507 | m |
| E _{eq} | 36880 | MPa |

Tabella 7—54: Materiali pre-rivestimento

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 44 di 159 |

| Sezione | M | N | T |
|------------------|---------|----------|---------|
| | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |
| M _{max} | 67.59 | -2969.74 | -0.01 |
| M _{min} | -53.91 | -2847.15 | -0.56 |
| N _{max} | 0.00 | -5.93 | 4.41 |
| N _{min} | 67.59 | -2969.74 | -0.01 |
| T _{max} | 38.72 | -2505.00 | 121.49 |
| T _{min} | 38.72 | -2504.95 | -121.50 |

Tabella 7—55: Sollecitazioni da calcolo numerico

| Sezione | M _{cent} | N _{cent} | T _{cent} | σ _{max cen} | σ _{min cen} | τ _{min cen} | σ _{id cen} | Verifica |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| | [kNm] | [kN] | [kN] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | |
| M _{max} | 67.59 | -308.52 | -0.01 | 160.18 | -296.54 | -0.01 | 160.18 | OK |
| M _{min} | -53.91 | -295.79 | -0.56 | -247.49 | 116.75 | -0.55 | 247.49 | OK |
| N _{max} | 0.00 | -0.62 | 4.41 | -0.14 | -0.14 | 4.29 | 7.44 | OK |
| N _{min} | 67.59 | -308.52 | -0.01 | 160.18 | -296.54 | -0.01 | 160.18 | OK |
| T _{max} | 38.72 | -260.24 | 121.49 | 73.29 | -188.31 | 118.41 | 217.79 | OK |
| T _{min} | 38.72 | -260.24 | -121.50 | 73.29 | -188.31 | -118.42 | 217.80 | OK |

Tabella 7—56: Sollecitazioni e verifica centine

| Sezione | N _{sb} | σ _{max sb} | Verifica |
|------------------|-----------------|---------------------|----------|
| | [kN] | [MPa] | |
| M _{max} | -2661.22 | -10.64 | OK |
| M _{min} | -2551.37 | -10.21 | OK |
| N _{max} | -5.31 | -0.02 | OK |
| N _{min} | -2661.22 | -10.64 | OK |
| T _{max} | -2244.76 | -8.98 | OK |
| T _{min} | -2244.72 | -8.98 | OK |

Tabella 7—57: Sollecitazioni e verifica spritz – beton

7.3.6.4. Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

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

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1). Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il Metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il Metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla Fase₇.

Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 45 di 159 |

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

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.50m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato uno spessore di 0.60m.

Il rivestimento definitivo dei bypass di tipo C è previsto armato in calotta disponendo un'armatura principale costituita da 5Φ14 in zona tesa e 5Φ14 in zona compressa con armatura a taglio costituita da Φ12/20. In arco rovescio è necessaria un'armatura longitudinale costituita da 5Φ16 un'armatura a taglio costituita da Φ12/20.

Si definisce quindi un'incidenza media di armatura pari a 30 kg/mc per la calotta e 60 kg/mc per l'arco rovescio.

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

In allegato sono riportate tutte le sollecitazioni dei rivestimenti.

- Calotta:

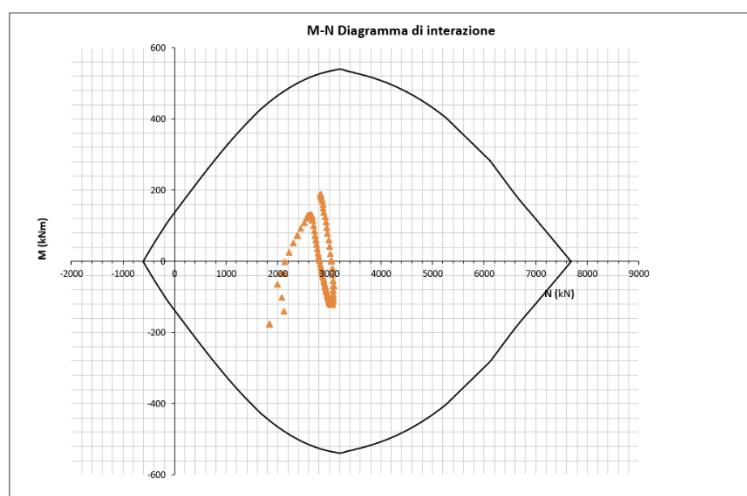


Figura 7-30: Dominio N-M calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 46 di 159 |

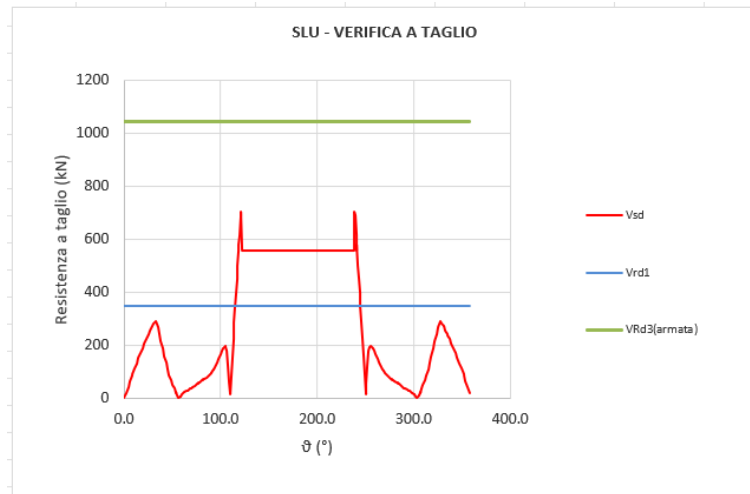


Figura 7-31: Verifica a taglio calotta

- Arco rovescio:

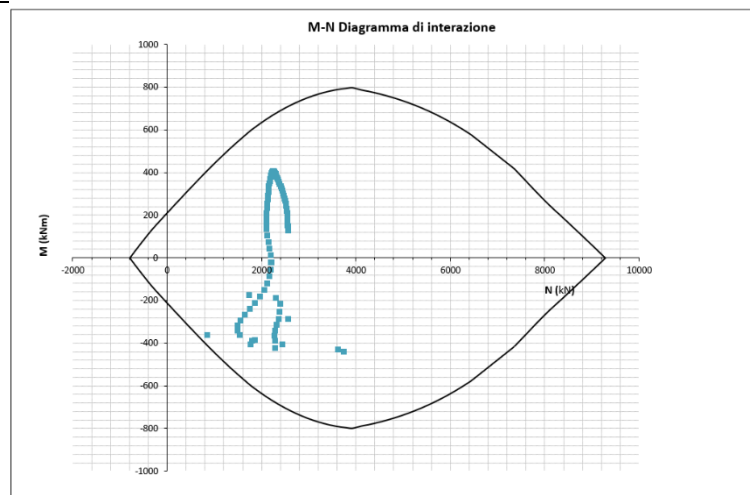


Figura 7-32: Dominio N-M arco rovescio

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 47 di 159 |

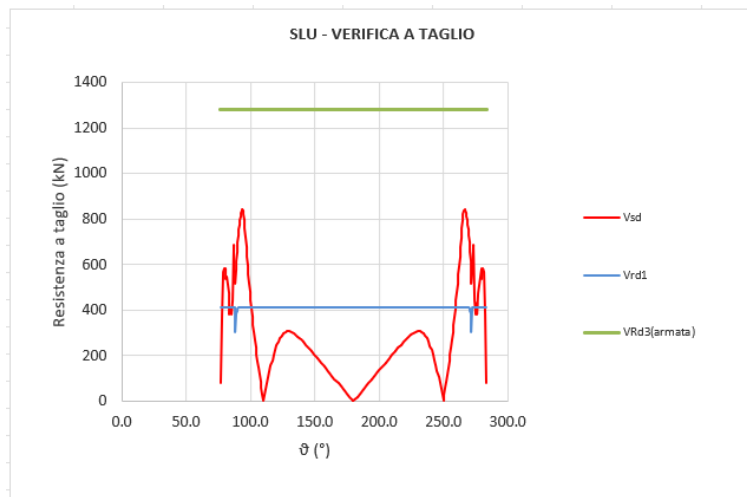


Figura 7-33: Verifica a taglio arco rovescio

Verifiche SLE

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

- Calotta

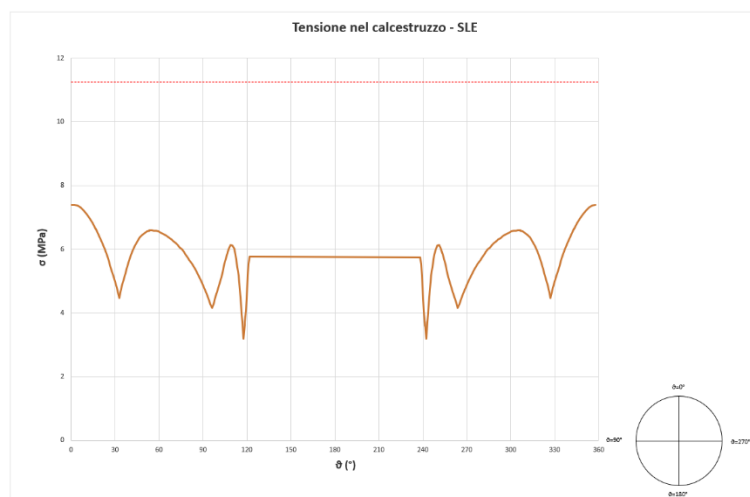


Figura 7-34: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 48 di 159 |

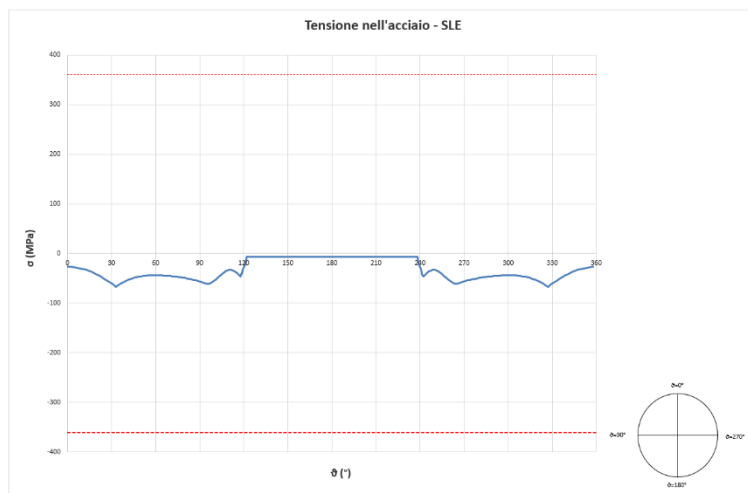


Figura 7-35: Verifica SLE tensione acciaio calotta

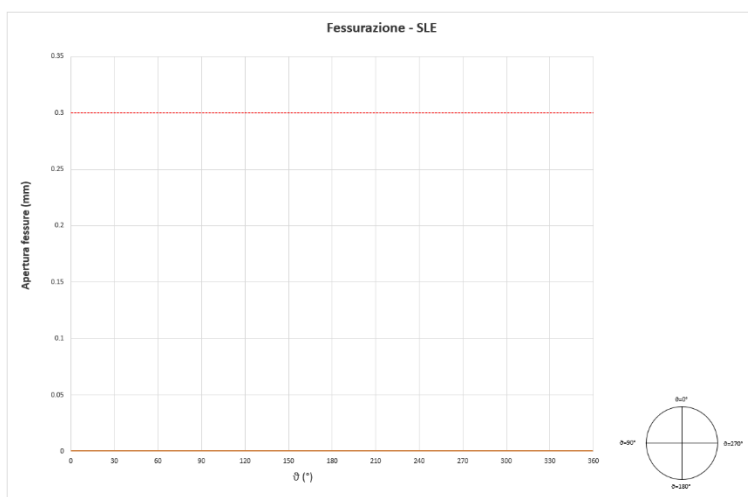


Figura 7-36: Verifica SLE fessurazione calotta

- Arco rovescio

| | | | | | | |
|---|--|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 49 di 159 |

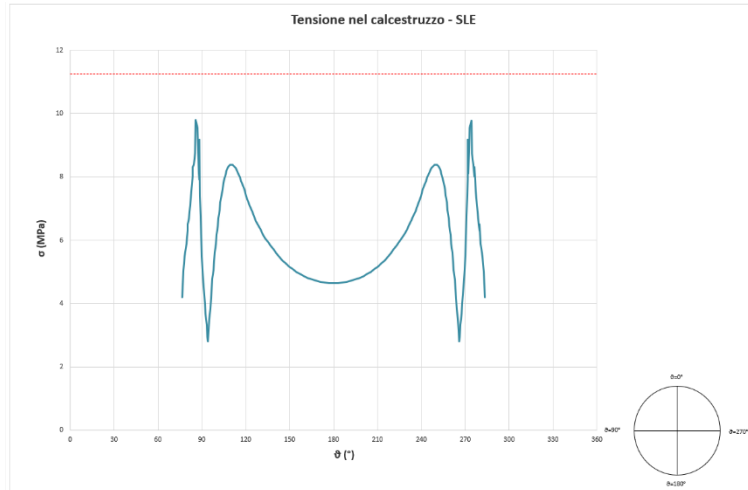


Figura 7-37: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

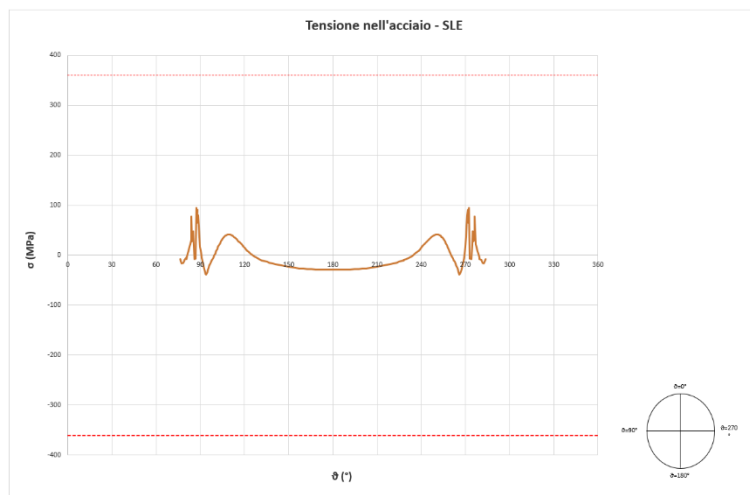


Figura 7-38: Verifica SLE tensione acciaio arco rovescio

| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|----------|-----------|------|---------|------|-------|----|-----------|---|-----------|
| PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | | | | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>GN0000001</td> <td>C</td> <td>50 di 159</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 50 di 159 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | | | | | | | | |
| IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 50 di 159 | | | | | | | | |

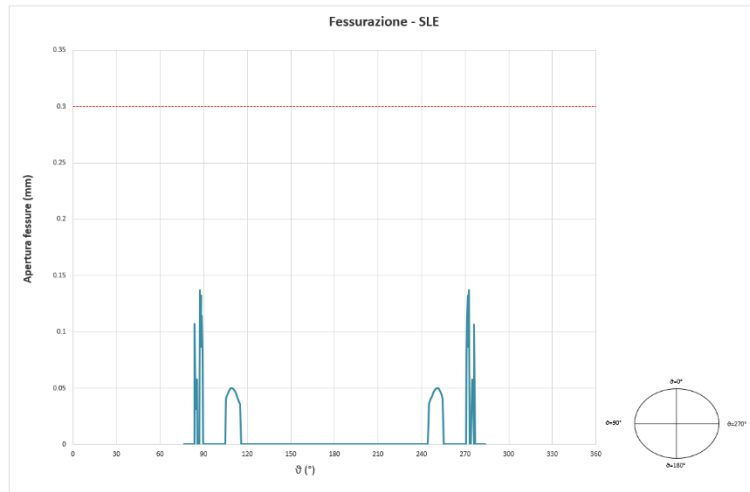


Figura 7-39: Verifica SLE fessurazione arco rovescio

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 51 di 159 |

7.3.7 Sezione A1 – By-pass 2 Interconnessione

Nel presente capitolo viene illustrato il calcolo del by-pass 2, nel quale si propone l'analisi condotta per verificare gli effetti dello scavo della futura galleria di linea B.P. sul by-pass. La porzione del by-pass 2 considerata nell'analisi di interazione è compresa tra la progressiva 0+100 e la 0+143.34. Come si evince dalla seguente figura, la futura galleria di linea sottoattraverserà il by-pass e nel punto di minor distanza tra la due strutture, misurata tra l'estradosso del by-pass e quello della galleria di linea, si avrà un franco netto pari a 1,75m.

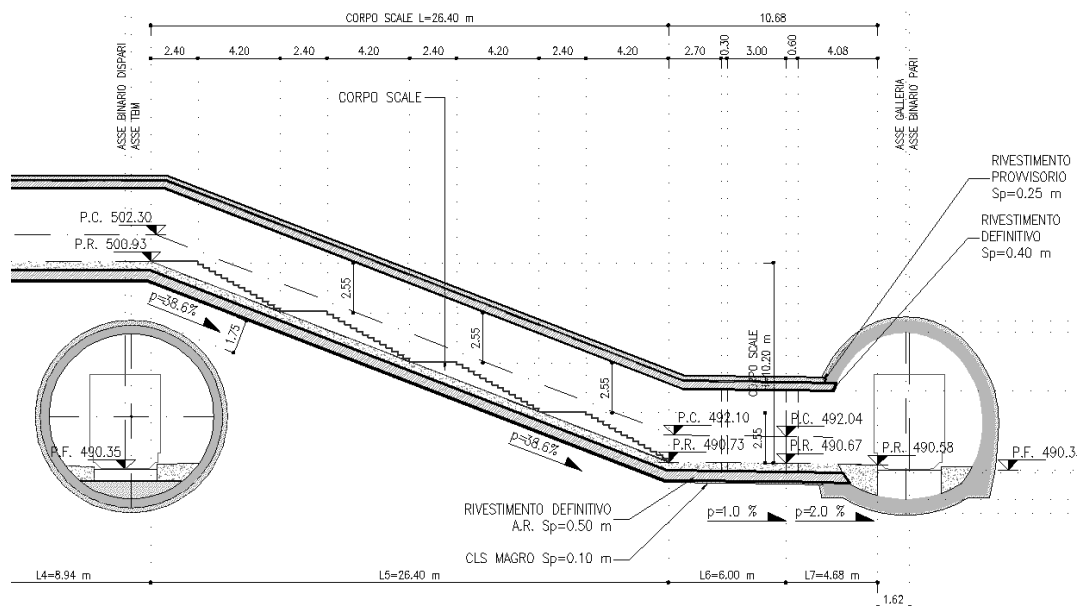


Figura 7-40: By-pass 2 e futuro sottoattraversamento della galleria di linea

Nei seguenti paragrafi verranno presentate le analisi sviluppate per verificare gli impatti sul by-pass ed eventuali contromisure necessarie per garantire la sicurezza e la stabilità delle opere.

7.3.7.1. Stabilità del fronte e del cavo

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

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|--|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 52 di 159 | | |

| Sezione di calcolo | R_{eq} [m] | H [m] | A_{scavo} [m ²] | σ_0 [MPa] | p_{w0} [MPa] | p_{wR} [MPa] | γ [kN/m ³] | c'_{kp} [kPa] | φ'_{kp} [°] | E_k [MPa] |
|--------------------|--------------|-------|-------------------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| By-pass 2 A1 | 3.2 | 126 | 32 | 3.488 | - | - | 27 | 986 | 53 | 5200 |

H = copertura rispetto alla calotta della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 A_{scavo} = area di scavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di piccolo dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso
 E_k = modulo elastico dell'ammasso

Tabella 7—58: Parametri input curve caratteristiche – By-pass 2

Sono stati valutati lo spostamento radiale ed il raggio plastico del fronte della curva caratteristica al fronte con cavità sferica. Trattandosi di una verifica per uno SLU GEO, è stato utilizzato l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), con $R_2 = 1$.

| Sezione di calcolo | Unità | u_F [m] | u_F/R_{eq} [%] | R_{PF} [m] | R_{PF}/R_{eq} [MPa] | Categoria Criterio 2.1 | Categoria Criterio 2.2 |
|--------------------|---------------|-----------|------------------|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| By-pass 2 A1 | γ_{bi} | 0.001 | 0.04 | 3.252 | 1.019 | A | B |

Tabella 7—59: Verifica di stabilità del fronte relativa alla sezione tipo A1 – By-pass 2

Dalle analisi delle curve caratteristiche in presenza dei sostegni è stato possibile determinare i tassi di rilascio da utilizzare nelle differenti fasi realizzative della sezione tipo in oggetto. Tali curve sono state calcolate con riferimento ai parametri meccanici dell'ammasso e alla copertura riportati in Tabella 7—2.

Le figure seguenti illustrano le curve caratteristiche del cavo, del pre – rivestimento e del rivestimento definitivo, nonché la variazione del tasso di rilascio in funzione della distanza dal fronte della galleria per entrambi i modelli considerati.

| | | | | | |
|---|--|--------------------|----------|-----------|--------------|
| APPALTATORE: |  | | | | |
| PROGETTAZIONE: | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C 53 di 159 |

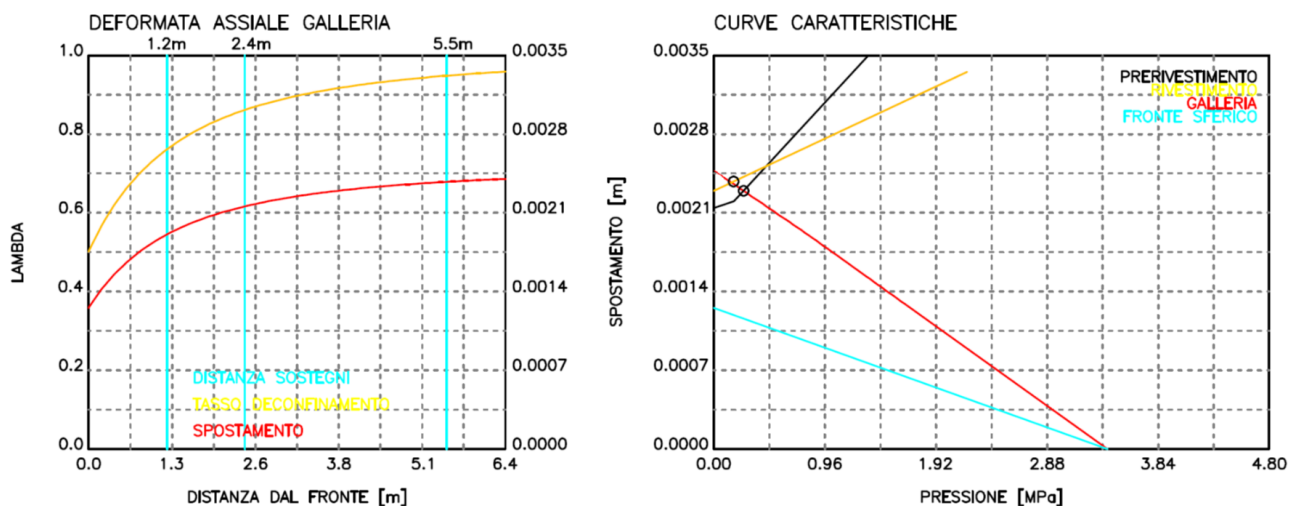


Figura 7-41: Deformata della galleria e curve caratteristiche sezione tipologica A1 – By-pass 2

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

| Fasi di analisi | Distanza dal fronte [m] | Tasso di rilascio [-] |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Pre – convergenza del fronte | 0 | 0.50 |
| Sfondo elementare di 1.2m | 1.2 | 0.78 |
| Attivazione del rivestimento di prima fase | 2.4 | 0.86 |
| Scarico a x1 dal fronte fino alla messa in opera dell’arco rovescio | - | 0.95 |

Tabella 7—60: Output di calcolo delle curve caratteristiche per la sezione tipo A1 – By-pass 2

7.3.7.2. Interazione opera – terreno

L’interazione opera – terreno è stata valutata mediante analisi numerica FEM, utilizzando il codice di calcolo Plaxis 2D. I bordi del modello sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria, in modo tale che le condizioni di vincolo definite non interferiscano con i processi di scavo e costruzione in esame.

I rivestimenti di prima fase e definitivi sono simulati come precedentemente descritto al §7.3.1.

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

I parametri impiegati nella modellazione sono descritti in Tabella 7—35.

| Stratigrafia di calcolo | | γ | c' | φ | E | k_0 |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-------|
| Formazione | Profondità da p.c. [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | |
| γ_{bi} | 126 | 27 | 986 | 53 | 5200 | 0.90 |

Tabella 7—61: Definizione della stratigrafia di calcolo per il by-pass 2

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 54 di 159 |

La geometria del modello è la seguente:

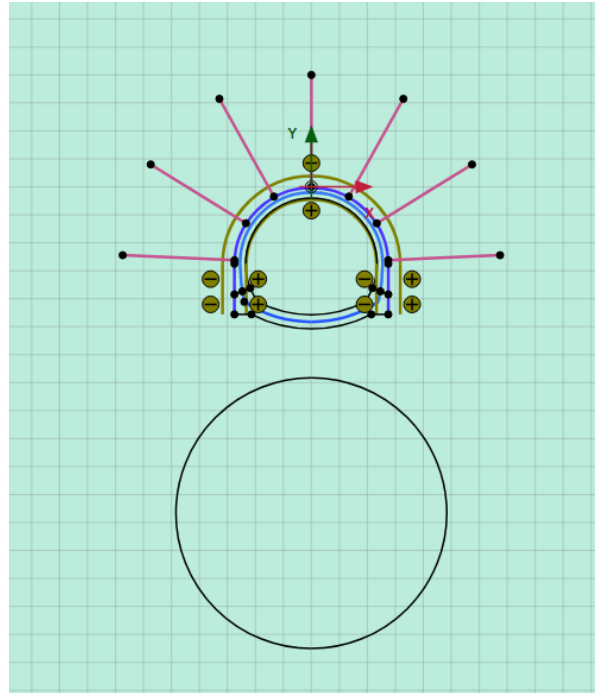


Figura 7-42: By-pass 2 - modello di calcolo

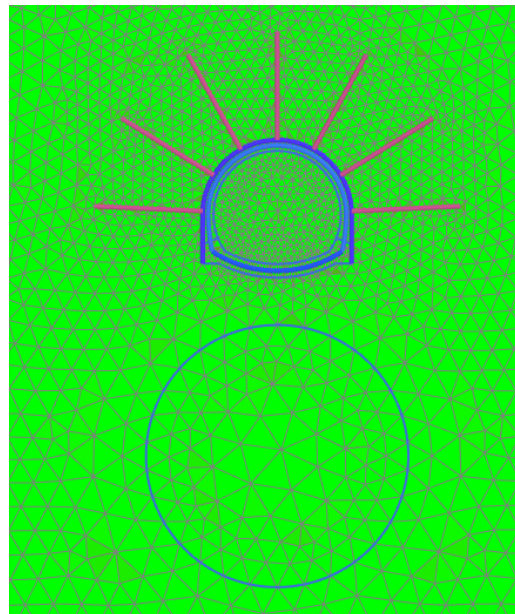


Figura 7-43: By-pass 2 – mesh

I tassi di deconfinamento sono stati valutati mediante l'impiego del metodo delle curve caratteristiche, tenendo conto degli elementi di pre-sostegno. Il dettaglio è riportato negli Allegati.

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 55 di 159 |

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali.

Terminate la fasi di scavo relative al by-pass 2, viene simulato lo scavo della galleria di linea. Lo scavo, realizzato ad una distanza netta pari a 1,75m dall'estradosso del by-pass, viene simulato cautelativamente imponendo un rilascio pari al 100% in modo da verificare la stabilità in qualunque condizione di scavo futuro.

Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi.

Le fasi di analisi sono le seguenti:

| | Descrizione | λ |
|----------------|--|-----------|
| Fase_1 | Fase litostatica | - |
| Fase_2 | Pre – convergenza del cavo con rilascio parziale dello stato tensionale in calotta | 0.50 |
| Fase_3 | Applicazione rivestimento provvisorio al contorno spessore 5 cm e esecuzione consolidamento radiale | 0.78 |
| Fase_4 | Installazione delle centine nel rivestimento provvisorio | 0.84 |
| Fase_5 | Applicazione dello strato di spritz sp. 25 cm | 0.86 |
| Fase_6 | Attivazione del rivestimento di prima fase giunto a maturazione e installazione dell'arco rovescio | 0.95 |
| Fase_7 | Installazione della calotta | 1 |
| Fase_8 | Degrado del rivestimento di prima fase | 1 |
| Fase_9 | Innalzamento della falda fino ad ottenere un battente idraulico in calotta pari a 20 m (condizione di lungo termine) | 1 |
| Fase_10 | Scavo della galleria di linea futura al di sotto del by-pass. | 1 |

Tabella 7—62: Descrizione fasi di calcolo

Dalla fase 9, viene cautelativamente considerata la presenza di un carico idraulico nel caso di inefficienza del sistema di drenaggio delle acque di ammasso.

7.3.7.3. Verifiche di resistenza dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase della sezione B dei bypass è costituito da n. 1 centina metallica HEA 160 a passo 1.20m e da uno strato di spritz – beton avente spessore di 25 cm. L'analisi numerica è stata condotta con elementi atti a simulare lo spessore equivalente della sezione omogeneizzata spritz – centine, e utilizzando un modulo elastico della sezione omogeneizzata.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 56 di 159 |

Le massime sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- Lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidità assiali (EA) dei due sostegni;
- Il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;
- Lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi numerica svolta con $\gamma = 1.00$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma = 1.30$ (Combinazione A1+M1, Rif.[1]).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

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

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

Nella seguente tabella sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla fase Fase_6.

| Sollecitazioni | Ripartizione | | Calcolo | |
|---------------------------------|---|--------|--|---|
| | Centine | Spritz | Centine | Spritz |
| Sforzo Normale (N_{tot}) | X | X | $N_{cent} = \frac{E_{acc} A_{cen}}{E_{eq} S_{eq}} N_{tot} d$ | $N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cent}}{d}$ |
| Momento flettente (M_{tot}) | X | | $M_{cent} = M_{tot} d$ | |
| Sforzo di taglio (T_{tot}) | X | | $T_{cent} = T_{tot} d$ | |
| Tensioni | | | $\sigma_{max,cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\sigma_{min,cen} = \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cen}}$ $\tau_{max,cen} = \frac{T_{cen}}{h a}$ $\sigma_{id,cen} = \sqrt{(\sigma_{max,cen}^2 + 3\tau_{max,cen}^2)}$ | $\sigma_{max,sb} = \frac{N_{sb}}{s}$ |
| E_{cls} | modulo elastico del calcestruzzo proiettato | | | |
| s | spessore del calcestruzzo proiettato | | | |
| E_{acc} | modulo elastico dell'acciaio | | | |
| A_{cen} | area delle centine | | | |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 57 di 159 |

| | |
|--------------------|---|
| d | interasse tra le centine |
| a | spessore dell'anima del profilato |
| E_{eq} | modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine |
| S_{eq} | spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine |
| N_{tot} | sforzo normale agente sul rivestimento equivalente |
| N_{cen} | sforzo normale agente sulle centine |
| N_{sb} | sforzo normale agente sullo spritz beton |
| M_{tot} | momento flettente sul rivestimento equivalente |
| M_{cen} | momento flettente agente sulle centine |
| T_{tot} | sforzo di taglio sul rivestimento equivalente |
| T_{cen} | sforzo di taglio agente sulle centine |
| $\sigma_{max,cen}$ | tensione massima nelle centine |
| $\sigma_{min,cen}$ | tensione minima nelle centine |
| $\tau_{min,cen}$ | tensione tangenziale massima nelle centine |
| $\sigma_{id,cen}$ | tensione ideale nelle centine |
| $\sigma_{max,sb}$ | tensione massima nello spritz beton |
| $\sigma_{min,sb}$ | tensione minima nello spritz beton |

Tabella 7—63: Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

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

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

| Spritz – beton | | |
|----------------|--------|-----------------|
| Classe | C25/30 | |
| R_{ck} | 30 | MPa |
| γ | 1.50 | - |
| f_{ck} | 25 | MPa |
| f_{cd} | 14.16 | MPa |
| f_{ctm} | 2.61 | MPa |
| b | 100 | cm |
| s | 25 | cm |
| A_{sb} | 25 | cm ² |
| I_{sb} | 130208 | cm ⁴ |
| W_{sb} | 10500 | cm ³ |
| E_{cls} | 31450 | MPa |

| Centine | | |
|------------|--------|-----------------|
| Tipo | S275 | |
| Profilato | HEA160 | |
| γ | 1.05 | - |
| n | 1 | - |
| f_y | 275 | MPa |
| f_{yd} | 261 | MPa |
| A_{cent} | 38.77 | cm ² |
| I_{cent} | 1673 | cm ⁴ |
| W_{cent} | 220 | cm ³ |
| h_{cent} | 152 | mm |
| a | 6 | mm |
| d | 1.2 | m |
| E_{cent} | 210000 | MPa |

| Rivestimento equivalente | | |
|--------------------------|--------|-----|
| S_{eq} | 0.2485 | m |
| E_{eq} | 36221 | MPa |

Tabella 7—64: Materiali pre-rivestimento

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 58 di 159 |

| Sezione | M | N | T |
|------------------|---------|----------|--------|
| | [kNm/m] | [kN/m] | [kN/m] |
| M _{max} | 17,00 | -432,44 | -67,39 |
| M _{min} | -17,00 | -432,17 | 67,33 |
| N _{max} | 0,00 | 1,63 | 5,51 |
| N _{min} | -1,33 | -1089,02 | -0,13 |
| T _{max} | -17,00 | -432,17 | 67,33 |
| T _{min} | 17,00 | -432,44 | -67,39 |

Tabella 7—65: Sollecitazioni da calcolo numerico

| Sezione | M _{cent} | N _{cent} | T _{cent} | σ _{max cen} | σ _{min cen} | τ _{min cen} | σ _{id cen} | Verifica |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------|
| | [kNm] | [kN] | [kN] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | |
| M _{max} | 26,53 | -50,95 | -105,13 | 107,38 | -133,67 | -115,28 | 226,71 | OK |
| M _{min} | -26,52 | -50,92 | 105,04 | -133,63 | 107,36 | 115,18 | 240,11 | OK |
| N _{max} | 0,00 | 0,19 | 8,60 | 0,05 | 0,05 | 9,43 | 16,34 | OK |
| N _{min} | -2,07 | -128,32 | -0,20 | -42,50 | -23,70 | -0,22 | 42,50 | OK |
| T _{max} | -26,52 | -50,92 | 105,04 | -133,63 | 107,36 | 115,18 | 240,11 | OK |
| T _{min} | 26,53 | -50,95 | -105,13 | 107,38 | -133,67 | -115,28 | 226,71 | OK |

Tabella 7—66: Sollecitazioni e verifica centine

| Sezione | N _{sb} | σ _{max sb} | Verifica |
|------------------|-----------------|---------------------|----------|
| | [kN] | [MPa] | |
| M _{max} | -519,71 | -2,08 | OK |
| M _{min} | -519,39 | -2,08 | OK |
| N _{max} | 1,96 | 0,01 | OK |
| N _{min} | -1308,80 | -5,24 | OK |
| T _{max} | -519,39 | -2,08 | OK |
| T _{min} | -519,71 | -2,08 | OK |

Tabella 7—67: Sollecitazioni e verifica spritz – beton

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 59 di 159 |

Verifiche di resistenza bulloni

La verifica dei bulloni viene eseguita nei confronti della rottura per snervamento e per sfilamento del sistema malta di iniezione – bullone (solo in caso di bulloni cementati).

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

I bulloni utilizzati sono tipo Swellex Pm 16 aventi $N_{yk}=140$ kN e $N_{yd} = 122$ kN

Le verifiche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

| | | |
|--------------|------|------|
| N_{yk} | 140 | kN |
| γ_s | 1.15 | - |
| R_d | 122 | kN |
| $N_{k,max}$ | 12.1 | kN/m |
| $N_{ed,max}$ | 19 | kN |
| FS | 6.45 | - |

Tabella 7—68: Verifiche a snervamento chiodi

7.3.7.4. Verifiche di resistenza dei rivestimenti definitivi

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

Le azioni di calcolo per le verifiche SLU sono definite, a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dalle analisi svolte con $\gamma=1$, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_E=1.3$ (Combinazione A1+M1). Le verifiche strutturali sono eseguite secondo il Metodo agli Stati Limite di Esercizio per la verifica a fessurazione e secondo il Metodo agli Stati Limite Ultimi per le verifiche a pressoflessione e taglio.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali condotte per ciascun elemento strutturale con riferimento alla Fase_10 (simulazione del sottoattraversamento della futura galleria di linea).

Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo.

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

Nelle verifiche seguenti è stato considerato uno spessore pari a 0.40m per la calotta e reni, per l'arco rovescio si è considerato uno spessore di 0.50m.

Il rivestimento definitivo del bypass 2 è previsto armato in calotta disponendo un'armatura principale costituita da 5 Φ 14 in zona tesa e 5 Φ 14 in zona compressa con armatura a taglio costituita da Φ 12/20. Per i piedritti è prevista un'armatura principale costituita da 10 Φ 14 in zona tesa e 10 Φ 14 in zona compressa con

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 60 di 159 |

armatura a taglio costituita da $\Phi 12/20$. In arco rovescio è necessaria un'armatura longitudinale costituita da $10\Phi 16$ in zona tesa e $10\Phi 16$ in zona compressa, e un'armatura a taglio costituita da $\Phi 12/20$.

Si definisce quindi un'incidenza media di armatura pari a 85 kg/mc per la calotta e piedritti e 125 kg/mc per l'arco rovescio.

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

In allegato sono riportate tutte le sollecitazioni dei rivestimenti.

- Calotta:

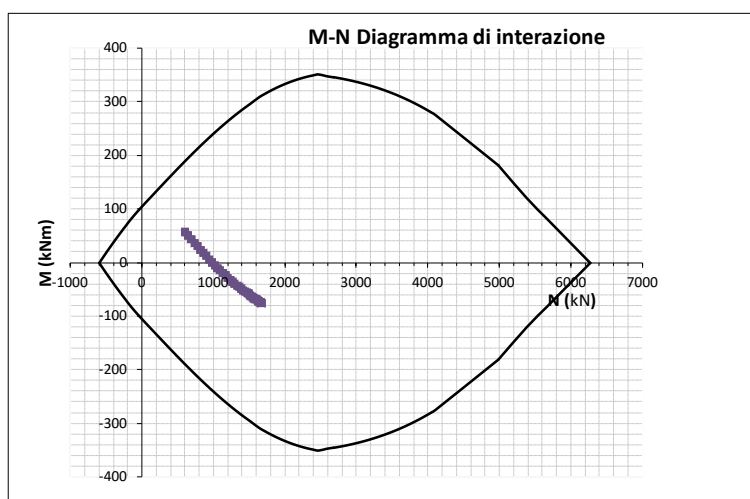


Figura 7-44: Dominio N-M calotta

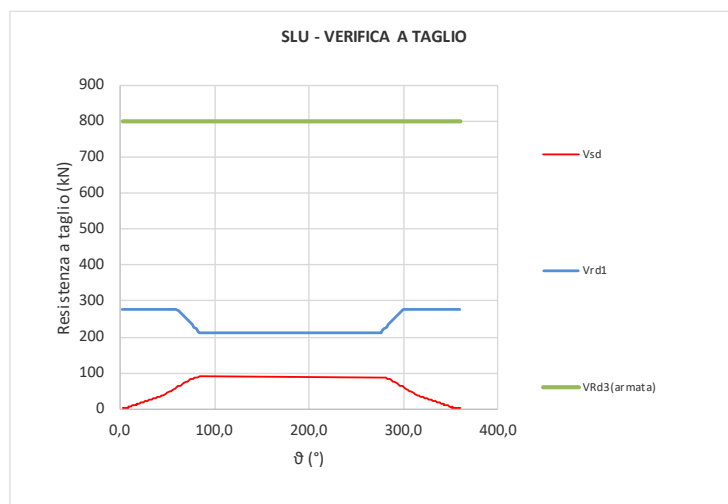


Figura 7-45: Verifica a taglio calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 61 di 159 |

- Piedritti:

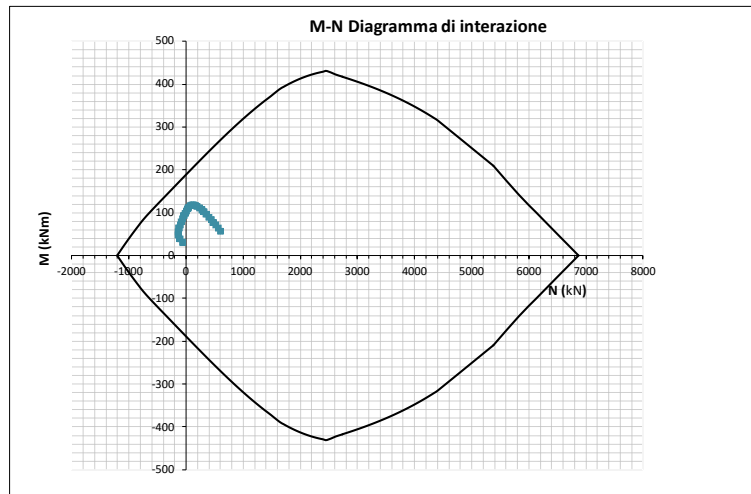


Figura 7-46: Dominio N-M piedritti

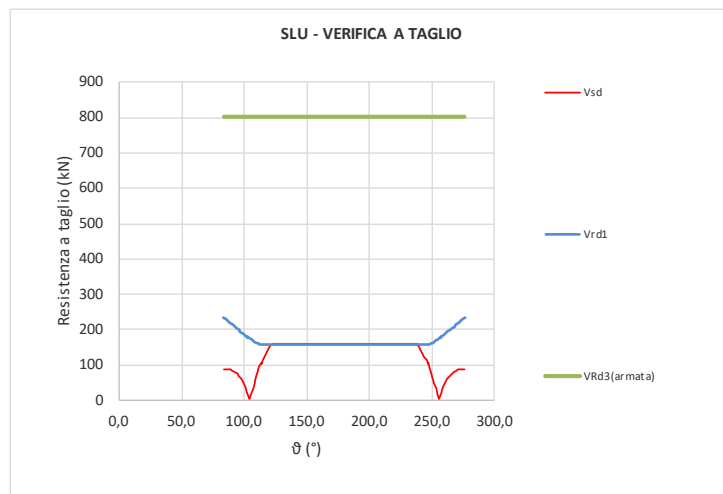


Figura 7-47: Verifica a taglio piedritti

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 62 di 159 |

- Arco rovescio:

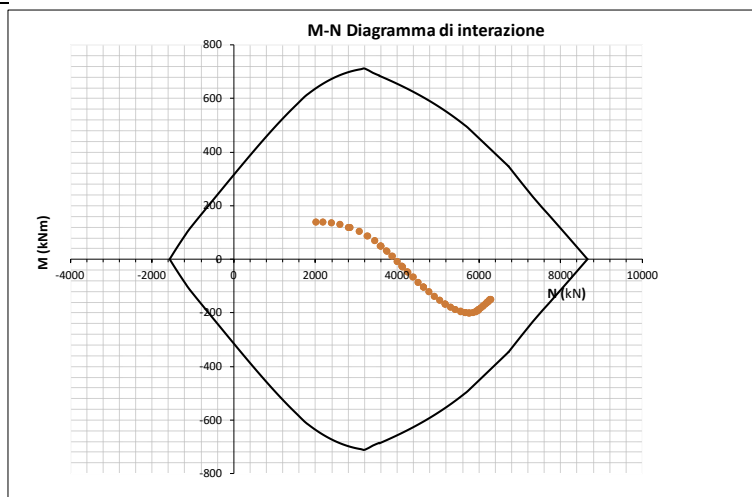


Figura 7-48: Dominio N-M arco rovescio

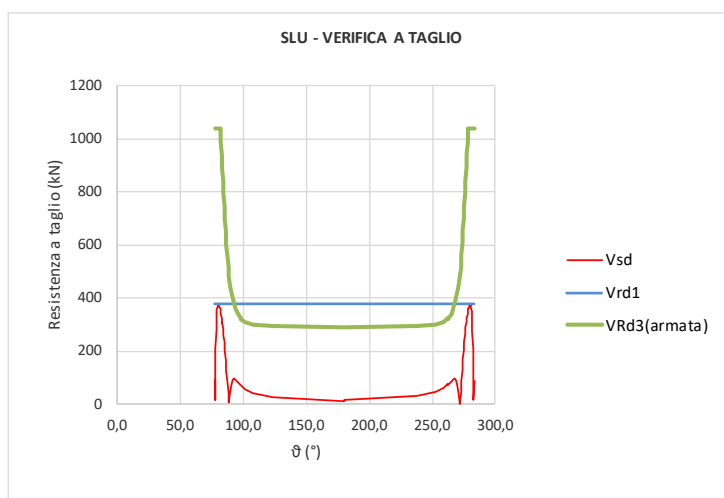


Figura 7-49: Verifica a taglio arco rovescio

Verifiche SLE

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

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 63 di 159 |

- Calotta

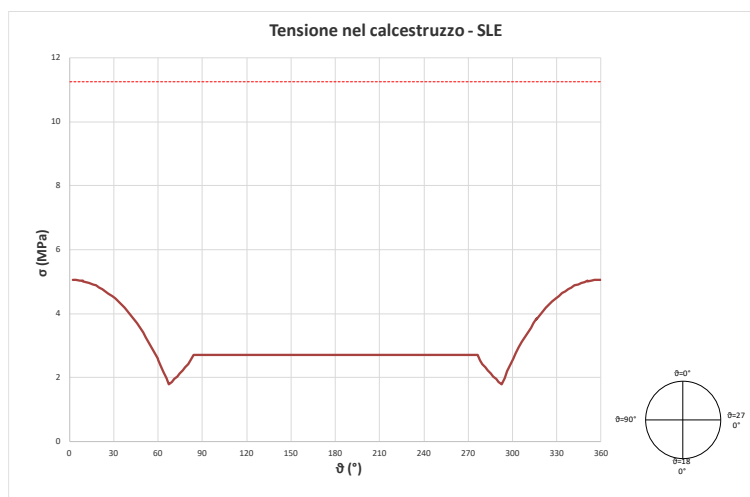


Figura 7-50: Verifica SLE tensione calcestruzzo calotta

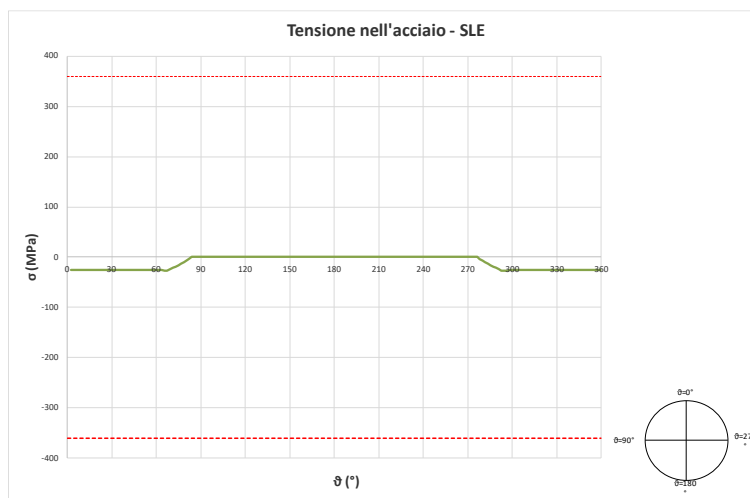


Figura 7-51: Verifica SLE tensione acciaio calotta

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 64 di 159 |

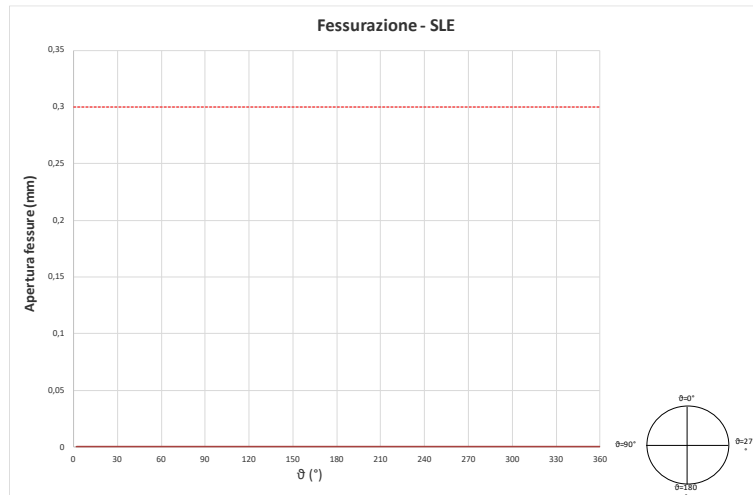


Figura 7-52: Verifica SLE fessurazione calotta

- Piedritti

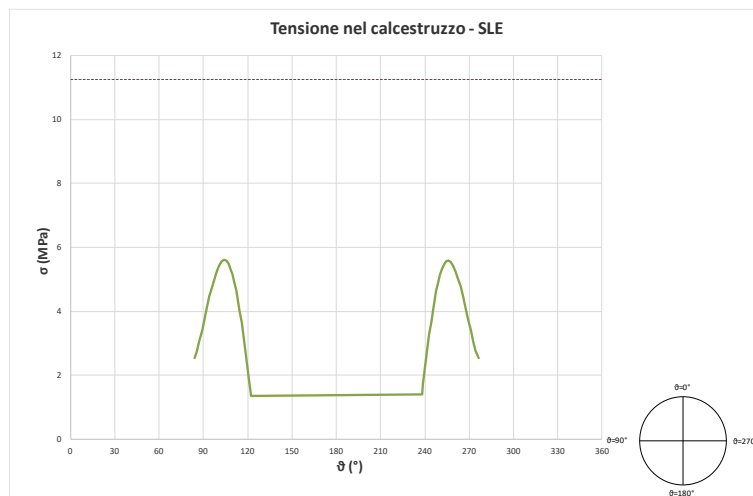


Figura 7-53: Verifica SLE tensione calcestruzzo piedritti

| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|-----------|----------|-----------|------|---------|------|-------|----|----------|---|-----------|
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | | | | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | <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>GN000001</td> <td>C</td> <td>65 di 159</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | IBOU | 1BEZZ | CL | GN000001 | C | 65 di 159 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | | | | | | | | |
| IBOU | 1BEZZ | CL | GN000001 | C | 65 di 159 | | | | | | | | |

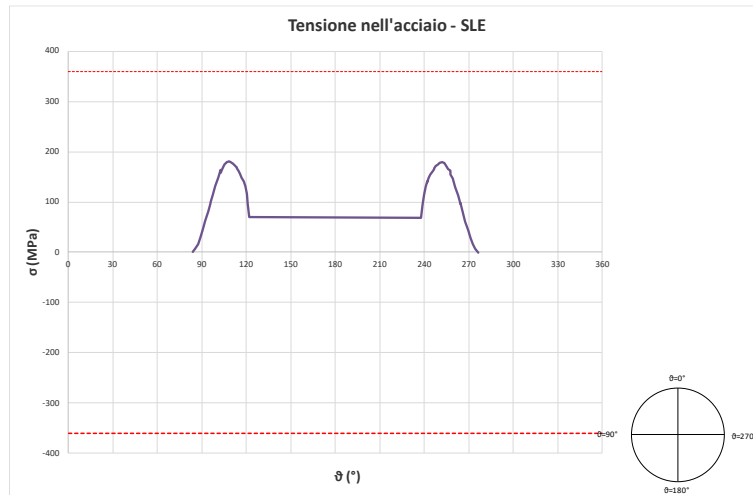


Figura 7-54: Verifica SLE tensione acciaio piedritti

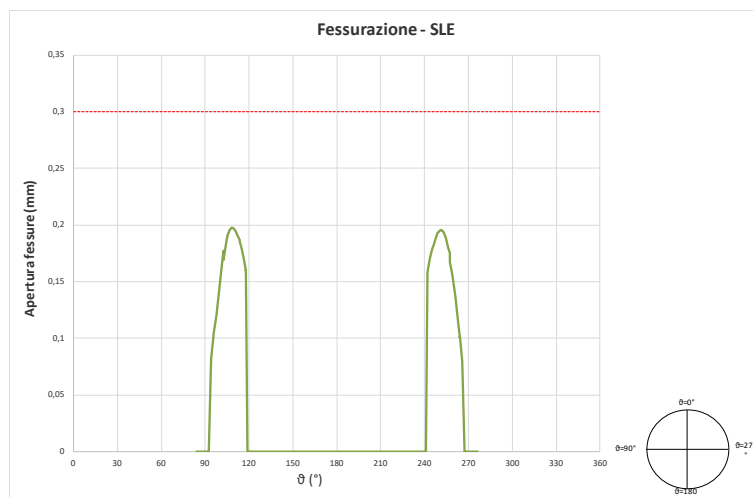


Figura 7-55: Verifica SLE fessurazione piedritti

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 66 di 159 |

- Arco rovescio

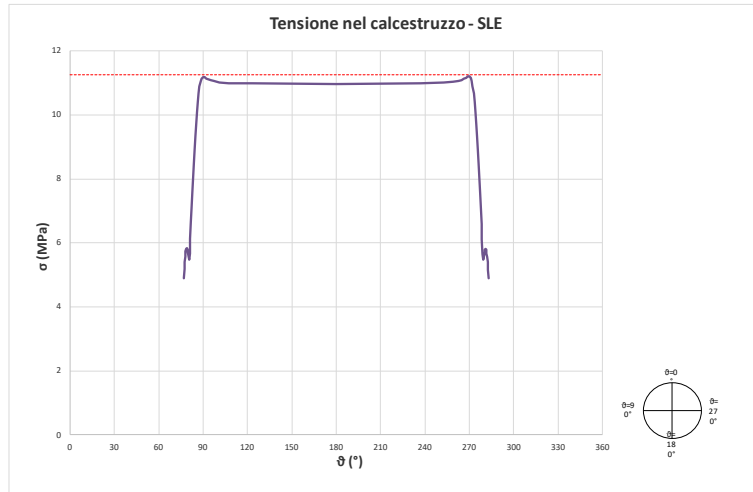


Figura 7-56: Verifica SLE tensione calcestruzzo arco rovescio

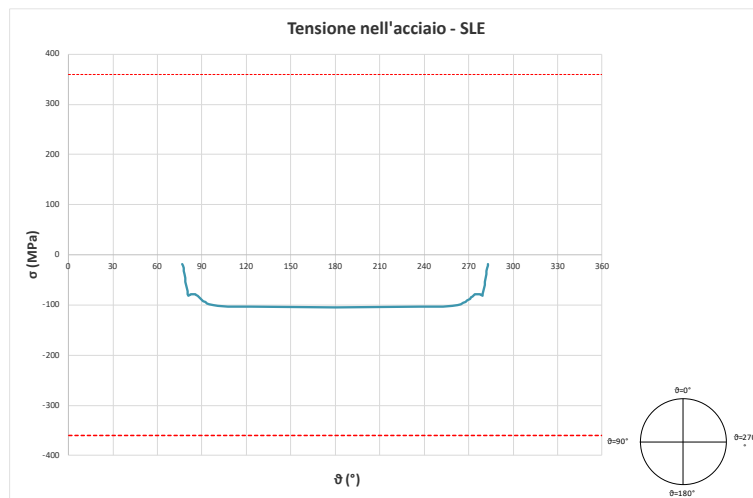


Figura 7-57: Verifica SLE tensione acciaio arco rovescio

| | | | | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 67 di 159 |

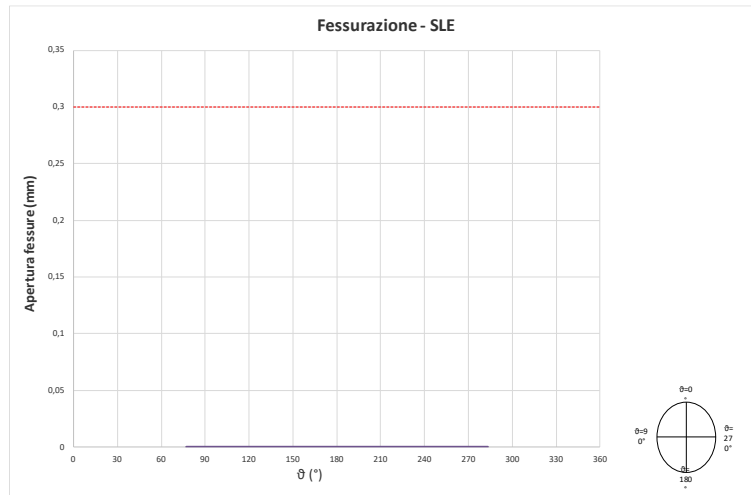


Figura 7-58: Verifica SLE fessurazione arco rovescio

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

| | | | | | | |
|---|---|----------------|----------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 68 di 159 |

8. FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

8.1 MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

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

| | | | | | | |
|--|--|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE:  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 69 di 159 |

9. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione dei by-pass delle gallerie.

Per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative sono state condotte le verifiche statiche, mediante analisi alle differenze finite; le valutazioni condotte hanno confermato la validità delle soluzioni progettuali proposte con riferimento allo stato tensionale. Le verifiche statiche condotte hanno evidenziato tensioni nei materiali adottati inferiori ai valori di Normativa.

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 70 di 159 |

10. ALLEGATI

10.1 CURVE CARATTERISTICHE FASI DI TERAPIA

10.1.1 Sezione A0

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

nuovo lavoro
nuova analisi
analisi base

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] | 3.20000 |
| PARAMETRI GEOTECNICI ----- | |
| Tensione originaria [MPa] | 14.20700 |
| Modulo di Young [MPa] | 25700.00000 |
| Coefficiente di Poisson | .20000 |
| Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] | 3.20000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] | 3.20000 |
| RESISTENZA ROCCIA ----- | |
| Coesione picco [MPa] | 4.54100 |
| Angolo attrito picco [deg] | 53.00000 |
| Coesione residua [MPa] | 4.54100 |
| Angolo attrito residuo [MPa] | 53.00000 |
| Angolo dilatanza [deg] | .00000 |
| Modulo di softening apparente Ha [MPa] | .00000 |
| Modulo di softening H [MPa] | .00000 |
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 3.00000 |
| Coefficiente riduzione rigidezza | 1.00000 |
| Forma del prerivestimento | CIRCOLARE APERTO |
| BARE AD ADERENZA CONTINUA ----- | |
| Modulo di Young [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza a trazione [MPa] | 470.00000 |
| Tensione tesatura iniziale [MPa] | .00000 |
| Lunghezza [m] | 3.00000 |
| Sezione reagente [m2] | .00452 |
| Spaziatura circonferenziale [deg] | 30.00000 |
| Spaziatura longitudinale [MPa] | 1.50000 |
| Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] | 4.54100 |
| Angolo attrito interfaccia barra-roccia [deg] | 53.00000 |
| Perimetro sezione sfilamento [m] | 6.19000 |
| Opzione dispositivo di ripartizione | 0 |
| [0 dispositivo di ripartizione assente] | |
| Distanza dal fronte attivazione barre [m] | .70000 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE ----- | |
| Spessore spritz [m] | .15000 |
| Modulo Young spritz [MPa] | 31447.00000 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 71 di 159 |

| | |
|---|-----------|
| Coefficiente di Poisson spritz | .15000 |
| Sezione centina [m2] | .00000 |
| Altezza sezione centina [m2] | .00000 |
| Posizione baricentro sezione centina [m] | .00000 |
| Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . | .00000000 |
| Passo centine [m] | .00000 |
| Modulo Young ferro centine [MPa] | .00000 |
| Resistenza compressione spritz [MPa] | 25.00000 |
| Resistenza ferro centine [MPa] | .00000 |

| | |
|--|-------------|
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 5.50000 |
| Spessore CLS [m] | .50000 |
| Modulo Young CLS [MPa] | 31450.00000 |
| Coefficiente di Poisson CLS | .15000 |
| Resistenza compressione CLS [MPa] | 14.11000 |
| Opzione calcolo rivestimento | 0 |
| [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine] | |
| [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine] | |
| Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] | .00000 |

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

| | |
|---|----------|
| Press. fine calcolo curva galleria [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale galleria [m] | .002115 |
| Raggio plastico galleria [m] | 3.212739 |
| Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale fronte sferico [m] | .001061 |
| Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] | .000735 |
| Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... | .000614 |
| Raggio plastico fronte sferico [m] | 3.200000 |

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

| | |
|---|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00188 |
| LAMBDA : | .88858 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .00206 |
| LAMBDA : | .97283 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00203 |
| LAMBDA : | .95861 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns | |
| U [m] : | .00200 |
| LAMBDA : | .94575 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica | |
| U [m] : | .00199 |
| LAMBDA : | .94095 |

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

| | |
|--|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00200 |
| LAMBDA : | .94626 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .00211 |
| LAMBDA : | .99532 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00208 |
| LAMBDA : | .98389 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns | |
| U [m] : | .00207 |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 72 di 159 |

LAMBDA : .97888

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00206
LAMBDA : .97702

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00145
LAMBDA : .68620

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00165
LAMBDA : .78114

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00170
LAMBDA : .80433

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00157
LAMBDA : .74396

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00153
LAMBDA : .72142

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] | .002115 |
| Raggio plastico galleria fine calcolo [m] | 3.212739 |
| Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] | .000000 |
| Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. | .002117 |
| Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. | 3.217992 |

| | |
|--|---------|
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 3.20000 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .15072 |
| Spostamento punto di equilibrio [m] | .00209 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00203 |
| Convergenza radiale prerivestimento [m] | .00006 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .958609 |

| | |
|--|----------|
| BARRE AD ADERENZA CONTINUA ----- | |
| Fattore di sicurezza rottura a trazione | 18.03599 |
| Fattore di sicurezza sfilamento | 12.03082 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00170 |
| Convergenza radiale barre [m] | .00041 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .804328 |

| | |
|---|-------------|
| MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA) | |
| E1 [MPa] | 25837.55982 |
| E2 [MPa] | 24013.14531 |

| | |
|---|--------|
| COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI | |
| Piano dei centri | .74444 |
| Piedritto | .63722 |

| | |
|--------------------------------|---------|
| COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI | |
| Calotta intradosso | .80379 |
| Calotta estradosso | .76386 |
| Rene intradosso | 1.16047 |
| Rene estradosso | .92352 |
| Piedritto intradosso | 1.12322 |
| Piedritto estradosso | 1.13015 |

| | |
|---|----------|
| CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA | 0 |
| (0 estrapolazione 1 interpolazione) | |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO) | |
| Tensione spritz [MPa] | .68877 |
| Tensione centine [MPa] | .00000 |
| Coefficiente di sicurezza spritz | 36.29669 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 73 di 159 |

| | |
|--|------------|
| Coefficiente di sicurezza centine | 1000.00000 |
| Pressione rottura spritz [MPa] | 1.14441 |
| Pressione rottura centine [MPa] | .00000 |
| Rigidezza spritz [MPa] | 1556.48835 |
| Rigidezza centinatura [MPa] | .00000 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO) | |
| Spostamento orizzontale piano centri [m] | .0000483 |
| Spostamento orizzontale piedritto [m] | .0000413 |
| Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] | .08098 |
| Momento Flettente Calotta [MN*m/m] | -.00005 |
| Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] | .55362 |
| Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] | .52612 |
| Tensione centine intradosso Calotta [MPa] | .00000 |
| Tensione centine estradosso Calotta [MPa] | .00000 |
| Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] | .10765 |
| Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] | -.00031 |
| Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] | .79930 |
| Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] | .63609 |
| Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] | .00000 |
| Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] | .00000 |
| Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] | .11640 |
| Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] | .00001 |
| Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] | .77364 |
| Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] | .77841 |
| Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] | .00000 |
| Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] | .00000 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 3.21274 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .03733 |
| Spostamento punto di equilibrio [MPa] | .00211 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00209 |
| Convergenza radiale rivestimento [m] | .00002 |
| Tensione CLS [MPa] | .24802 |
| Coefficiente di sicurezza CLS | 56.89106 |
| Pressione rottura CLS [MPa] | 2.12352 |
| Rigidezza anello CLS [MPa] | 5883.85140 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .983891 |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 74 di 159 |

10.1.2 Sezione A1

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Sezione A1 Terapia

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

D A T I A N A L I S I

| | |
|---|------------------|
| R galleria [m] | 3.20000 |
| PARAMETRI GEOTECNICI ----- | |
| Tensione originaria [MPa] | 13.24300 |
| Modulo di Young [MPa] | 16100.00000 |
| Coefficiente di Poisson | .20000 |
| Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . | .00000 |
| Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] | 3.20000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] | 3.20000 |
| RESISTENZA ROCCIA ----- | |
| Coesione picco [MPa] | 2.31500 |
| Angolo attrito picco [deg] | 36.00000 |
| Coesione residua [MPa] | 2.31500 |
| Angolo attrito residuo [MPa] | 36.00000 |
| Angolo dilatanza [deg] | .00000 |
| Modulo di softening apparente Ha [MPa] | .00000 |
| Modulo di softening H [MPa] | .00000 |
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 2.40000 |
| Coefficiente riduzione rigidezza | 1.00000 |
| Forma del prerivestimento | CIRCOLARE APERTO |
| BARRE AD ADERENZA CONTINUA ----- | |
| Modulo di Young [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza a trazione [MPa] | 470.00000 |
| Tensione tesatura iniziale [MPa] | .00000 |
| Lunghezza [m] | 4.00000 |
| Sezione reagente [m2] | .00452 |
| Spaziatura circonferenziale [deg] | 19.00000 |
| Spaziatura longitudinale [MPa] | 1.20000 |
| Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] | 1.54800 |
| Angolo attrito interfaccia barra-roccia [deg] | 35.00000 |
| Perimetro sezione sfilamento [m] | 6.19000 |
| Opzione dispositivo di ripartizione | 0 |
| [0 dispositivo di ripartizione assente] | |
| Distanza dal fronte attivazione barre [m] | 1.20000 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE ----- | |
| Spessore spritz [m] | .25000 |
| Modulo Young spritz [MPa] | 31447.00000 |
| Coefficiente di Poisson spritz | .15000 |
| Sezione centina [m2] | .00388 |
| Altezza sezione centina [m2] | .15200 |
| Posizione baricentro sezione centina [m] | .07600 |
| Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . | .00001673 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 75 di 159 |

| | |
|--|--------------|
| Passo centine [m] | 1.20000 |
| Modulo Young ferro centine [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza compressione spritz [MPa] | 25.00000 |
| Resistenza ferro centine [MPa] | 261.90000 |

| | |
|--|-------------|
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 5.50000 |
| Spessore CLS [m] | .50000 |
| Modulo Young CLS [MPa] | 31450.00000 |
| Coefficiente di Poisson CLS | .15000 |
| Resistenza compressione CLS [MPa] | 14.11000 |
| Opzione calcolo rivestimento | 0 |
| [0 priverestimenti non collaboranti a lungo termine] | |
| [1 priverestimenti collaboranti a lungo termine] | |
| Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] | .00000 |

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

| | |
|---|----------|
| Press. fine calcolo curva galleria [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale galleria [m] | .004153 |
| Raggio plastico galleria [m] | 4.107887 |
| Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale fronte sferico [m] | .001902 |
| Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] | .001005 |
| Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... | .001266 |
| Raggio plastico fronte sferico [m] | 3.542348 |

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

| | |
|--|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00349 |
| LAMBDA : | .93220 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .00402 |
| LAMBDA : | .97699 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00380 |
| LAMBDA : | .96021 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns | |
| U [m] : | .00360 |
| LAMBDA : | .94301 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica | |
| U [m] : | .00366 |
| LAMBDA : | .94816 |

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

| | |
|--|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00399 |
| LAMBDA : | .97511 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .00431 |
| LAMBDA : | .99632 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00400 |
| LAMBDA : | .98845 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns | |
| U [m] : | .00387 |
| LAMBDA : | .98346 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica | |
| U [m] : | .00391 |
| LAMBDA : | .98495 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 76 di 159 | |

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .00301
LAMBDA : .87575

Trasformazione Omotetica
U [m] : .00358
LAMBDA : .94106

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico
U [m] : .00349
LAMBDA : .93223

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .00317
LAMBDA : .89773

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .00326
LAMBDA : .90850

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]004153
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 4.107887
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa]000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m]004365
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. 4.180993

PRERIVESTIMENTO -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] 4.01532
Pressione punto di equilibrio [MPa]27409
Spostamento punto di equilibrio [m]00393
Spostamento galleria alla messa in opera [m]00374
Convergenza radiale prerivestimento [m]00019
Tasso di deconfinamento alla messa in opera960209

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----
Fattore di sicurezza rottura a trazione 9.19098
Fattore di sicurezza sfilamento 1.40842
Spostamento galleria alla messa in opera [m]00349
Convergenza radiale barre [m]00067
Tasso di deconfinamento alla messa in opera932232

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)
E1 [MPa] 5050.89147
E2 [MPa] 3336.60345

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI
Piano dei centri 1.11828
Piedritto 1.14980

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI
Calotta intradosso98517
Calotta estradosso87701
Rene intradosso96771
Rene estradosso94340
Piedritto intradosso79458
Piedritto estradosso84869

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA 1
(0 estrapolazione 1 interpolazione)

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 2.09607
Tensione centine [MPa] 12.47398
Coefficiente di sicurezza spritz 11.92706
Coefficiente di sicurezza centine 20.99571
Pressione rottura spritz [MPa] 2.02704
Pressione rottura centine [MPa] 3.56829
Rigidità spritz [MPa] 2649.14601
Rigidità centinatura [MPa] 212.02344

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 77 di 159 |

| | |
|--|------------|
| SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO) | |
| Spostamento orizzontale piano centri [m] | .0002126 |
| Spostamento orizzontale piedritto [m] | .0002186 |
| Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] | .63235 |
| Momento Flettente Calotta [MN*m/m] | -.00128 |
| Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] | 2.03531 |
| Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] | 1.85118 |
| Tensione centine intradosso Calotta [MPa] | 13.10957 |
| Tensione centine estradosso Calotta [MPa] | 12.36197 |
| Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] | .64897 |
| Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] | -.00029 |
| Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] | 2.01270 |
| Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] | 1.97132 |
| Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] | 13.33231 |
| Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] | 13.16428 |
| Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] | .55801 |
| Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] | .00064 |
| Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] | 1.66477 |
| Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] | 1.75689 |
| Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] | 11.35834 |
| Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] | 11.73236 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 4.06638 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .26825 |
| Spostamento punto di equilibrio [MPa] | .00406 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00393 |
| Convergenza radiale rivestimento [m] | .00013 |
| Tensione CLS [MPa] | 1.72924 |
| Coefficiente di sicurezza CLS | 8.15964 |
| Pressione rottura CLS [MPa] | 2.18885 |
| Rigidità anello CLS [MPa] | 6105.30876 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .988451 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 78 di 159 |

10.1.3 Sezione B

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Sez B
18+013
Fase di terapia

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

D A T I A N A L I S I

| | |
|---|------------------|
| R galleria [m] | 3.20000 |
| PARAMETRI GEOTECNICI ----- | |
| Tensione originaria [MPa] | 9.65600 |
| Modulo di Young [MPa] | 7800.00000 |
| Coefficiente di Poisson | .20000 |
| Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] .. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] | 3.20000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] .. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] | 3.20000 |
| RESISTENZA ROCCIA | |
| Coesione picco [MPa] | 1.11400 |
| Angolo attrito picco [deg] | 30.00000 |
| Coesione residua [MPa] | 1.11400 |
| Angolo attrito residuo [MPa] | 30.00000 |
| Angolo dilatanza [deg] | .00000 |
| Modulo di softening apparente Ha [MPa] | .00000 |
| Modulo di softening H [MPa] | .00000 |
| FRONTE DI SCAVO RINFORZATO | |
| Consolidamento generico del fronte | |
| Incremento coesione picco [MPa] | .05900 |
| Pressione sul fronte di scavo [MPa] | .00000 |
| Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato | |
| Coesione picco [MPa] | 1.17300 |
| Coesione residua [MPa] | 1.11400 |
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 2.00000 |
| Coefficiente riduzione rigidezza | 1.00000 |
| Forma del prerivestimento | CIRCOLARE APERTO |
| BARRE AD ADERENZA CONTINUA ----- | |
| Modulo di Young [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza a trazione [MPa] | 470.00000 |
| Tensione tesatura iniziale [MPa] | .00000 |
| Lunghezza [m] | 3.20000 |
| Sezione reagente [m2] | .00804 |
| Spaziatura circonferenziale [deg] | 19.00000 |
| Spaziatura longitudinale [MPa] | 1.00000 |
| Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] | 1.11400 |
| Angolo attrito interfaccia barra-roccia [deg] | 30.00000 |
| Perimetro sezione sfilamento [m] | 6.19000 |
| Opzione dispositivo di ripartizione | 0 |
| [0 dispositivo di ripartizione assente] | |
| Distanza dal fronte attivazione barre [m] | 1.00000 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE | |

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 79 di 159 |

| | |
|---|--------------|
| Spessore spritz [m] | .25000 |
| Modulo Young spritz [MPa] | 31447.00000 |
| Coefficiente di Poisson spritz | .15000 |
| Sezione centina [m2] | .00453 |
| Altezza sezione centina [m2] | .17100 |
| Posizione baricentro sezione centina [m] | .08550 |
| Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . | .00002510 |
| Passo centine [m] | 1.00000 |
| Modulo Young ferro centine [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza compressione spritz [MPa] | 25.00000 |
| Resistenza ferro centine [MPa] | 261.90000 |

| | |
|--|-------------|
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 6.40000 |
| Spessore CLS [m] | .50000 |
| Modulo Young CLS [MPa] | 31450.00000 |
| Coefficiente di Poisson CLS | .15000 |
| Resistenza compressione CLS [MPa] | 14.11000 |
| opzione calcolo rivestimento | 0 |
| [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine] | |
| [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine] | |
| Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] | .00000 |

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

| | |
|---|----------|
| Press. fine calcolo curva galleria [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale galleria [m] | .008169 |
| Raggio plastico galleria [m] | 4.968259 |
| Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale fronte sferico [m] | .004119 |
| Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] | .001252 |
| Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... | .003157 |
| Raggio plastico fronte sferico [m] | 4.020746 |

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

| | |
|--|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00755 |
| LAMBDA : | .93137 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .00890 |
| LAMBDA : | .96435 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00748 |
| LAMBDA : | .92931 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns | |
| U [m] : | .00625 |
| LAMBDA : | .88785 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica | |
| U [m] : | .00705 |
| LAMBDA : | .91635 |

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

| | |
|---|--------|
| Metodo Panet-Guenot | |
| U [m] : | .00968 |
| LAMBDA : | .97992 |
| Trasformazione Omotetica | |
| U [m] : | .01053 |
| LAMBDA : | .99449 |
| Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico | |
| U [m] : | .00796 |
| LAMBDA : | .98756 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 80 di 159 | |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00696
LAMBDA : .98026

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00761
LAMBDA : .98528

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00633
LAMBDA : .89127

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00760
LAMBDA : .93261

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00688
LAMBDA : .91079

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00535
LAMBDA : .84769

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00636
LAMBDA : .89216

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] | .008169 |
| Raggio plastico galleria fine calcolo [m] | 4.968259 |
| Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] | .000000 |
| Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ... | .010886 |
| Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. | 5.562825 |

PRERIVESTIMENTO -----

| | |
|--|---------|
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 4.79579 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .42563 |
| Spostamento punto di equilibrio [m] | .00750 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00713 |
| Convergenza radiale prerivestimento [m] | .00037 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .929315 |

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----

| | |
|--|---------|
| Fattore di sicurezza rottura a trazione | 9.72141 |
| Fattore di sicurezza sfilamento | .99893 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00688 |
| Convergenza radiale barre [m] | .00129 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .910793 |

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)

| | |
|----------------|------------|
| E1 [MPa] | 2625.30547 |
| E2 [MPa] | 744.04414 |

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

| | |
|------------------------|---------|
| Piano dei centri | 1.65264 |
| Piedritto | 1.93666 |

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI

| | |
|----------------------------|---------|
| Calotta intradosso | 1.20020 |
| Calotta estradosso | 1.05722 |
| Rene intradosso | .89138 |
| Rene estradosso | 1.05356 |
| Piedritto intradosso | .73797 |
| Piedritto estradosso | .77682 |

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA 1

(0 estrapolazione 1 interpolazione)

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)

| | |
|-----------------------------|---------|
| Tensione spritz [MPa] | 4.12739 |
|-----------------------------|---------|

| | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 81 di 159 |

| | |
|--|------------|
| Tensione centine [MPa] | 24.56261 |
| Coefficiente di sicurezza spritz | 6.05709 |
| Coefficiente di sicurezza centine | 10.66255 |
| Pressione rottura spritz [MPa] | 2.08721 |
| Pressione rottura centine [MPa] | 3.67421 |
| Rigidezza spritz [MPa] | 2649.14601 |
| Rigidezza centinatura [MPa] | 296.95313 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO) | |
| Spostamento orizzontale piano centri [m] | .0006186 |
| Spostamento orizzontale piedritto [m] | .0007249 |
| Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] | 1.29520 |
| Momento Flettente Calotta [MN*m/m] | -.00342 |
| Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] | 4.91441 |
| Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] | 4.34914 |
| Tensione centine intradosso Calotta [MPa] | 31.62509 |
| Tensione centine estradosso Calotta [MPa] | 29.04312 |
| Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] | 1.11592 |
| Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] | .00388 |
| Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] | 3.65085 |
| Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] | 4.29199 |
| Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] | 25.73294 |
| Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] | 28.66148 |
| Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] | .86912 |
| Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] | .00093 |
| Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] | 3.02216 |
| Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] | 3.17576 |
| Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] | 20.50583 |
| Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] | 21.20739 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 4.85295 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .59897 |
| Spostamento punto di equilibrio [MPa] | .00779 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00750 |
| Convergenza radiale rivestimento [m] | .00029 |
| Tensione CLS [MPa] | 3.86116 |
| Coefficiente di sicurezza CLS | 3.65435 |
| Pressione rottura CLS [MPa] | 2.18885 |
| Rigidezza anello CLS [MPa] | 6105.30876 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .987557 |

| | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 82 di 159 |

10.1.4 Sezione C

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

nuovo lavoro
nuova analisi
analisi base

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] | 3.20000 |
| PARAMETRI GEOTECNICI ----- | |
| Tensione originaria [MPa] | 3.88900 |
| Modulo di Young [MPa] | 700.00000 |
| Coefficiente di Poisson | .20000 |
| Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . | .00000 |
| Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] | 3.20000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] | 3.20000 |
| RESISTENZA ROCCIA | |
| Coesione picco [MPa] | .17400 |
| Angolo attrito picco [deg] | 27.00000 |
| Coesione residua [MPa] | .17400 |
| Angolo attrito residuo [MPa] | 27.00000 |
| Angolo dilatanza [deg] | .00000 |
| Modulo di softening apparente Ha [MPa] | .00000 |
| Modulo di softening H [MPa] | .00000 |
| FRONTE DI SCAVO RINFORZATO | |
| Consolidamento generico del fronte | |
| Incremento coesione picco [MPa] | .13000 |
| Pressione sul fronte di scavo [MPa] | .00000 |
| Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato | |
| Coesione picco [MPa] | .30400 |
| Coesione residua [MPa] | .17400 |
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 1.00000 |
| Coefficiente riduzione rigidezza | 1.00000 |
| Forma del prerivestimento | CIRCOLARE APERTO |
| SPRITZ-BETON E CENTINE | |
| Spessore spritz [m] | .25000 |
| Modulo Young spritz [MPa] | 31447.00000 |
| Coefficiente di Poisson spritz | .15000 |
| Sezione centina [m2] | .00453 |
| Altezza sezione centina [m2] | .17100 |
| Posizione baricentro sezione centina [m] | .08550 |
| Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . | .00002510 |
| Passo centine [m] | 1.00000 |
| Modulo Young ferro centine [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza compressione spritz [MPa] | 25.00000 |
| Resistenza ferro centine [MPa] | 261.90000 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 6.40000 |
| Spessore CLS [m] | .60000 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 83 di 159 | |

| | |
|--|-------------|
| Modulo Young CLS [MPa] | 31450.00000 |
| Coefficiente di Poisson CLS | .15000 |
| Resistenza compressione CLS [MPa] | 14.11000 |
| Opzione calcolo rivestimento | 0 |
| [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine] | |
| [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine] | |
| Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] | .00000 |

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

| | |
|---|-----------|
| Press. fine calcolo curva galleria [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale galleria [m] | .158095 |
| Raggio plastico galleria [m] | 10.248531 |
| Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] | .000000 |
| Spostamento radiale fronte sferico [m] | .030368 |
| Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] | .015730 |
| Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... | .045848 |
| Raggio plastico fronte sferico [m] | 4.704487 |

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

Metodo Panet-Guenot

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .05608 |
| LAMBDA : | .90047 |

Trasformazione Omotetica

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .08097 |
| LAMBDA : | .94372 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .03501 |
| LAMBDA : | .82814 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .02262 |
| LAMBDA : | .74025 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .04903 |
| LAMBDA : | .88188 |

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

Metodo Panet-Guenot

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .11607 |
| LAMBDA : | .97715 |

Trasformazione Omotetica

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .12910 |
| LAMBDA : | .98558 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .03567 |
| LAMBDA : | .99107 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .02359 |
| LAMBDA : | .98651 |

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

| | |
|----------|--------|
| U [m] : | .04948 |
| LAMBDA : | .99386 |

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] | .158095 |
| Raggio plastico galleria fine calcolo [m] | 10.248531 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 84 di 159 | |

| | |
|---|------------|
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 5.30964 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .65519 |
| Spostamento punto di equilibrio [m] | .03570 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .03501 |
| Convergenza radiale prerivestimento [m] | .00068 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .828139 |
| MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA) | |
| E1 [MPa] | 73.88261 |
| E2 [MPa] | 20.54413 |
| COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI | |
| Piano dei centri | 22.82827 |
| Piedritto | 32.45269 |
| COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI | |
| Calotta intradosso | 2.81543 |
| Calotta estradosso | .44910 |
| Rene intradosso | -4.79588 |
| Rene estradosso | 6.80166 |
| Piedritto intradosso | .91516 |
| Piedritto estradosso | -1.13845 |
| CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA | 1 |
| (0 estrapolazione 1 interpolazione) | |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO) | |
| Tensione spritz [MPa] | 7.54919 |
| Tensione centine [MPa] | 44.92614 |
| Coefficiente di sicurezza spritz | 3.31161 |
| Coefficiente di sicurezza centine | 5.82957 |
| Pressione rottura spritz [MPa] | 2.08721 |
| Pressione rottura centine [MPa] | 3.67421 |
| Rigidezza spritz [MPa] | 2649.14601 |
| Rigidezza centinatura [MPa] | 296.95313 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO) | |
| Spostamento orizzontale piano centri [m] | .0156280 |
| Spostamento orizzontale piedritto [m] | .0222167 |
| Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] | 3.42588 |
| Momento Flettente Calotta [MN*m/m] | -.10347 |
| Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] | 21.07282 |
| Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] | 3.96187 |
| Tensione centine intradosso Calotta [MPa] | 104.61442 |
| Tensione centine estradosso Calotta [MPa] | 26.45695 |
| Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] | 2.10492 |
| Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] | .50711 |
| Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] | -35.84791 |
| Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] | 48.01368 |
| Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] | -62.42268 |
| Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] | 320.63068 |
| Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] | -.23432 |
| Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] | -.08980 |
| Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] | 6.84163 |
| Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] | -8.00803 |
| Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] | 14.35171 |
| Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] | -53.47686 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 5.33354 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .65036 |
| Spostamento punto di equilibrio [MPa] | .03595 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .03570 |
| Convergenza radiale rivestimento [m] | .00026 |
| Tensione CLS [MPa] | 3.55962 |
| Coefficiente di sicurezza CLS | 3.96391 |
| Pressione rottura CLS [MPa] | 2.57798 |
| Rigidezza anello CLS [MPa] | 7487.87799 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .991072 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 85 di 159 | |

10.1.5 Sezione A1 – By-pass 2

GV4 - CALCOLO GALLERIE - METODO CONVERGENZA-CONFINAMENTO

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

Sezione A1 - By-Pass 2
Terapia
analisi base

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

D A T I A N A L I S I

| | |
|--|------------------|
| R galleria [m] | 3.20000 |
| PARAMETRI GEOTECNICI ----- | |
| Tensione originaria [MPa] | 3.40200 |
| Modulo di Young [MPa] | 5200.00000 |
| Coefficiente di Poisson | .20000 |
| Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. | .00000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] | 3.20000 |
| Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. | .00000 |
| Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] | 3.20000 |
| RESISTENZA ROCCIA ----- | |
| Coesione picco [MPa] | .98500 |
| Angolo attrito picco [deg] | 53.00000 |
| Coesione residua [MPa] | .98500 |
| Angolo attrito residuo [MPa] | 53.00000 |
| Angolo dilatanza [deg] | .00000 |
| Modulo di softening apparente Ha [MPa] | .00000 |
| Modulo di softening H [MPa] | .00000 |
| PRERIVESTIMENTO ----- | |
| Distanza dal fronte alla messa in opera [m] | 2.40000 |
| Coefficiente riduzione rigidezza | 1.00000 |
| Forma del prerivestimento | CIRCOLARE APERTO |
| BARRE AD ADERENZA CONTINUA ----- | |
| Modulo di Young [MPa] | 210000.00000 |
| Resistenza a trazione [MPa] | 470.00000 |
| Tensione tesatura iniziale [MPa] | .00000 |
| Lunghezza [m] | 4.00000 |
| Sezione reagente [m2] | .00452 |
| Spaziatura circonferenziale [deg] | 19.00000 |
| Spaziatura longitudinale [MPa] | 1.20000 |
| Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] | 1.54800 |
| Angolo attrito interfaccia barra-roccia [deg] | 35.00000 |
| Perimetro sezione sfilamento [m] | 6.19000 |
| Opzione dispositivo di ripartizione | 0 |
| [0 dispositivo di ripartizione assente] | |
| Distanza dal fronte attivazione barre [m] | 1.20000 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE ----- | |
| Spessore spritz [m] | .25000 |
| Modulo Young spritz [MPa] | 31447.00000 |
| Coefficiente di Poisson spritz | .15000 |
| Sezione centina [m2] | .00388 |
| Altezza sezione centina [m2] | .15200 |
| Posizione baricentro sezione centina [m] | .07600 |

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandataria: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 86 di 159 | |

Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] . .00001673
Passo centine [m] 1.20000
Modulo Young ferro centine [MPa] 210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa] 25.00000
Resistenza ferro centine [MPa] 261.90000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] 5.50000
Spessore CLS [m]50000
Modulo Young CLS [MPa] 31450.00000
Coefficiente di Poisson CLS15000
Resistenza compressione CLS [MPa] 14.11000
Opzione calcolo rivestimento 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
Spostamento radiale galleria [m]002477
Raggio plastico galleria [m] 3.203409
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]001255
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]000856
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]000729
Raggio plastico fronte sferico [m] 3.200000

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .00215
LAMBDA : .85964

Trasformazione Omotetica
U [m] : .00240
LAMBDA : .95766

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico
U [m] : .00237
LAMBDA : .94641

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .00233
LAMBDA : .92971

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .00232
LAMBDA : .92624

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

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .00238
LAMBDA : .94843

Trasformazione Omotetica
U [m] : .00250
LAMBDA : .99594

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico
U [m] : .00243
LAMBDA : .98640

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .00241
LAMBDA : .98216

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .00241

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IB0U | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 87 di 159 | |

LAMBDA : .98128

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .00191
LAMBDA : .76325

Trasformazione Omotetica

U [m] : .00219
LAMBDA : .87592

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .00225
LAMBDA : .89948

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .00217
LAMBDA : .86773

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .00215
LAMBDA : .85928

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]002477
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 3.203409
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa]000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m]002514
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. 3.247610

PRERIVESTIMENTO -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] 3.20000
Pressione punto di equilibrio [MPa]25745
Spostamento punto di equilibrio [m]00230
Spostamento galleria alla messa in opera [m]00214
Convergenza radiale prerivestimento [m]00015
Tasso di deconfinamento alla messa in opera859636

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----
Fattore di sicurezza rottura a trazione 15.08575
Fattore di sicurezza sfilamento 1.52176
Spostamento galleria alla messa in opera [m]00191
Convergenza radiale barre [m]00057
Tasso di deconfinamento alla messa in opera763249

MODULI APPARENTI GALLERIA (PER COEFFICIENTI DI FORMA)
E1 [MPa] 5475.20761
E2 [MPa] 4908.29651

COEFFICIENTI DI FORMA SPOSTAMENTI ORIZZONTALI
Piano dei centri98038
Piedritto92174

COEFFICIENTI DI FORMA TENSIONI
Calotta intradosso92737
Calotta estradosso83791
Rene intradosso 1.04974
Rene estradosso90795
Piedritto intradosso86346
Piedritto estradosso97695

CODICE INTERPOLAZIONE COEFFICIENTI DI FORMA 0
(0 estrapolazione 1 interpolazione)

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
Tensione spritz [MPa] 1.70199
Tensione centine [MPa] 10.12877
Coefficiente di sicurezza spritz 14.68865
Coefficiente di sicurezza centine 25.85703
Pressione rottura spritz [MPa] 2.02704
Pressione rottura centine [MPa] 3.56829
Rigidità spritz [MPa] 2649.14601

| | | | | | | | |
|---|---|--|----------|-----------|------|-----------|--|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | | |
| PROGETTAZIONE: | | PROGETTO ESECUTIVO | | | | | |
| Mandatario: | Mandanti: | | | | | | |
| SWS Engineering S.p.A. | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | | | | | | |
| 08 - GALLERIE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | |
| Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | IBOU | 1BEZZ | CL | GN0000001 | C | 88 di 159 | |

| | |
|--|------------|
| Rigidezza centinatura [MPa] | 212.02344 |
| SPRITZ-BETON E CENTINE (PRERIVESTIMENTO APERTO) | |
| Spostamento orizzontale piano centri [m] | .0001513 |
| Spostamento orizzontale piedritto [m] | .0001423 |
| Sollecitazione Normale Calotta [MN/m] | .48674 |
| Momento Flettente Calotta [MN*m/m] | -.00086 |
| Tensione spriz intradosso Calotta [MPa] | 1.55734 |
| Tensione spriz estradosso Calotta [MPa] | 1.43367 |
| Tensione centine intradosso Calotta [MPa] | 10.07602 |
| Tensione centine estradosso Calotta [MPa] | 9.57390 |
| Sollecitazione Normale Piano Centri [MN/m] | .53980 |
| Momento Flettente Piano Centri [MN*m/m] | -.00136 |
| Tensione spriz intradosso Piano Centri [MPa] | 1.75744 |
| Tensione spriz estradosso Piano Centri [MPa] | 1.56143 |
| Tensione centine intradosso Piano Centri [MPa] | 11.22291 |
| Tensione centine estradosso Piano Centri [MPa] | 10.42709 |
| Sollecitazione Normale Piedritto [MN/m] | .50746 |
| Momento Flettente Piedritto [MN*m/m] | .00109 |
| Tensione spriz intradosso Piedritto [MPa] | 1.47627 |
| Tensione spriz estradosso Piedritto [MPa] | 1.63314 |
| Tensione centine intradosso Piedritto [MPa] | 10.26903 |
| Tensione centine estradosso Piedritto [MPa] | 10.90598 |
| RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) ----- | |
| Raggio plastico punto di equilibrio [m] | 3.20000 |
| Pressione punto di equilibrio [MPa] | .17157 |
| Spostamento punto di equilibrio [MPa] | .00238 |
| Spostamento galleria alla messa in opera [m] | .00230 |
| Convergenza radiale rivestimento [m] | .00008 |
| Tensione CLS [MPa] | 1.10598 |
| Coefficiente di sicurezza CLS | 12.75789 |
| Pressione rottura CLS [MPa] | 2.18885 |
| Rigidezza anello CLS [MPa] | 6105.30876 |
| Tasso di deconfinamento alla messa in opera | .948433 |

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 89 di 159 |

10.2 OUTPUT PLAXIS 2D

10.2.1 Output Sezione A0

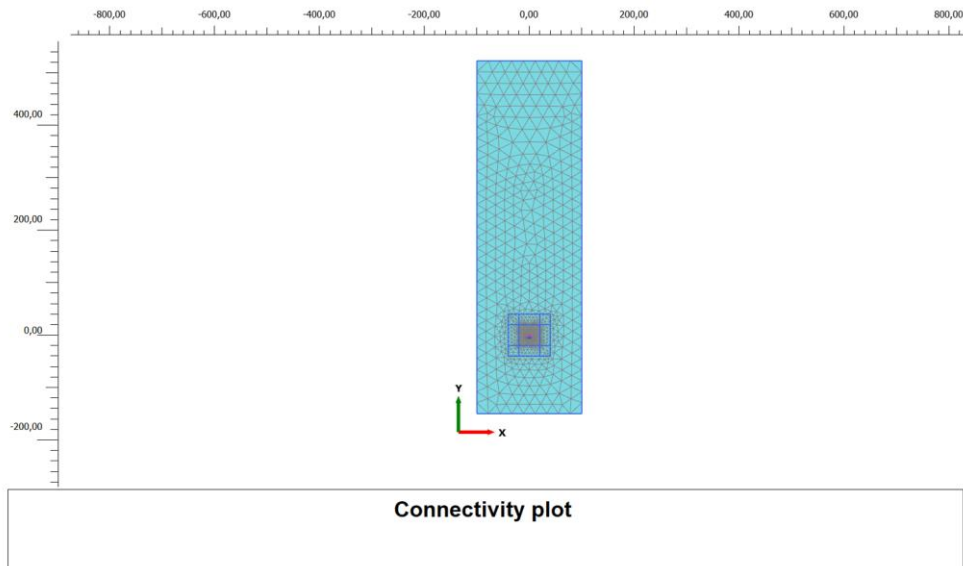


Figura 10-1: Mesh

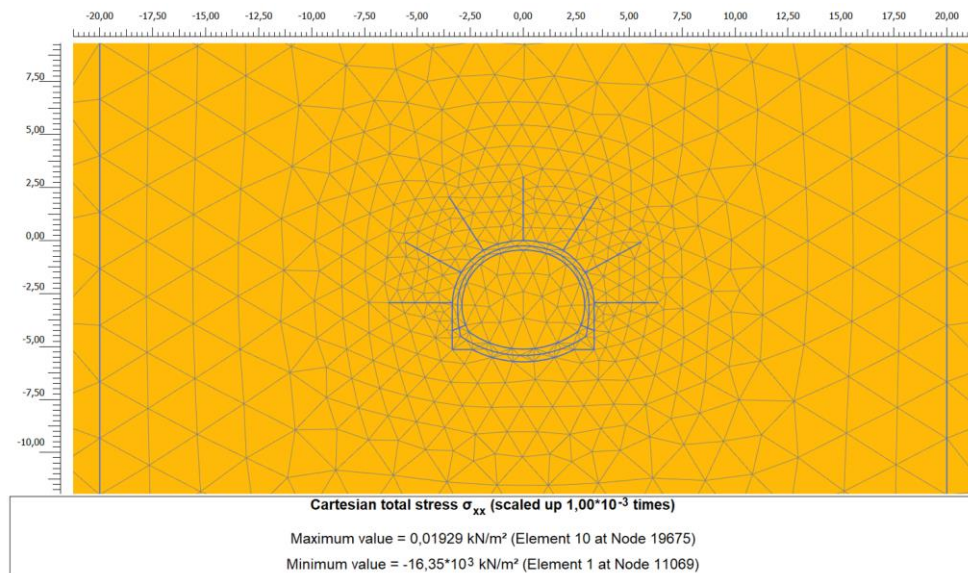


Figura 10-2: Stress σ_{xx} - Fase 1

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 90 di 159 |

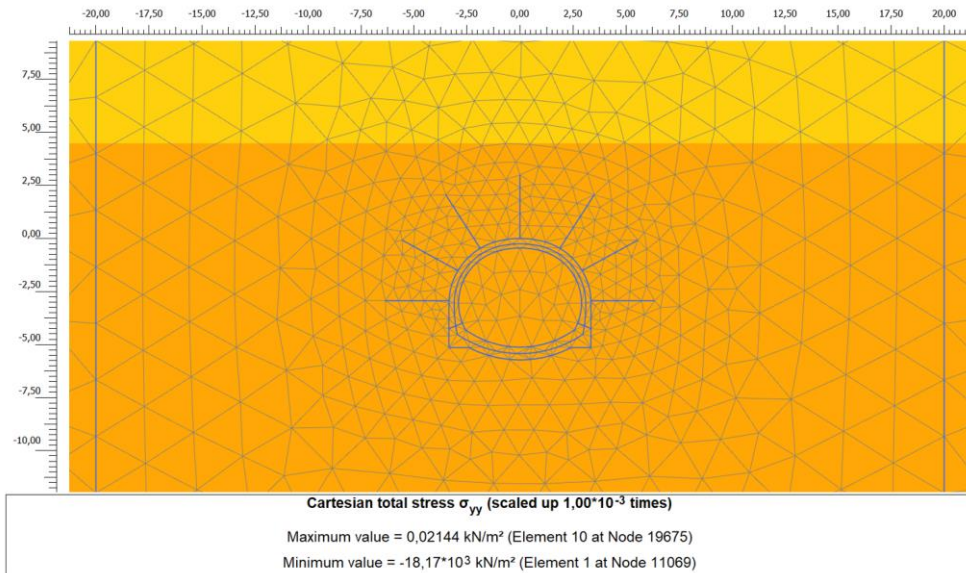


Figura 10-3: Stress σ_{yy} - Fase 1

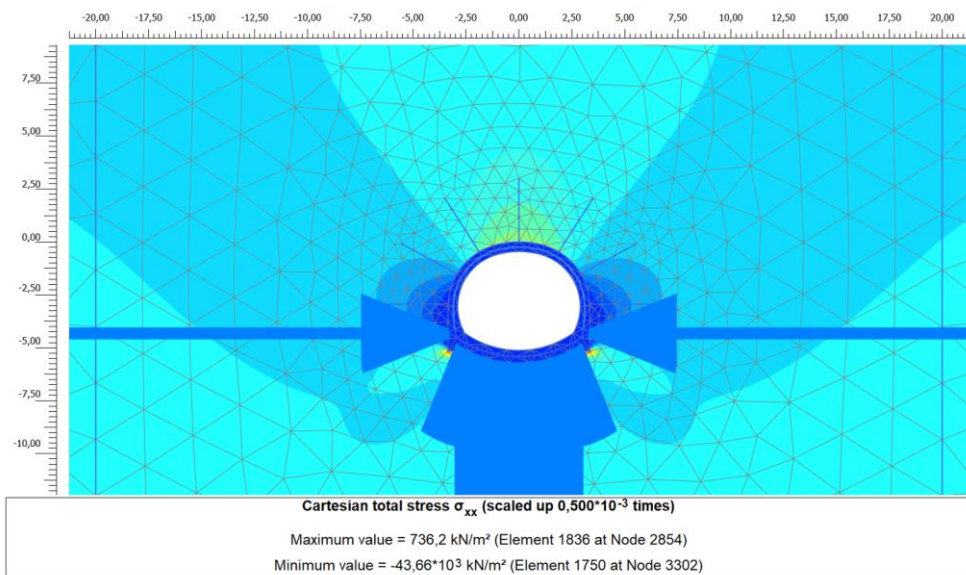


Figura 10-4: Stress σ_{xx} - Fase 8

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 91 di 159 |

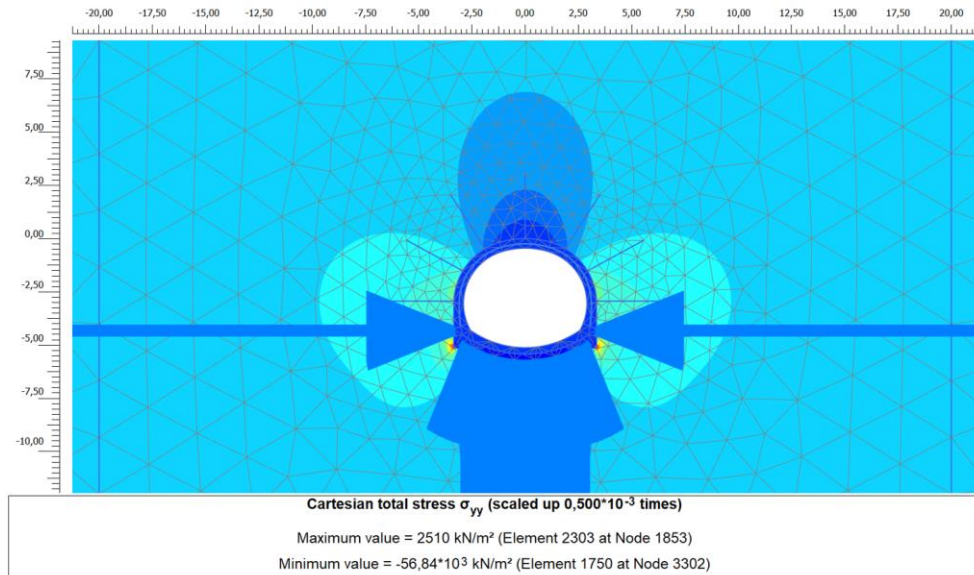


Figura 10-5: Stress σ_{yy} - Fase 8

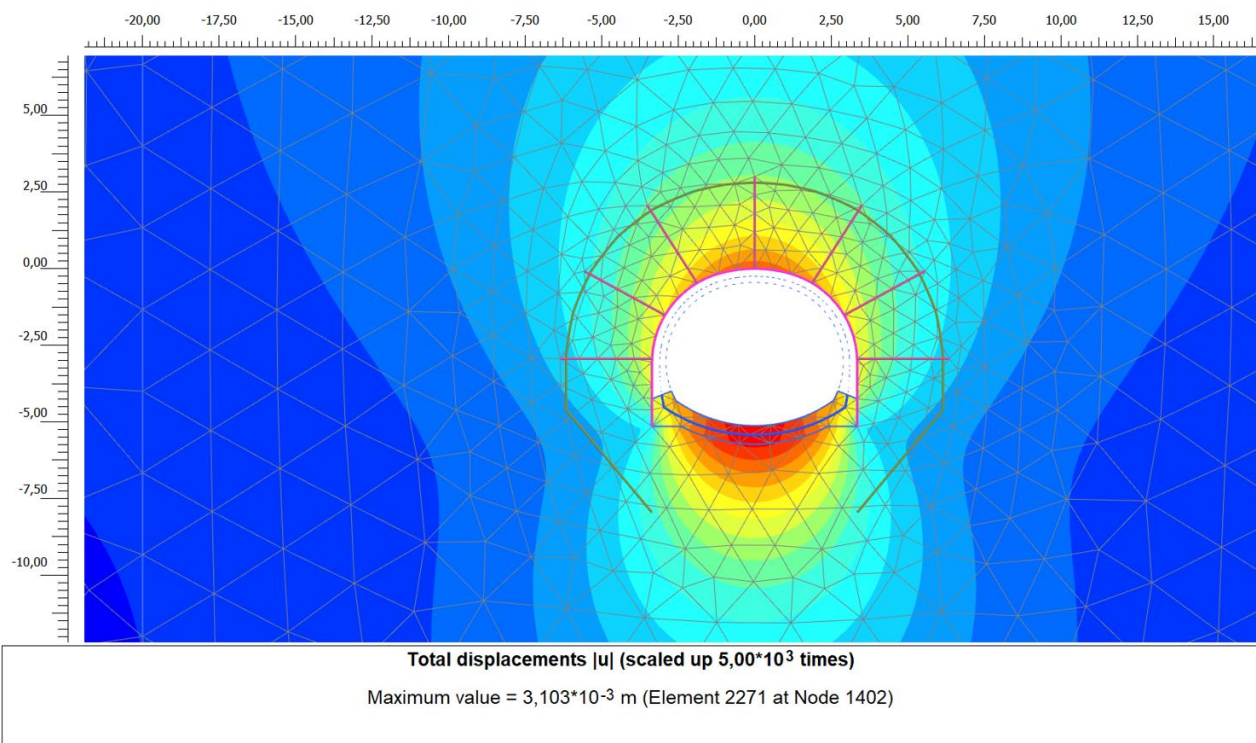


Figura 10-6: Spostamenti $|u|$ Fase 3

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 92 di 159 |

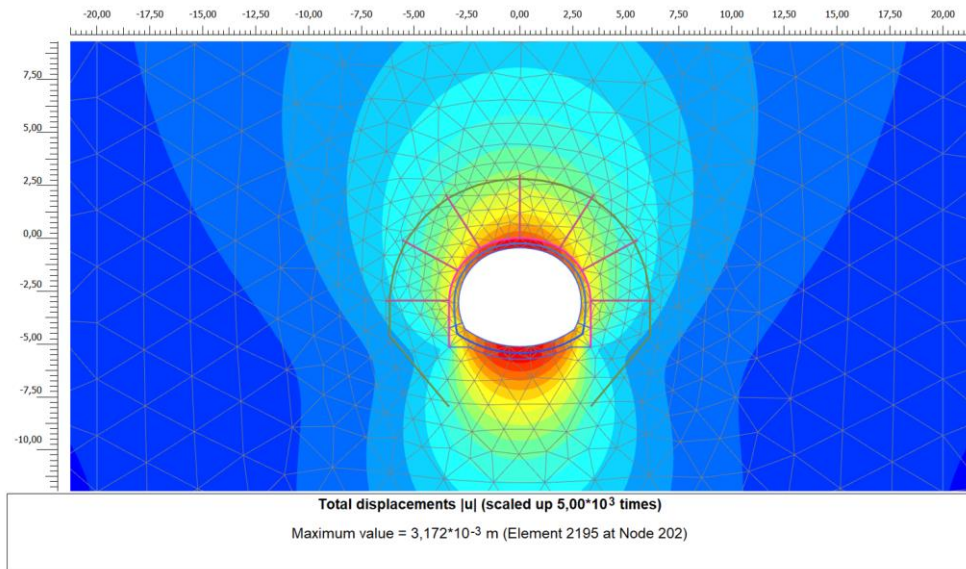


Figura 10-7: Spostamenti |u| Fase 4

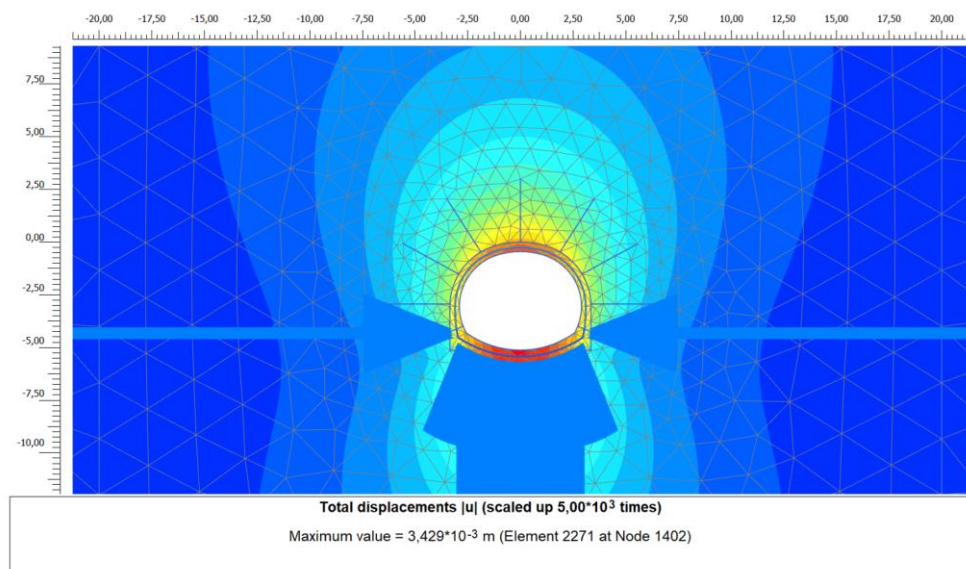


Figura 10-8: Spostamenti |u| Fase 8

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 93 di 159 |

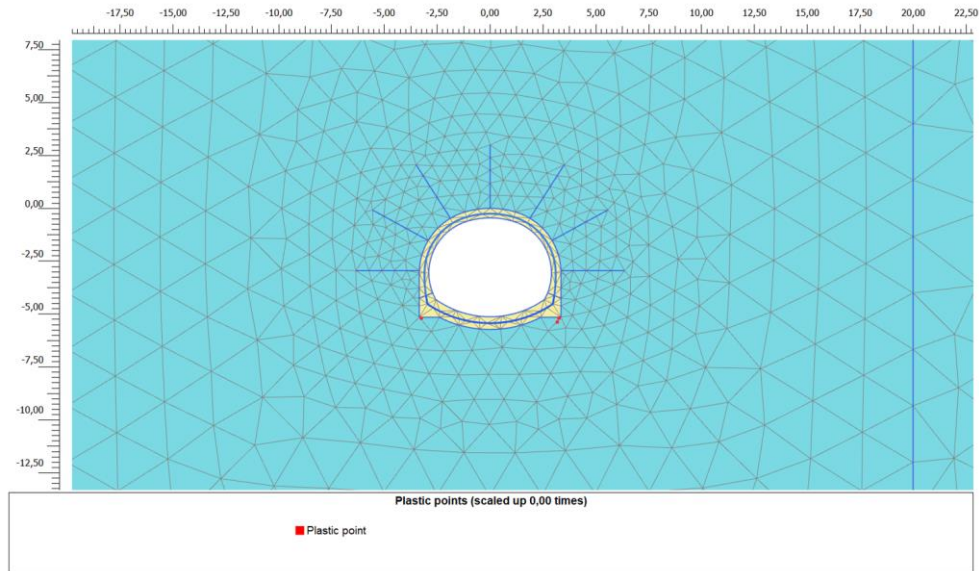


Figura 10-9: Zone di plasticizzazione Fase 8

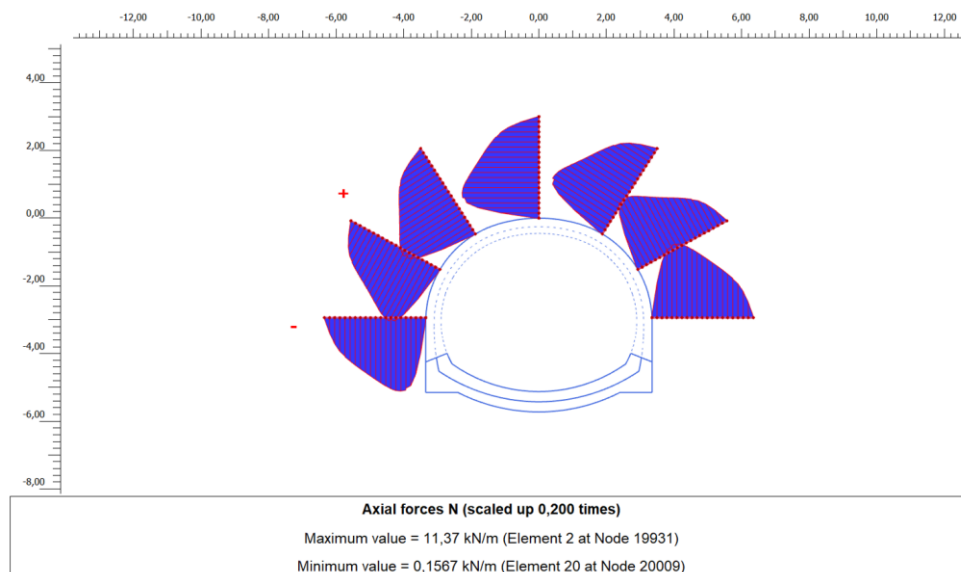


Figura 10-10: Massima sollecitazione di sforzo normale agente sui chiodi – Fase 3

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 94 di 159 |

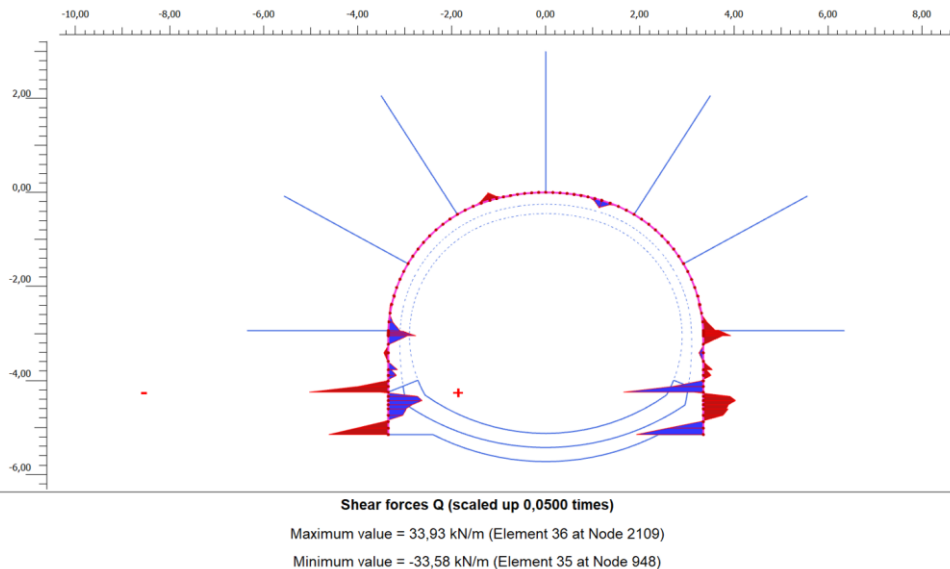


Figura 10-11: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento provvisorio Fase 3

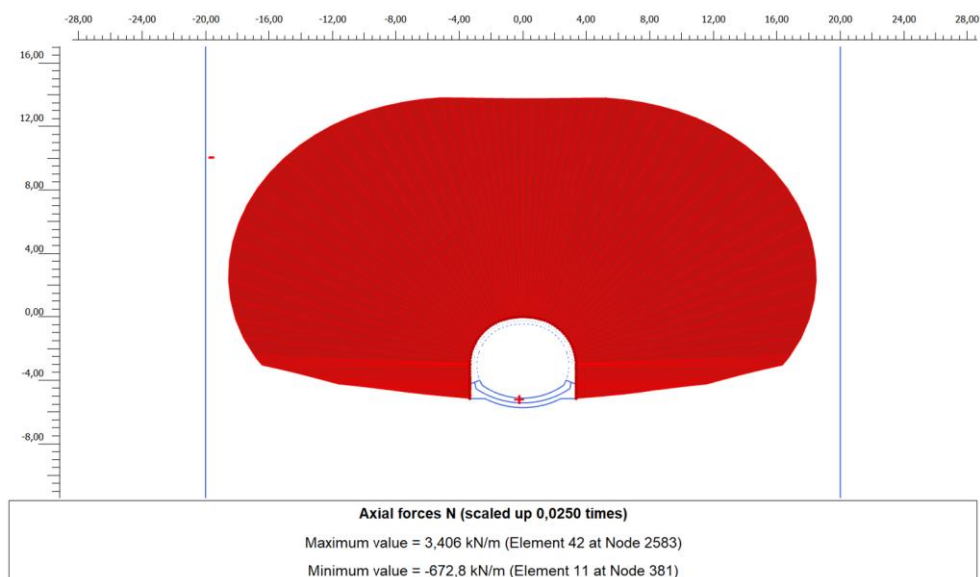


Figura 10-12: Sollecitazione Sforzo normale sul rivestimento provvisorio Fase 3

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 95 di 159 |

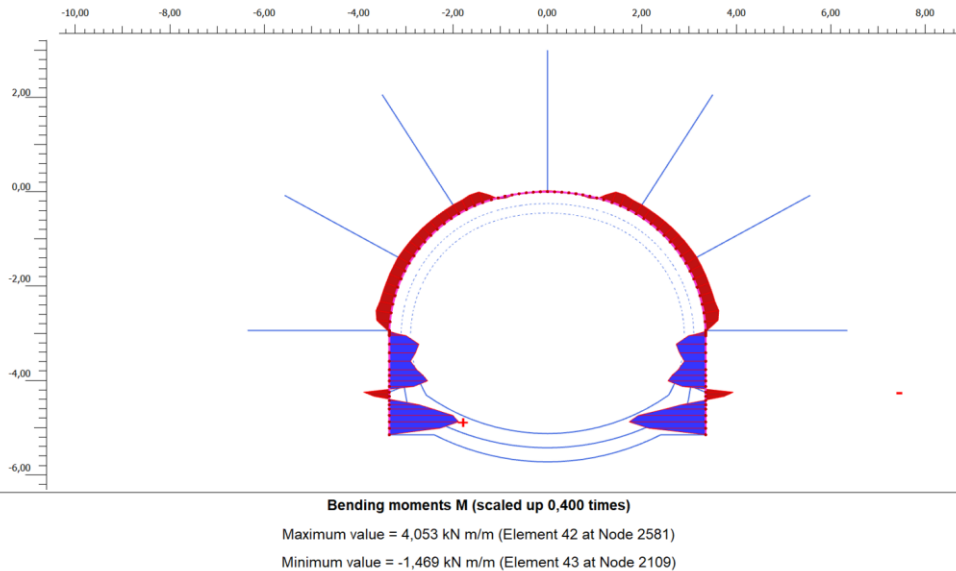


Figura 10-13: Sollecitazione momento flettente sul rivestimento provvisorio Fase 3

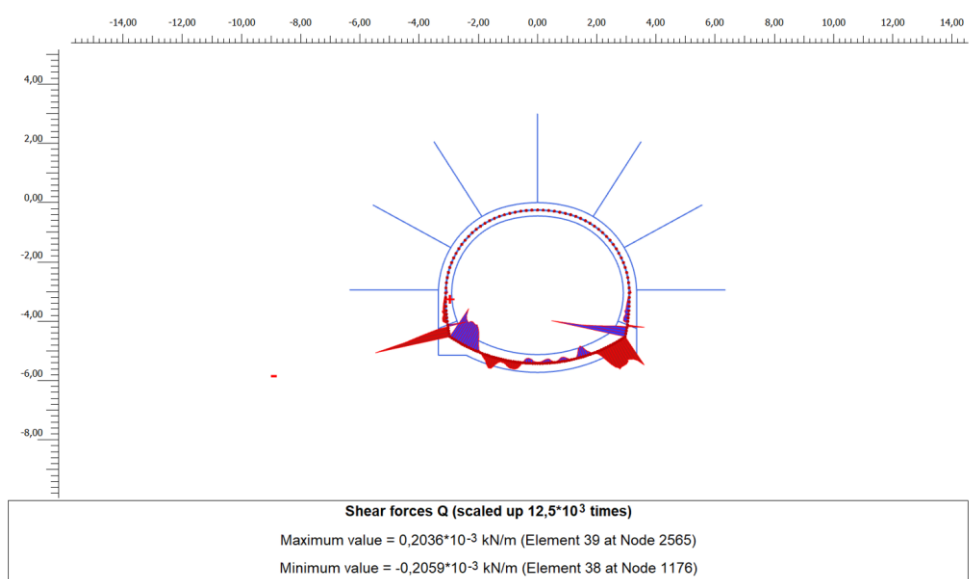


Figura 10-14: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 8

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 96 di 159 |

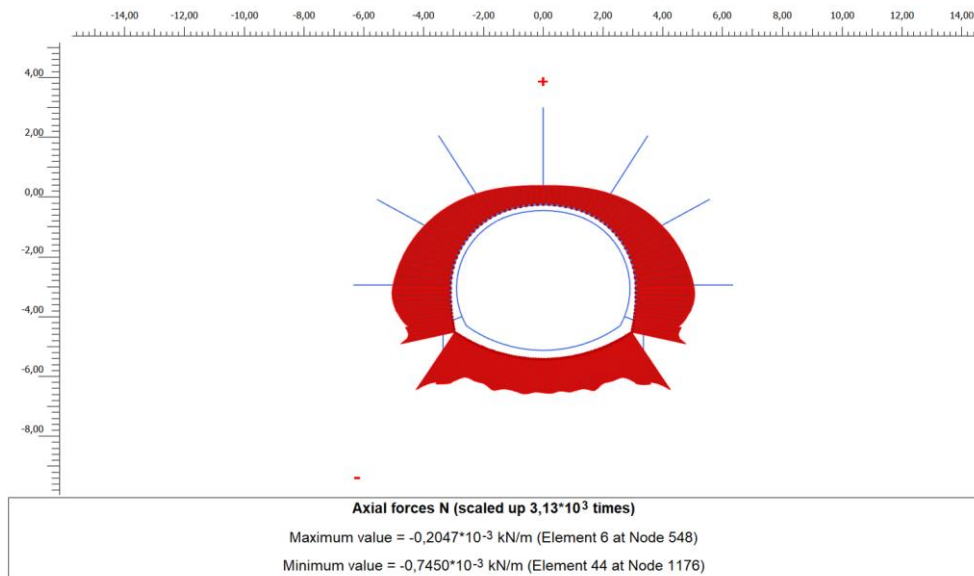


Figura 10-15: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 8

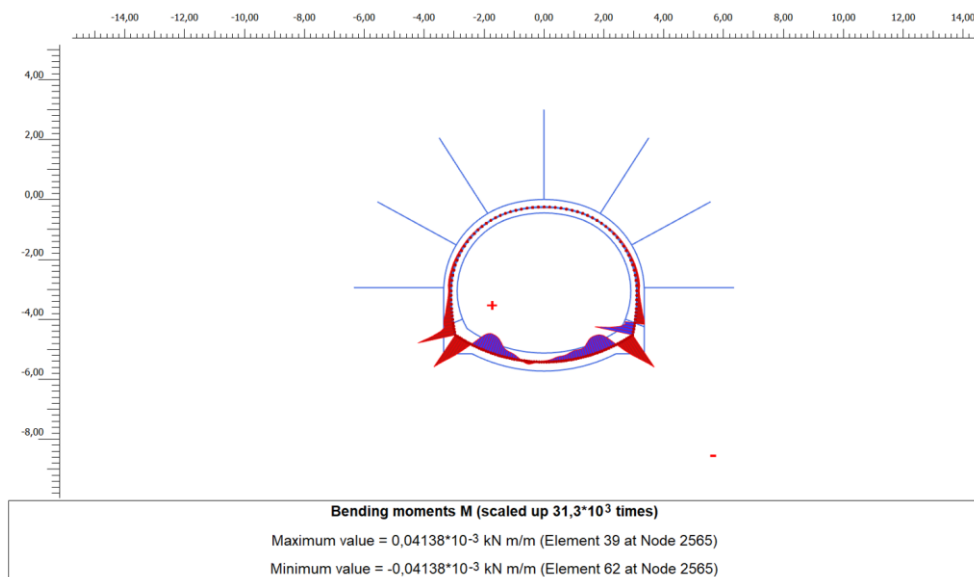


Figura 10-16: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 8

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 97 di 159 |

10.2.2 Output Sezione A1

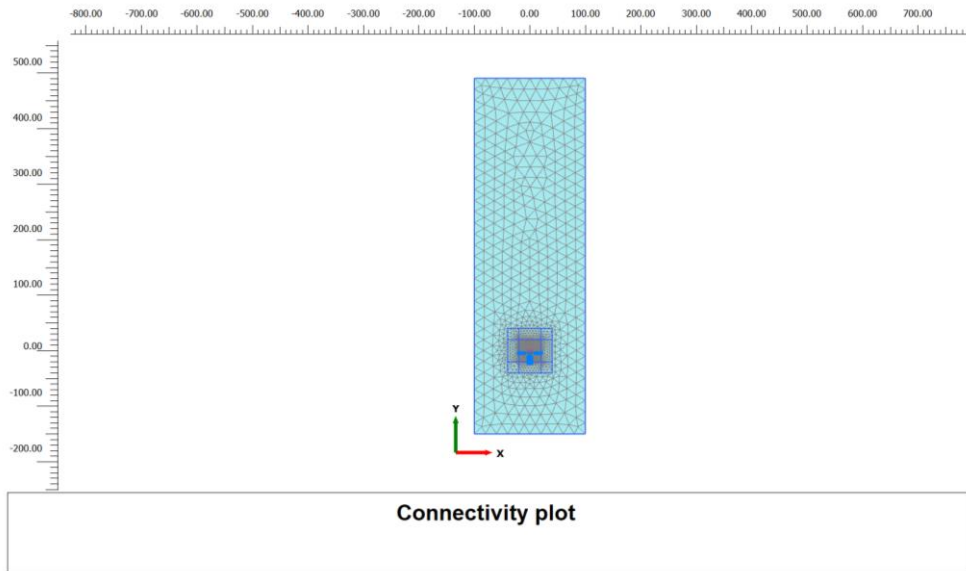


Figura 10-17: Mesh

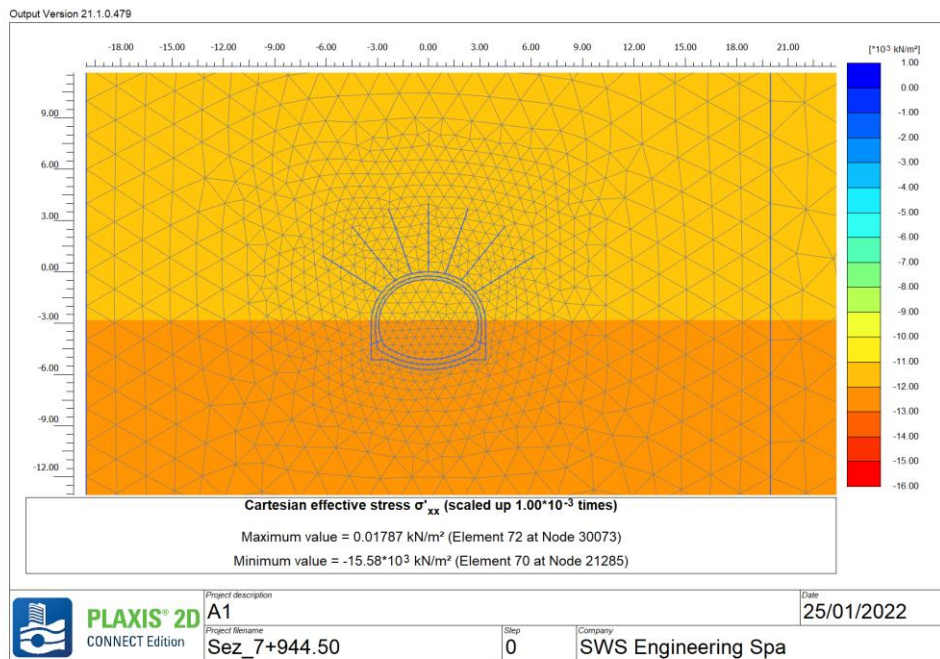


Figura 10-18: Stress σ'_{xx} - Fase 1

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 98 di 159 |

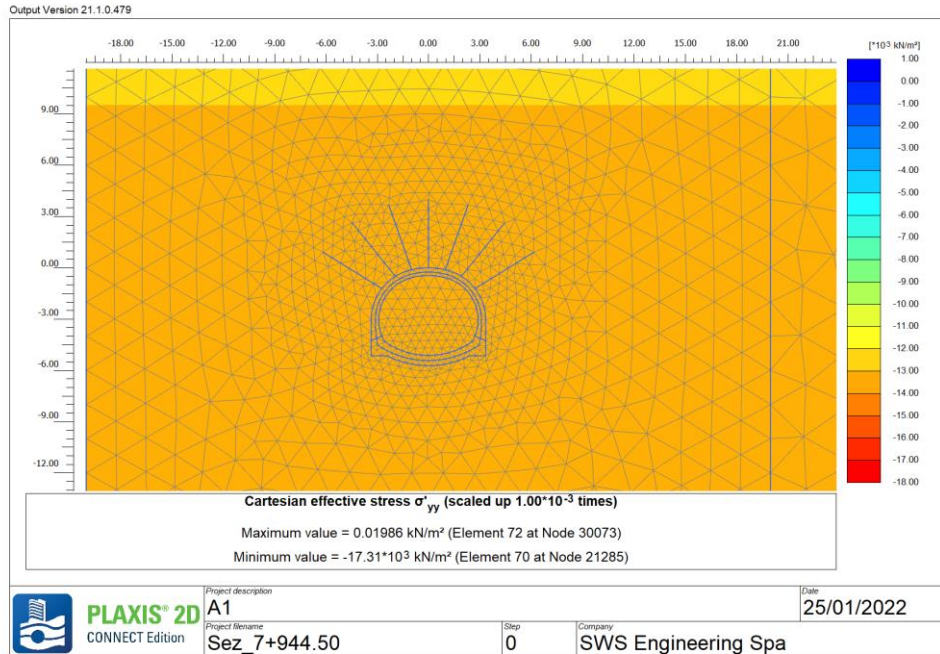


Figura 10-19: Stress σ_{yy} - Fase 1

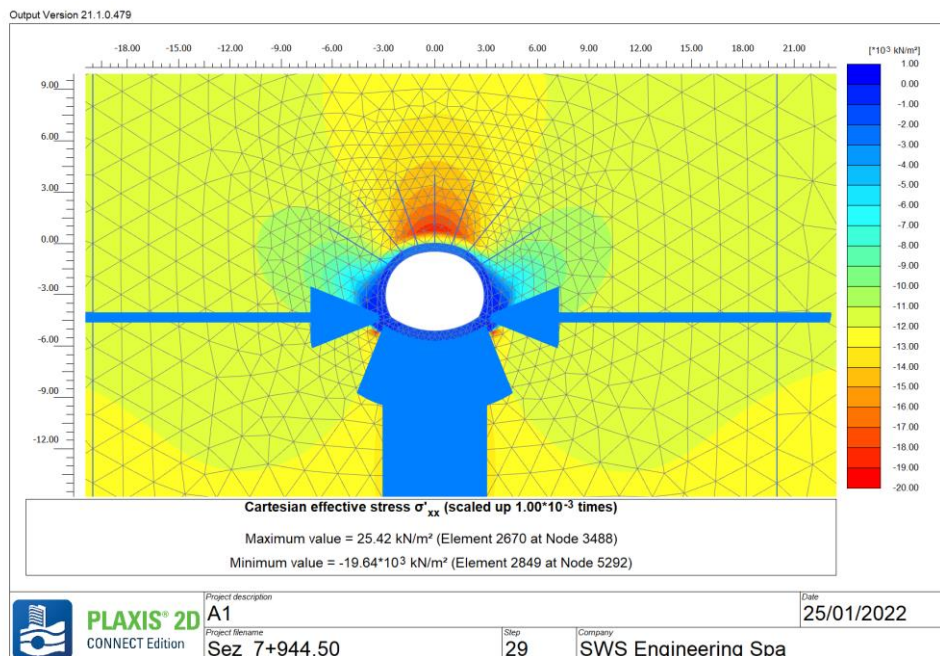


Figura 10-20: Stress σ_{xx} - Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 99 di 159 |

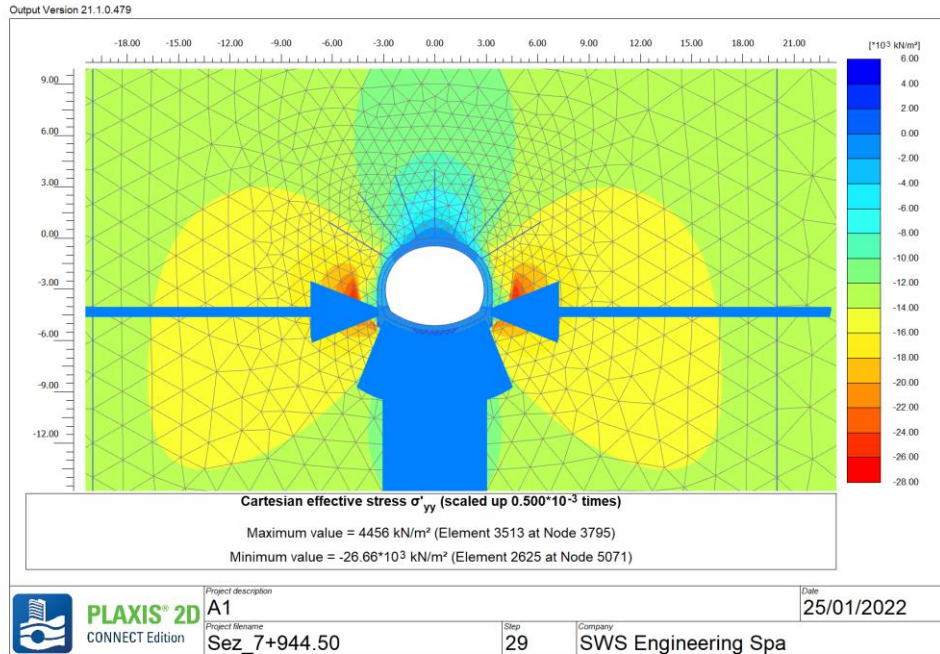


Figura 10-21: Stress σ'_{yy} - Fase 9

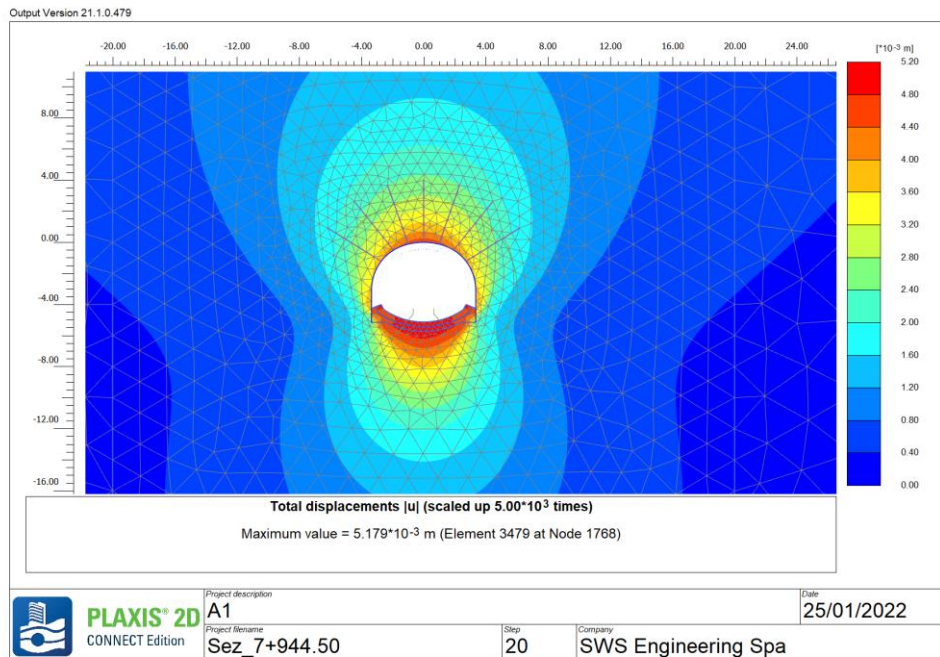


Figura 10-22: Spostamenti $|u|$ Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 100 di 159 |

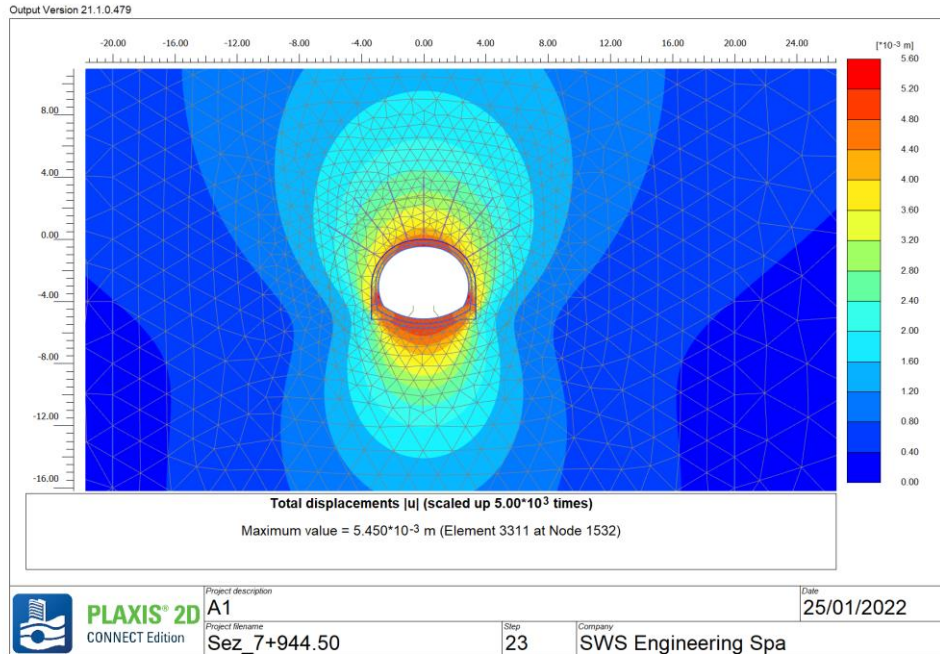


Figura 10-23: Spostamenti $|u|$ Fase 7

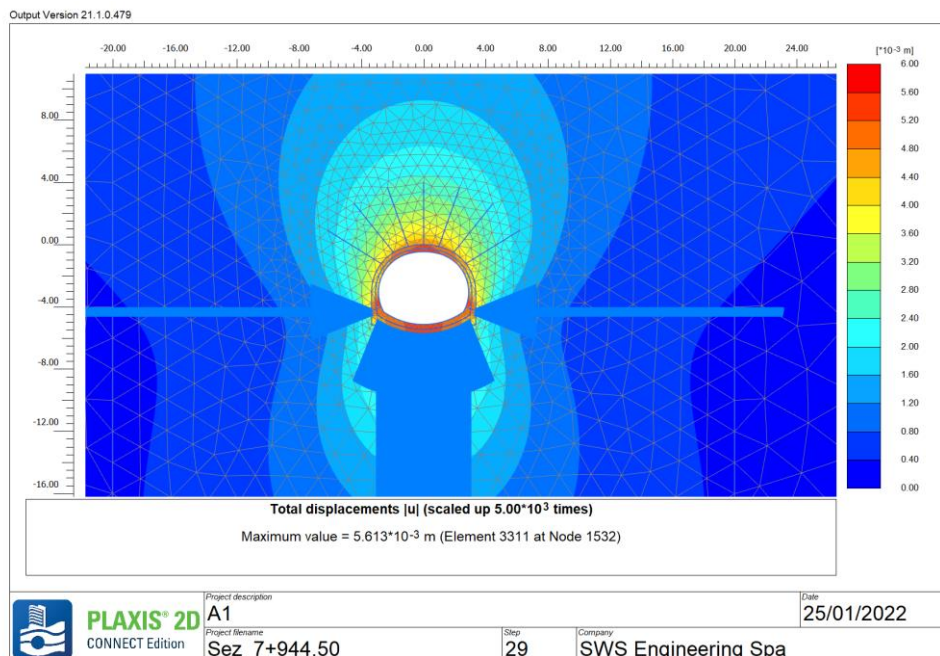


Figura 10-24: Spostamenti $|u|$ Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 101 di 159 |

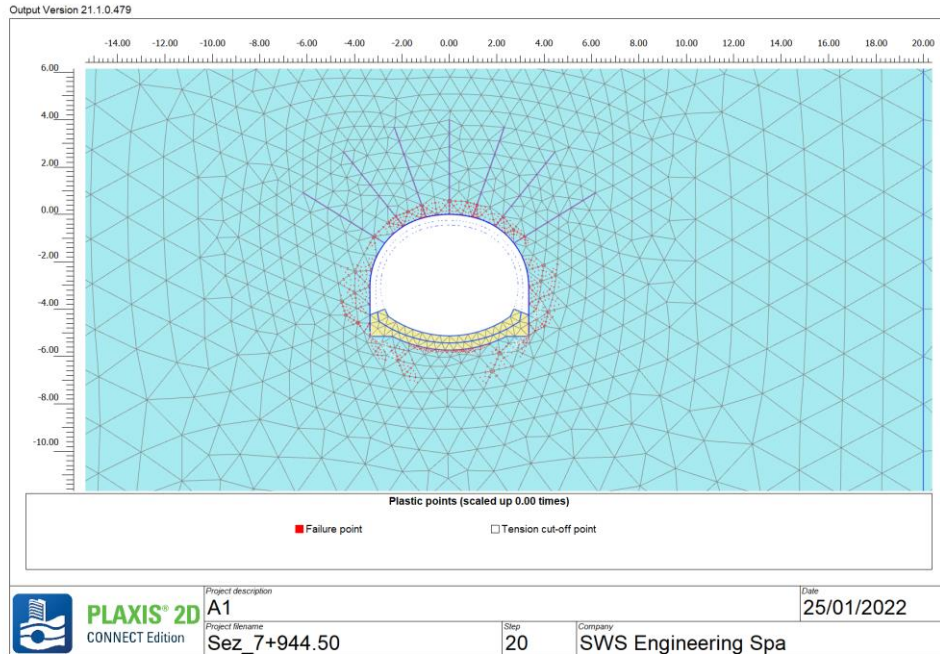


Figura 10-25: Zone di plasticizzazione Fase 6

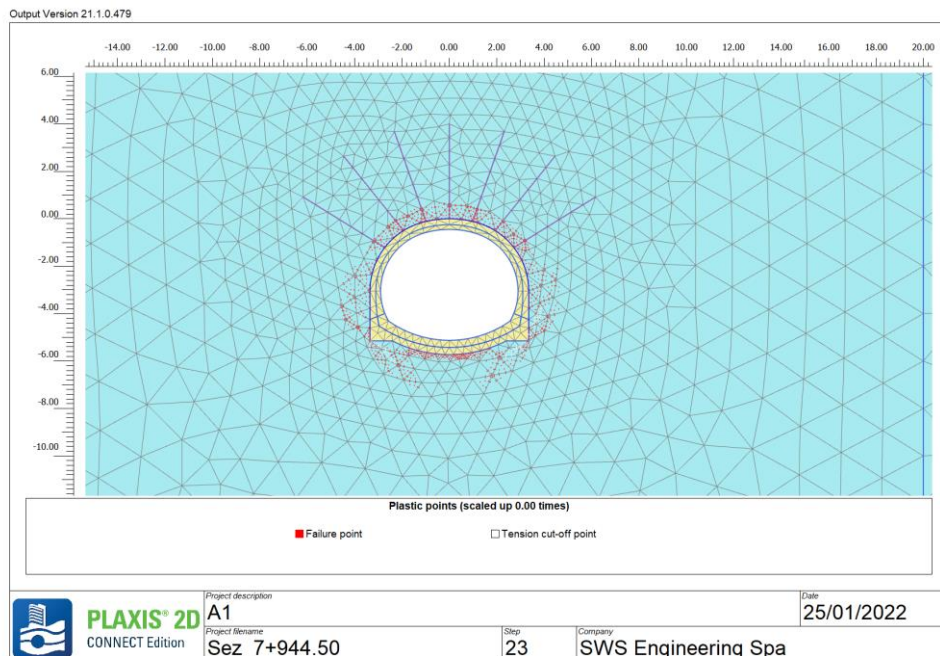


Figura 10-26: Zone di plasticizzazione Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 102 di 159 |

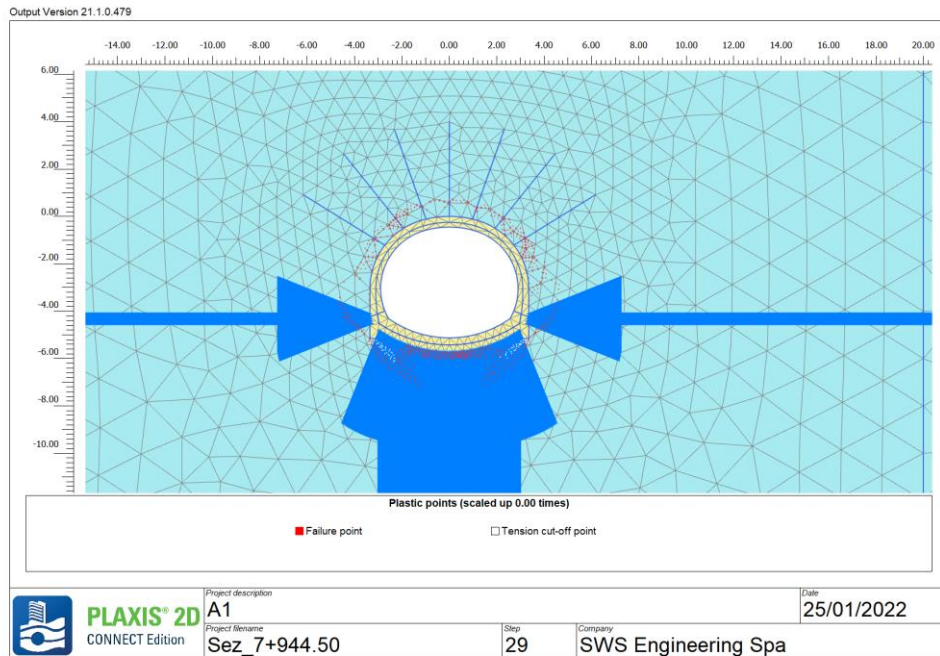


Figura 10-27: Zone di plasticizzazione Fase 9

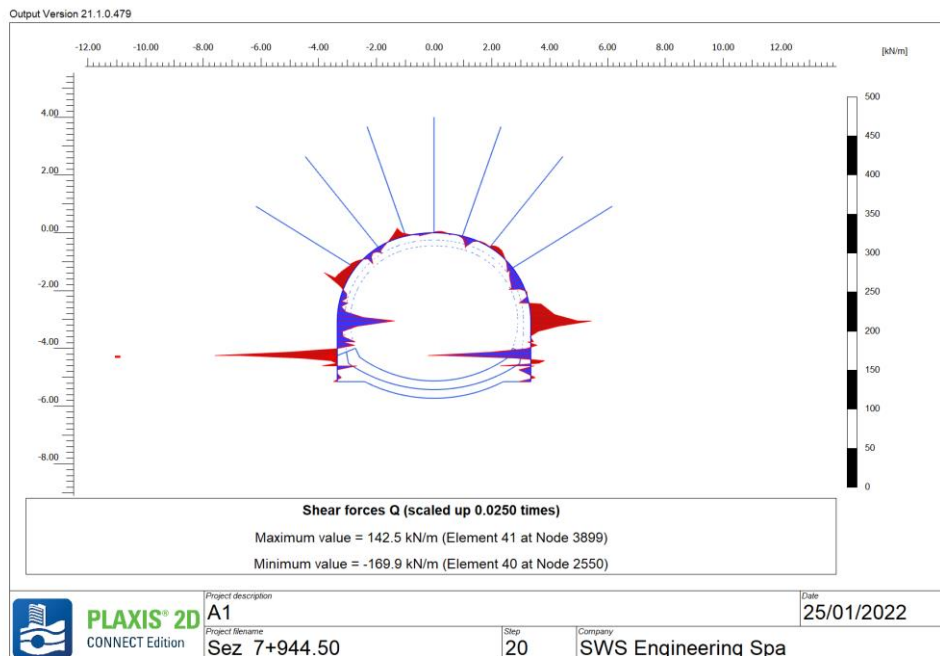


Figura 10-28: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 103 di 159 |

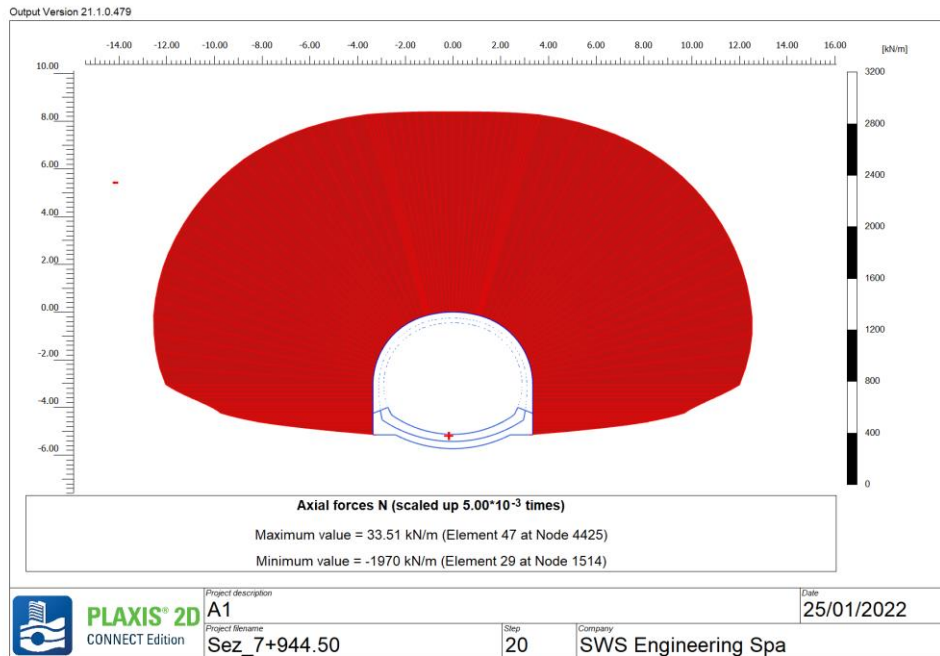


Figura 10-29: Sollecitazione Sforzo normale sul rivestimento provvisorio Fase 6

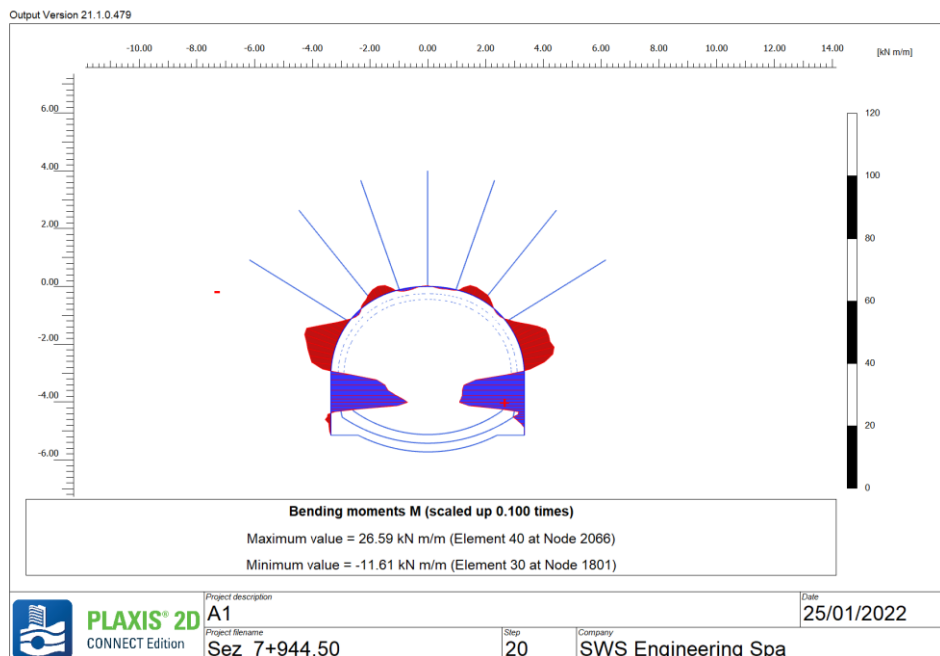


Figura 10-30: Sollecitazione momento flettente sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 104 di 159 |

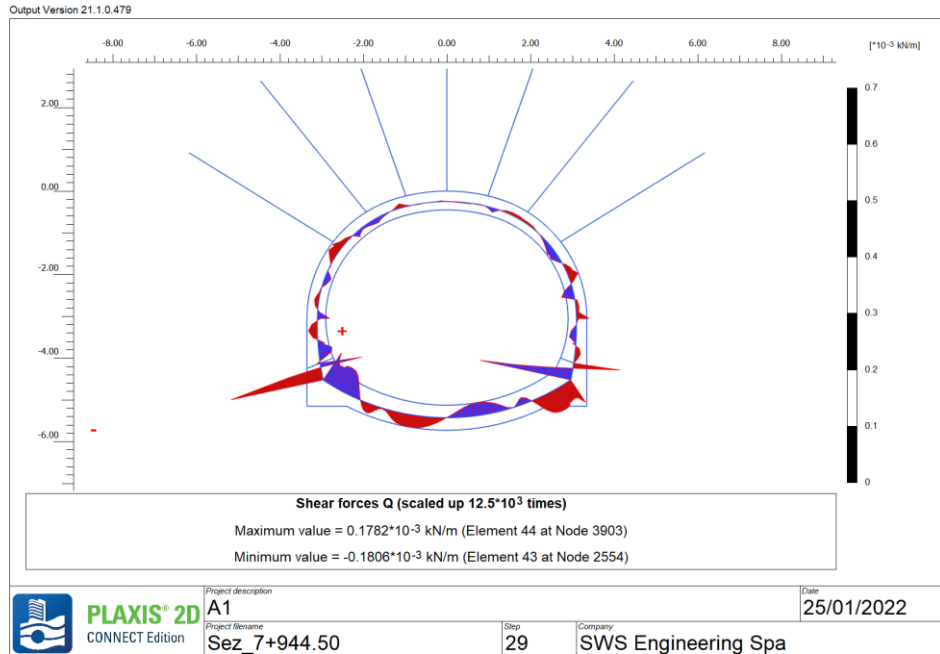


Figura 10-31: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 9

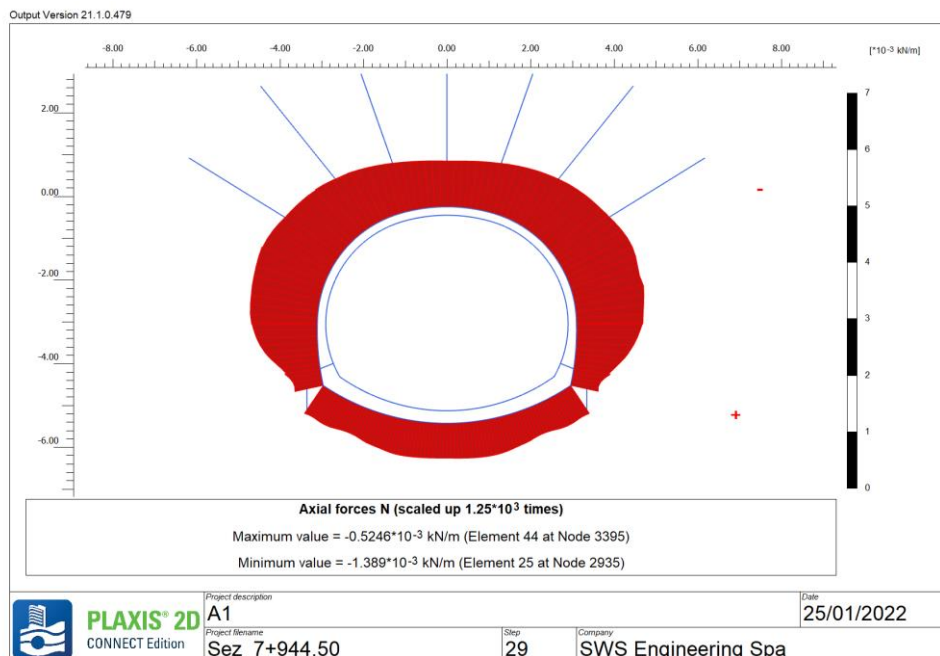


Figura 10-32: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 105 di 159 |

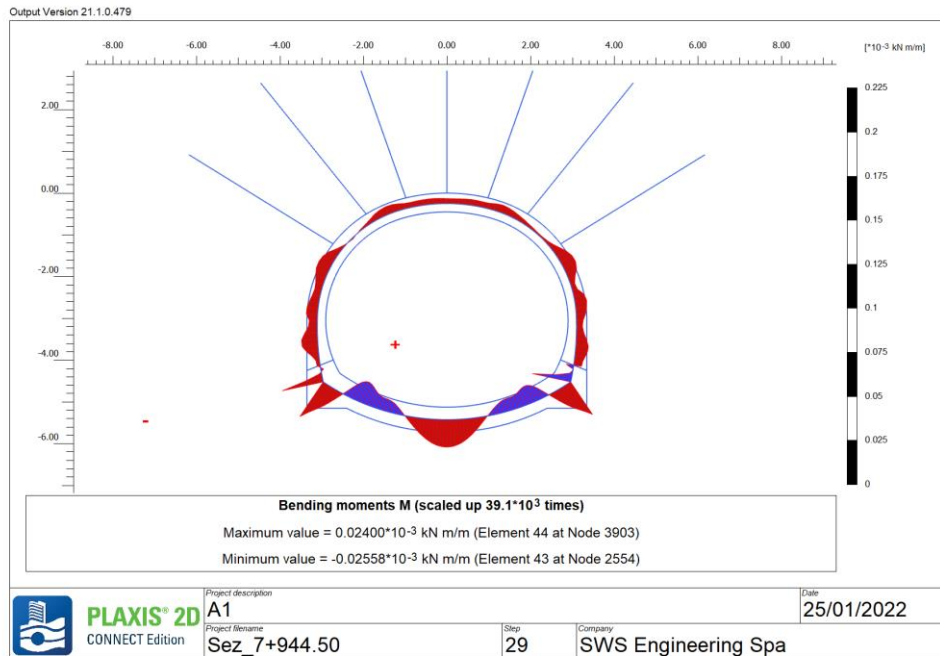


Figura 10-33: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 9

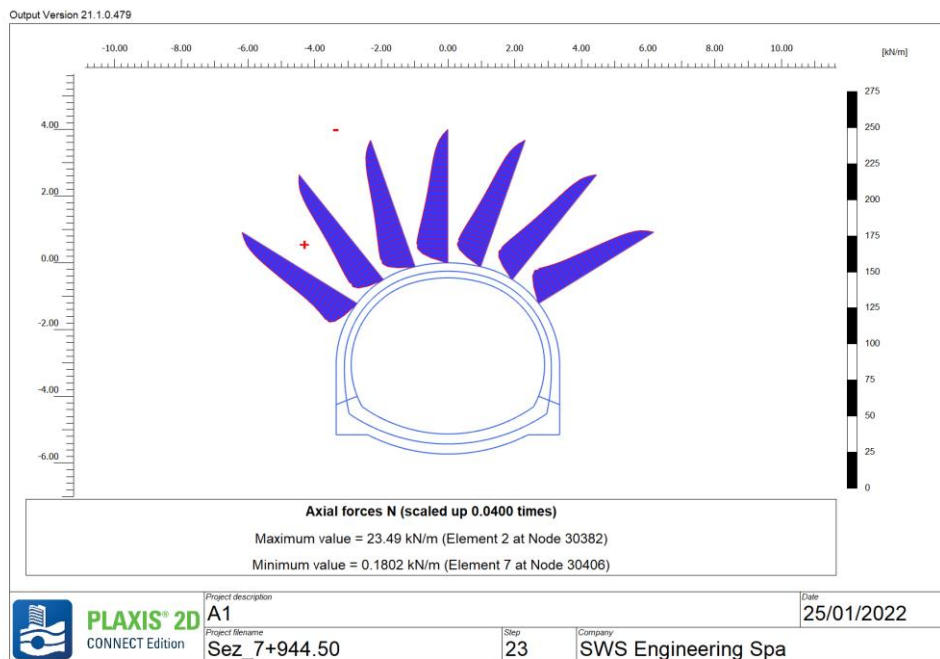


Figura 10-34: Massima sollecitazione di sforzo normale agente sui chiodi – Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 106 di 159 |

10.2.3 Output Sezione B

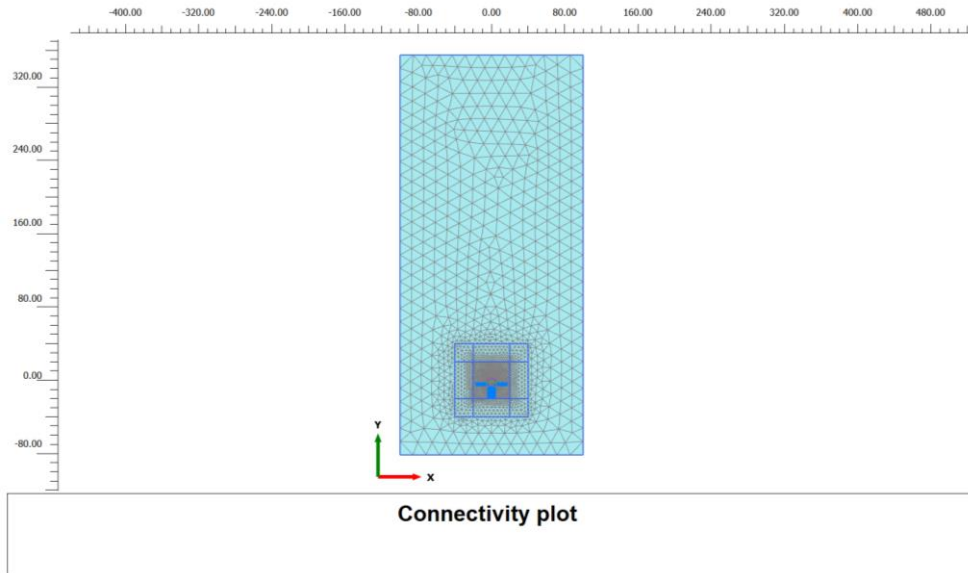


Figura 10-35: Mesh

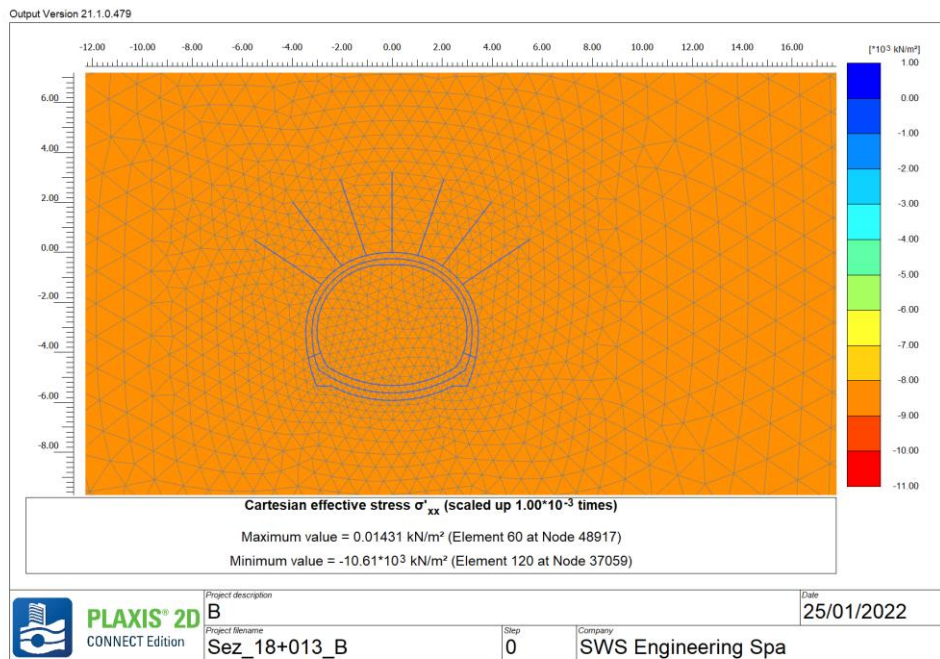


Figura 10-36: Stress σ'_{xx} - Fase 1

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 107 di 159 |

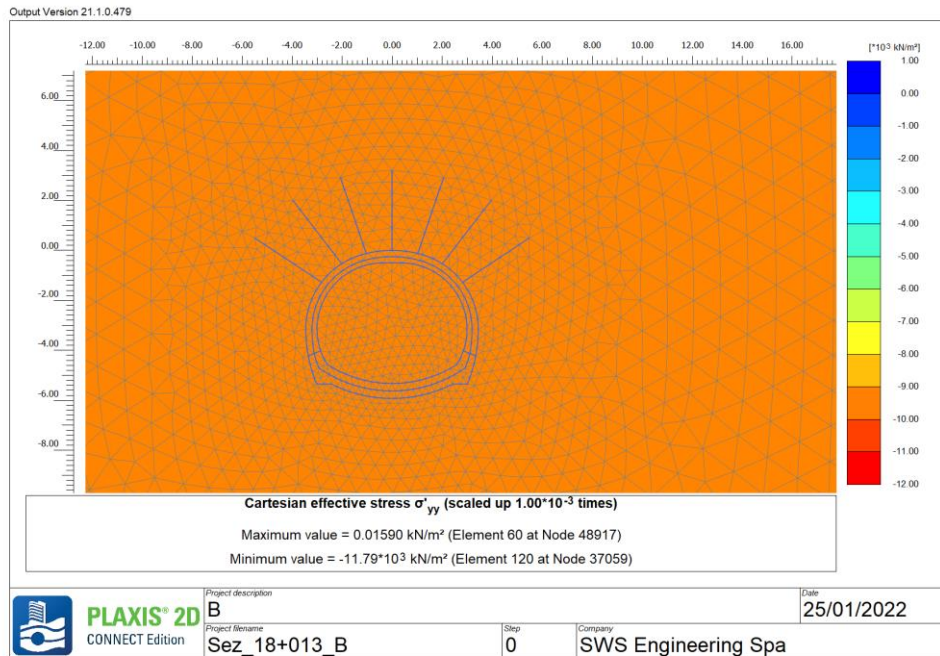


Figura 10-37: Stress σ_{yy} - Fase 1

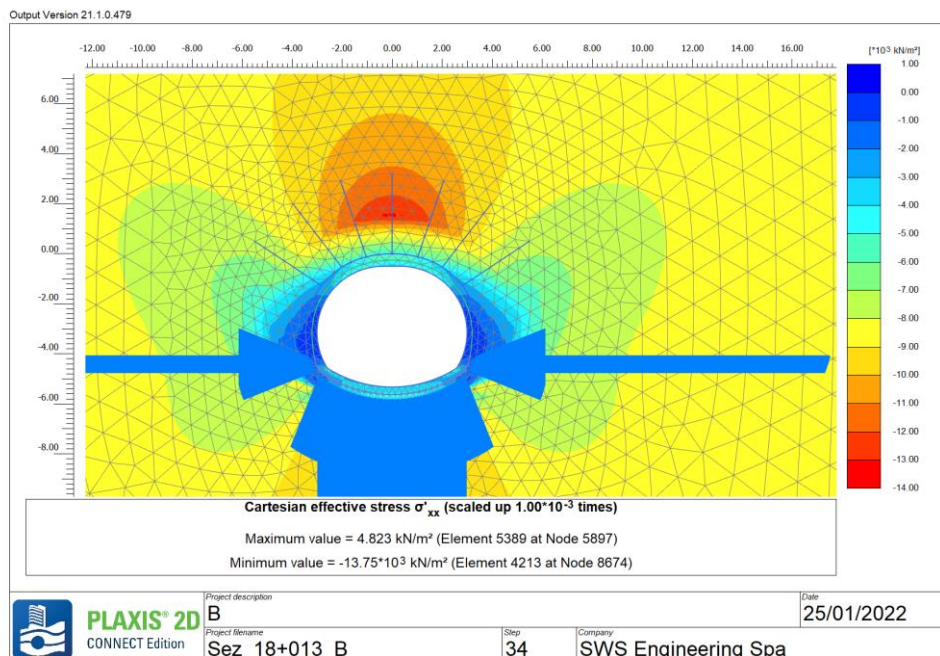


Figura 10-38: Stress σ_{xx} - Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 108 di 159 |

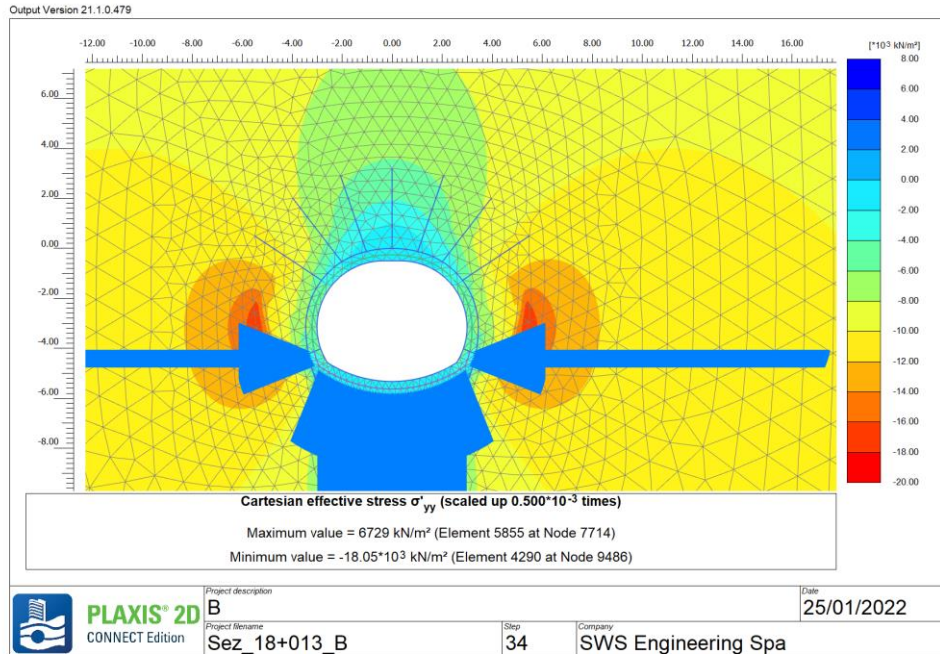


Figura 10-39: Stress σ'_{yy} - Fase 9

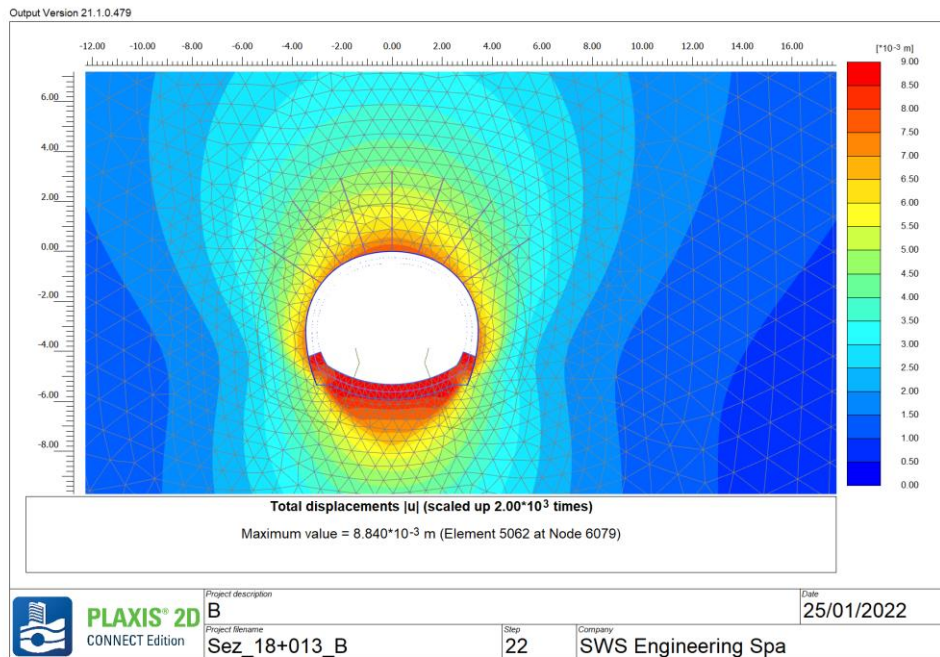


Figura 10-40: Spostamenti $|u|$ Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 109 di 159 |

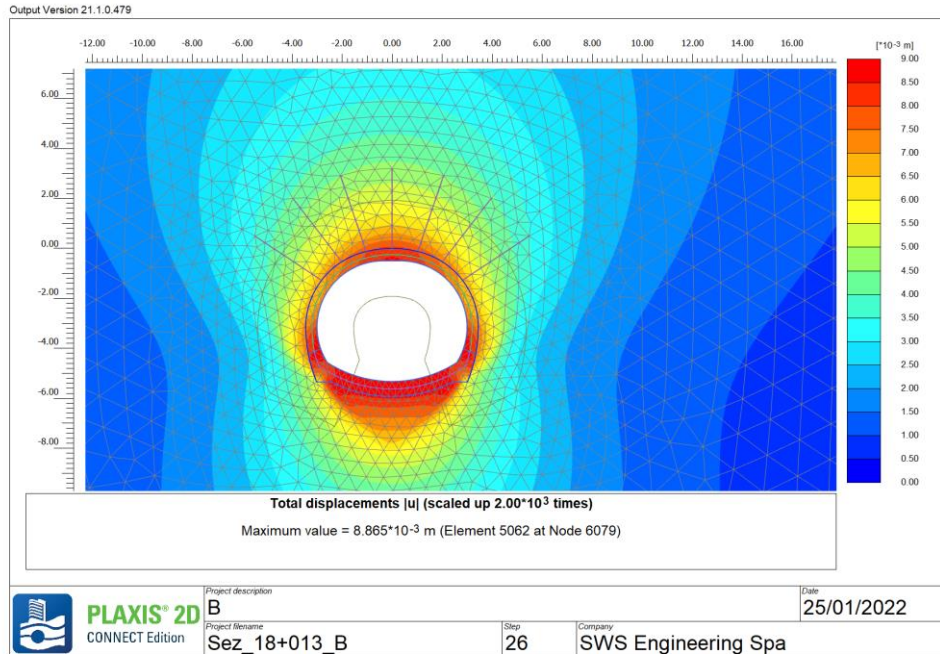


Figura 10-41: Spostamenti $|u|$ Fase 7

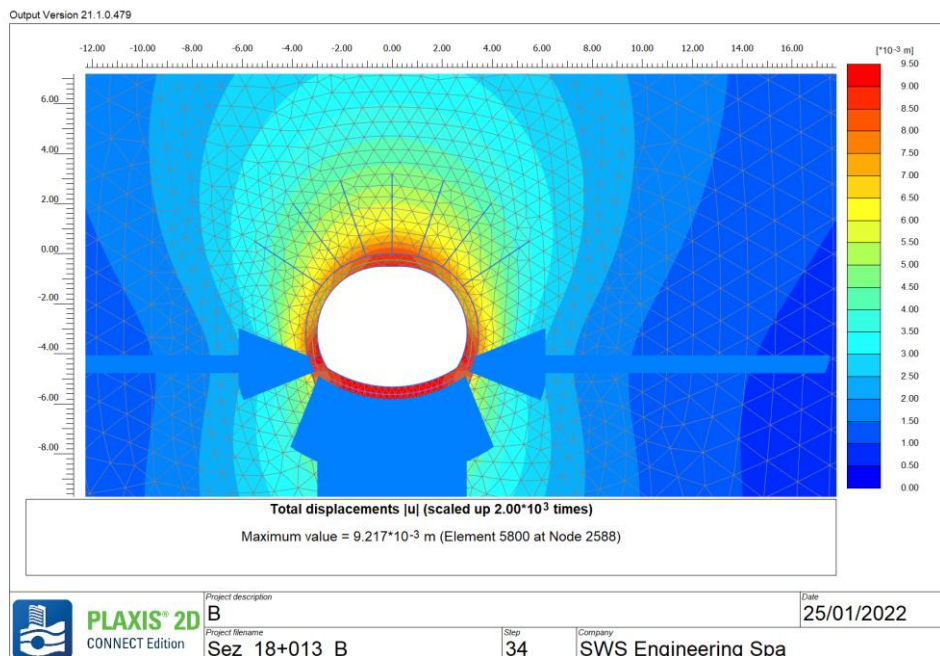


Figura 10-42: Spostamenti $|u|$ Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 110 di 159 |

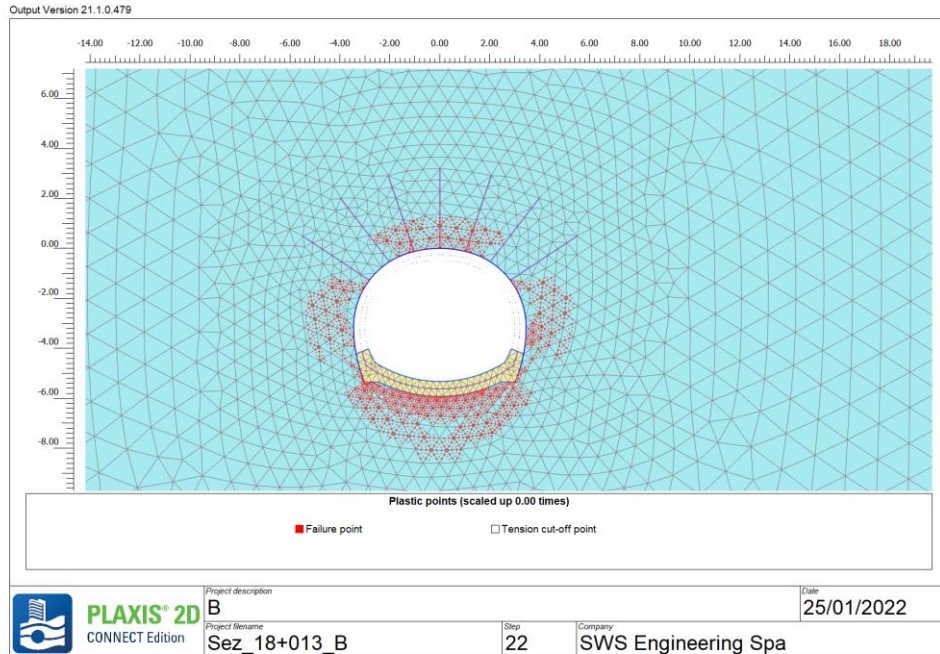


Figura 10-43: Zone di plasticizzazione Fase 6

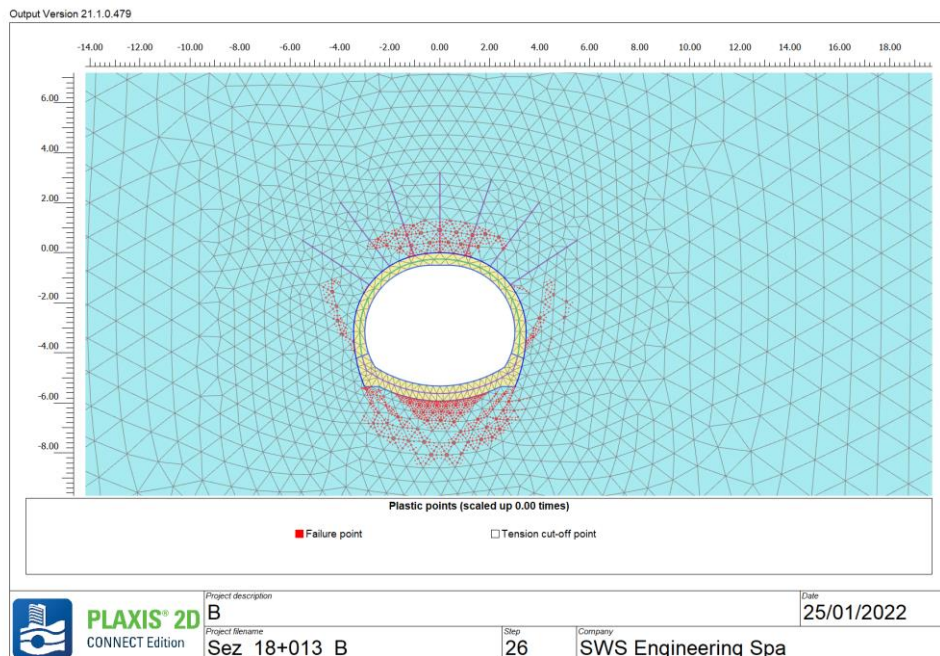


Figura 10-44: Zone di plasticizzazione Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 111 di 159 |

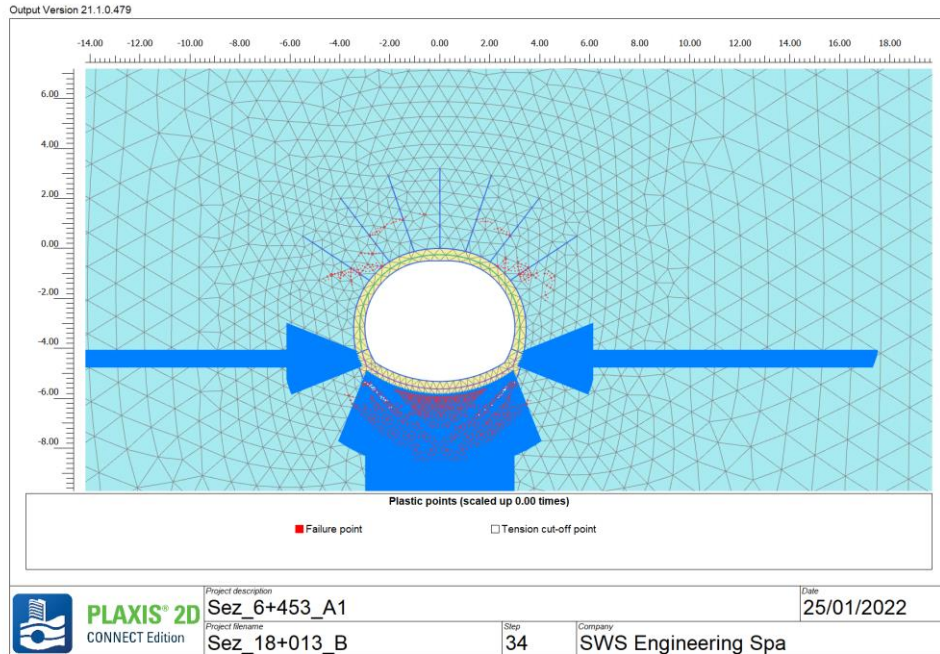


Figura 10-45: Zone di plasticizzazione Fase 9

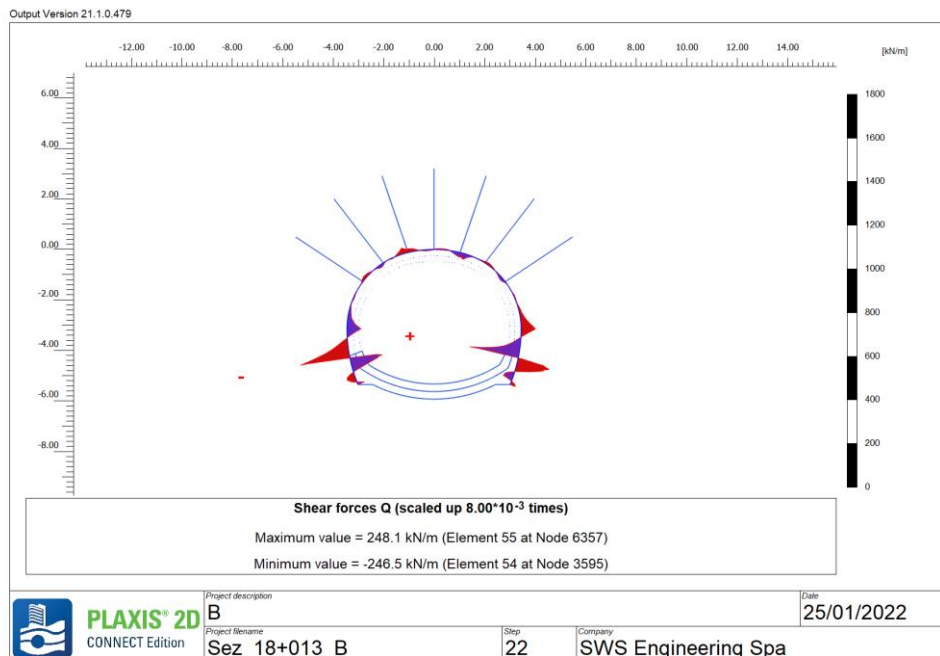


Figura 10-46: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 112 di 159 |

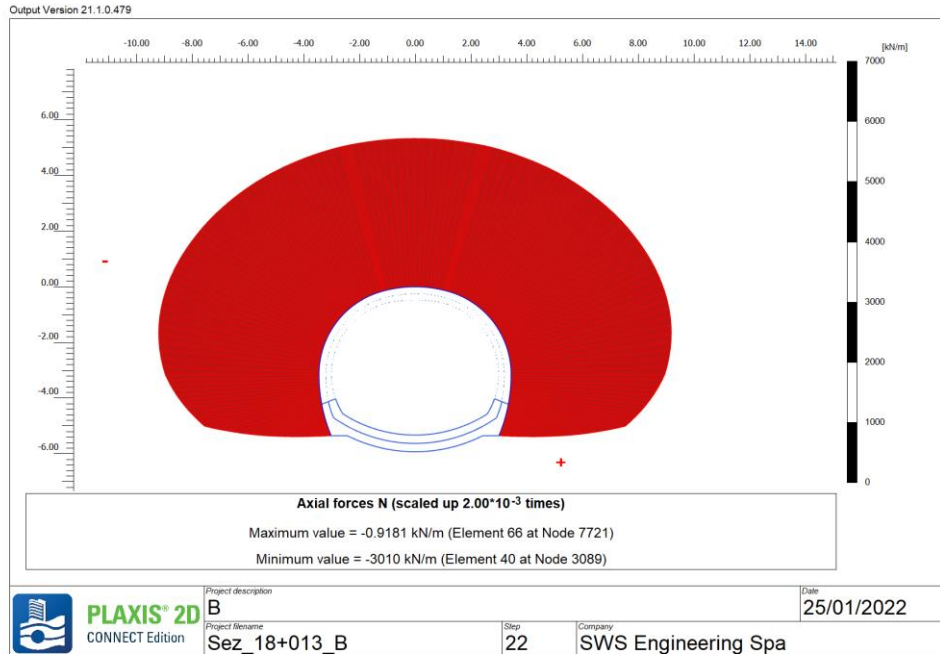


Figura 10-47: Sollecitazione Sforzo normale sul rivestimento provvisorio Fase 6

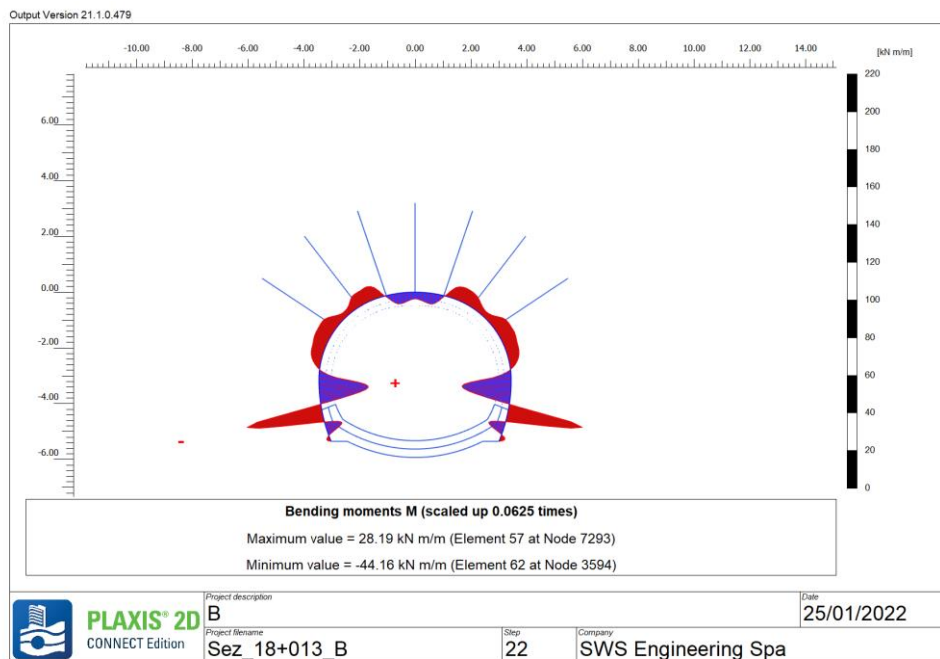


Figura 10-48: Sollecitazione momento flettente sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 113 di 159 |

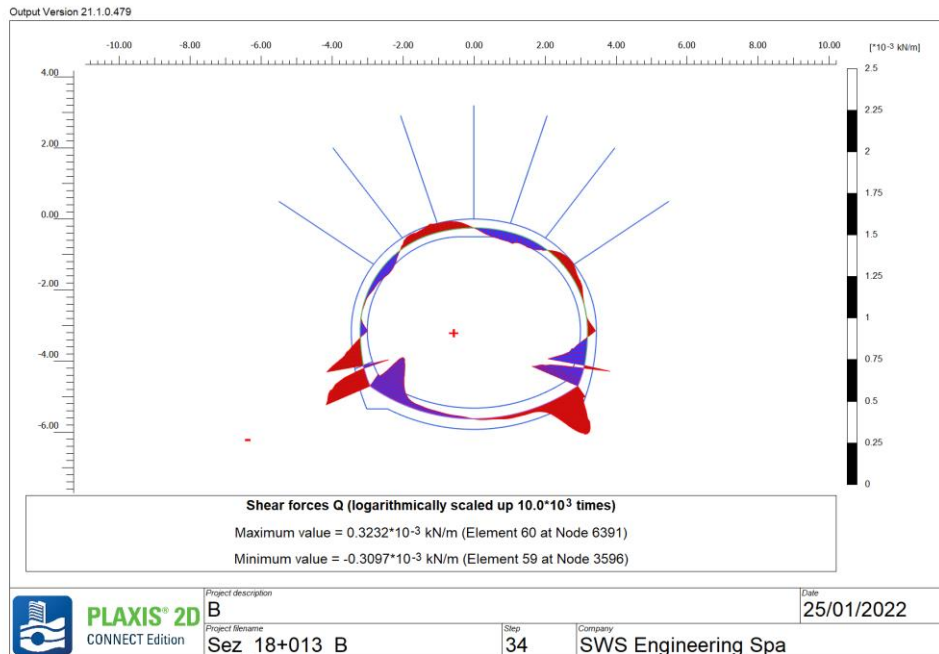


Figura 10-49: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 9

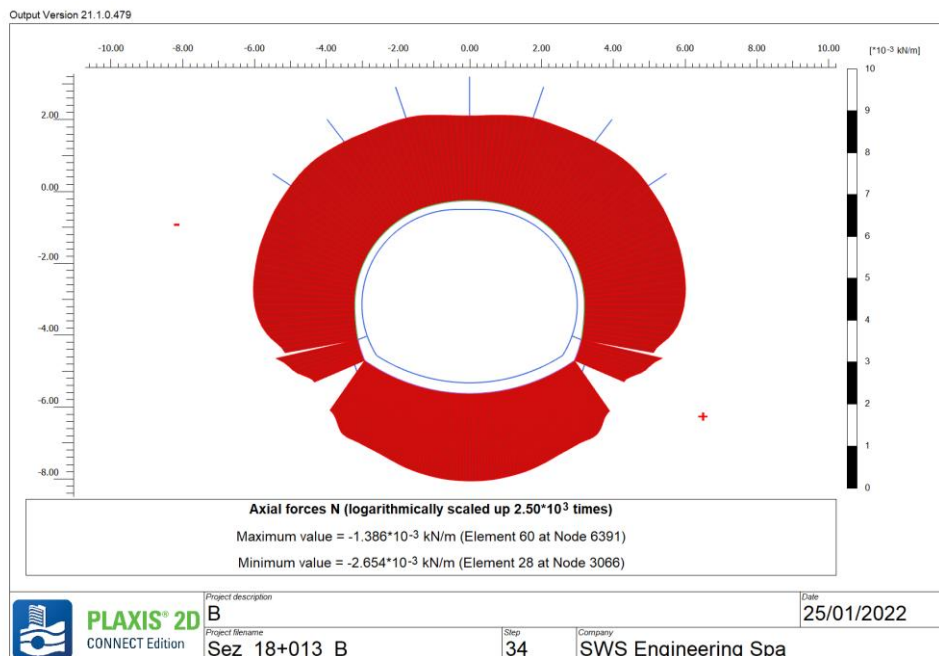


Figura 10-50: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 114 di 159 |

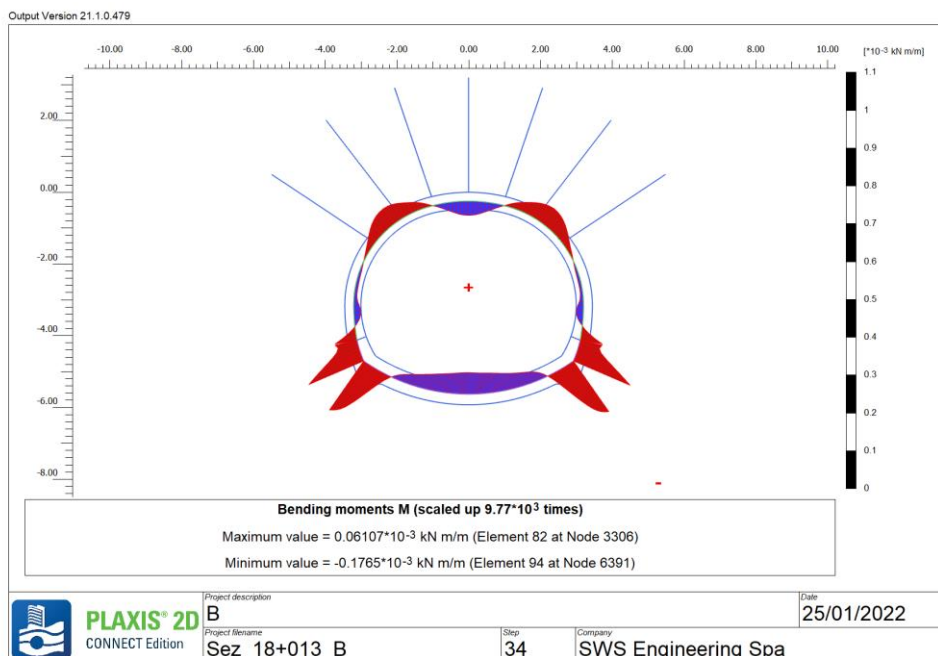


Figura 10-51: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 9

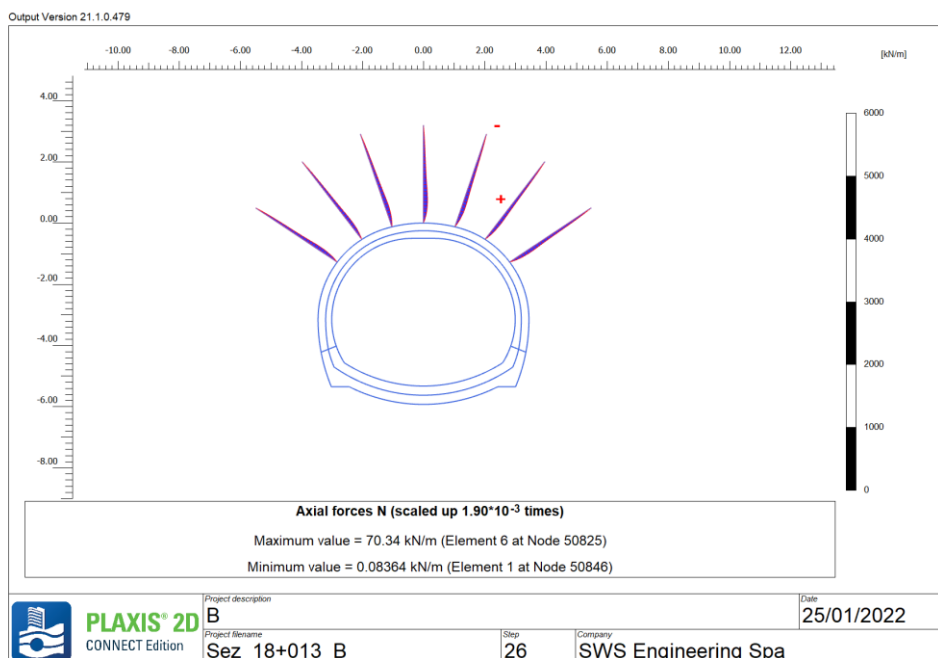


Figura 10-52: Massima sollecitazione di sforzo normale agente sui chiodi – Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 115 di 159 |

10.2.4 Output Sezione C

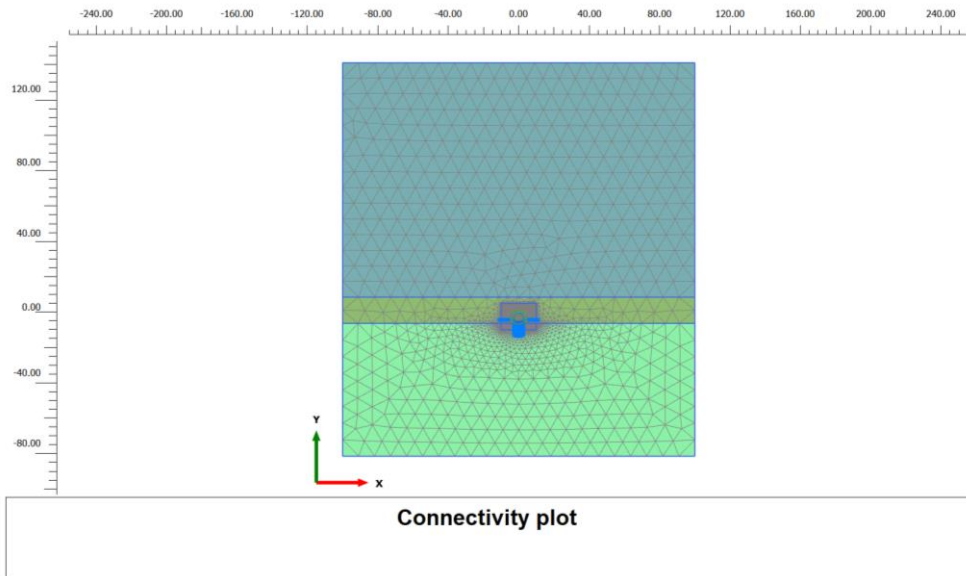


Figura 10-53: Mesh

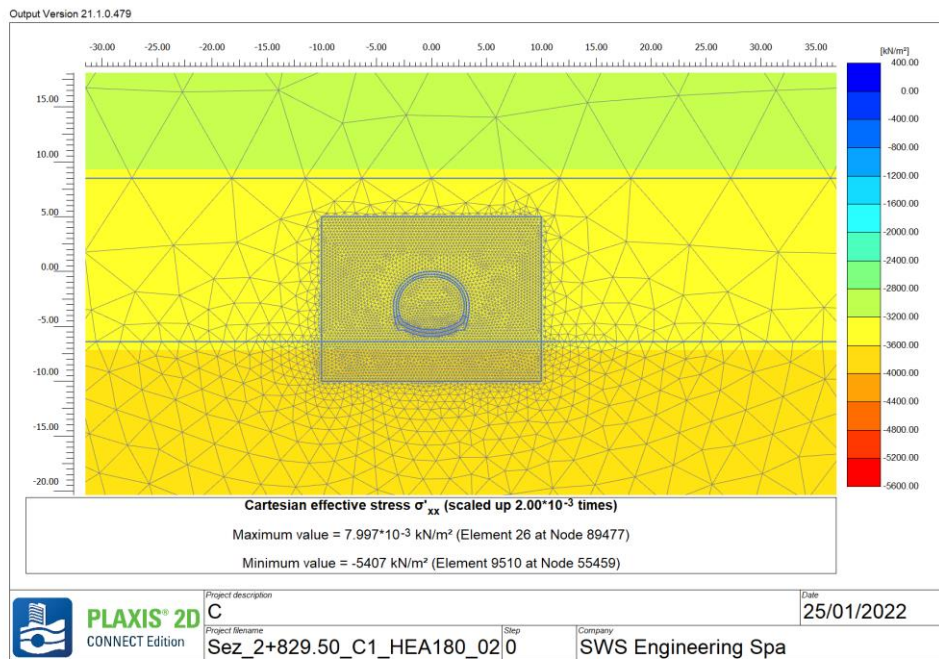


Figura 10-54: Stress σ'_{xx} - Fase 1

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 116 di 159 |

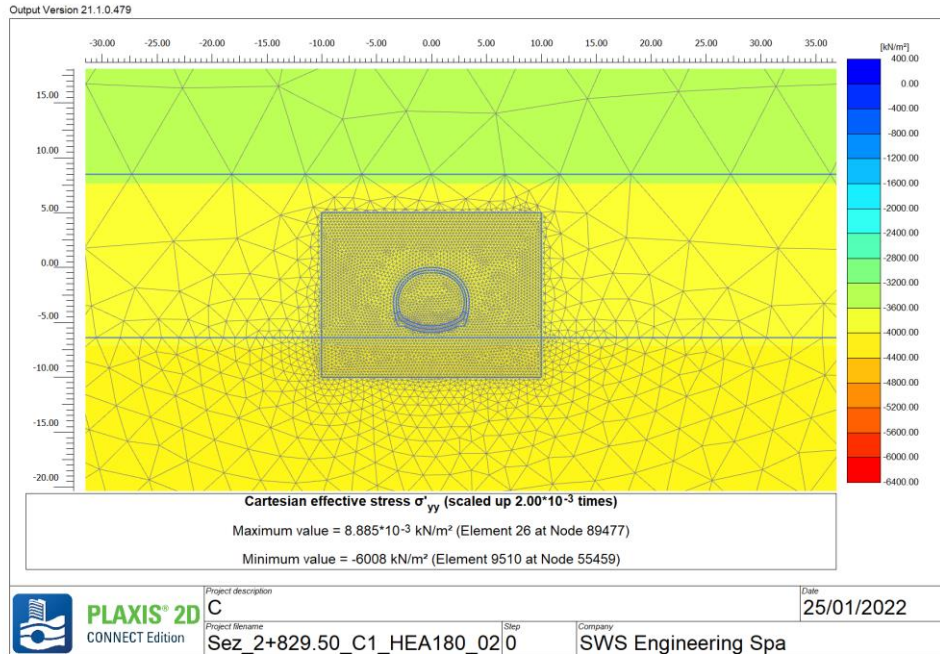


Figura 10-55: Stress σ_{yy} - Fase 1

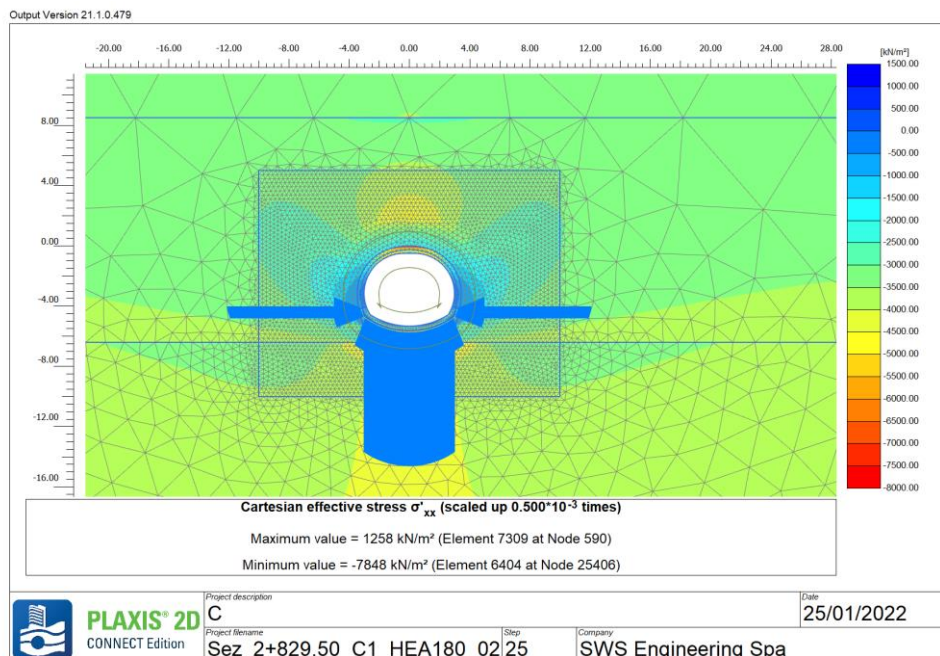


Figura 10-56: Stress σ_{xx} - Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 117 di 159 |

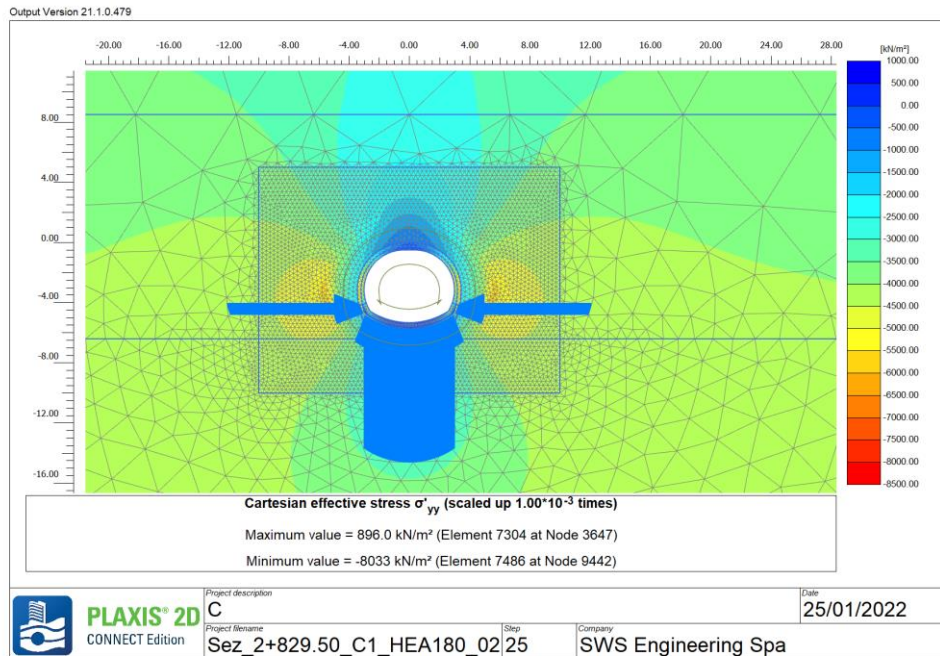


Figura 10-57: Stress σ'_{yy} - Fase 7

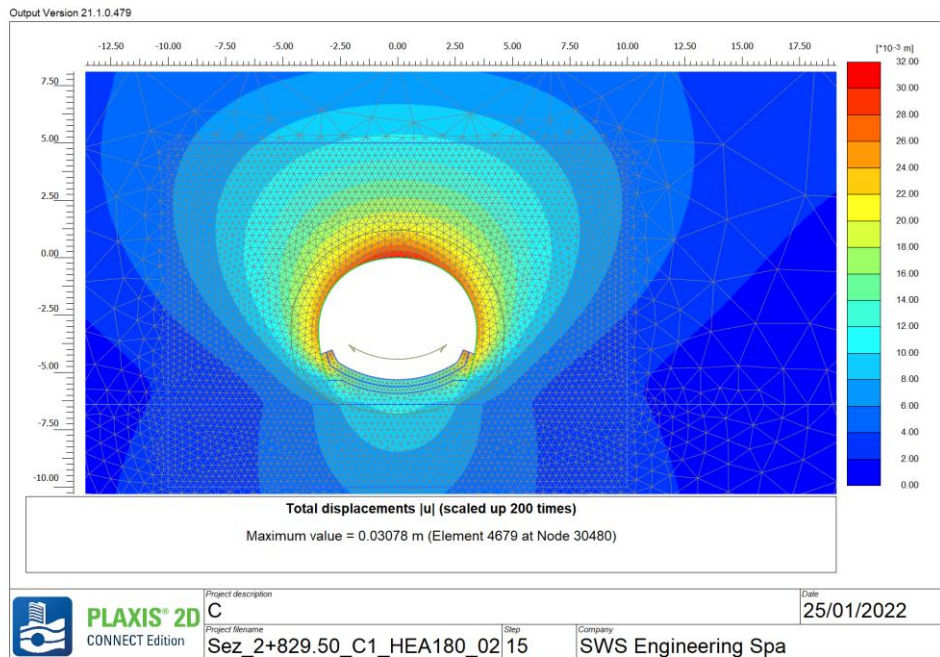


Figura 10-58: Spostamenti $|u|$ Fase 4

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 118 di 159 |

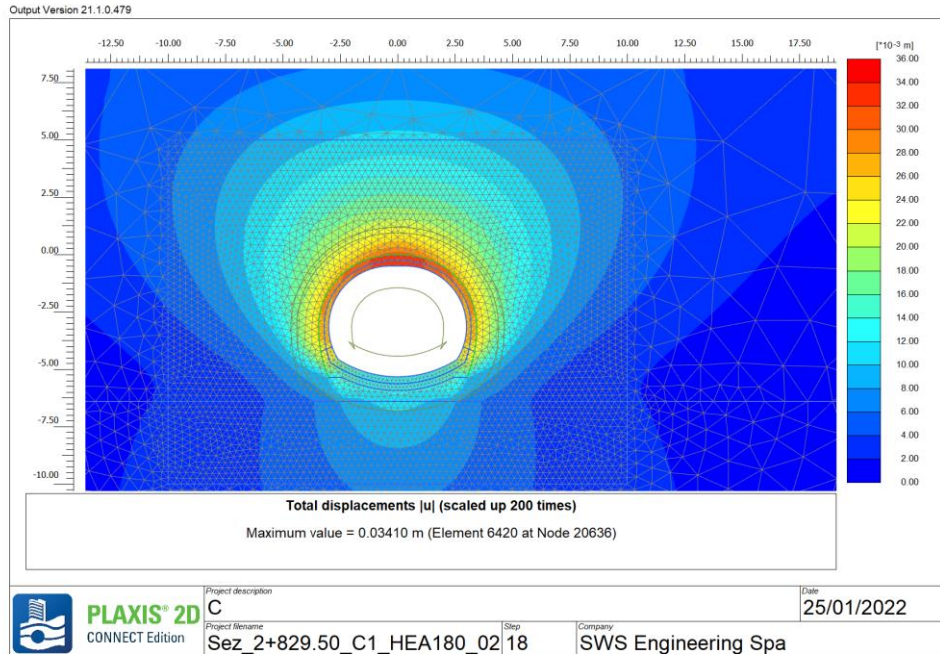


Figura 10-59: Spostamenti $|u|$ Fase 5

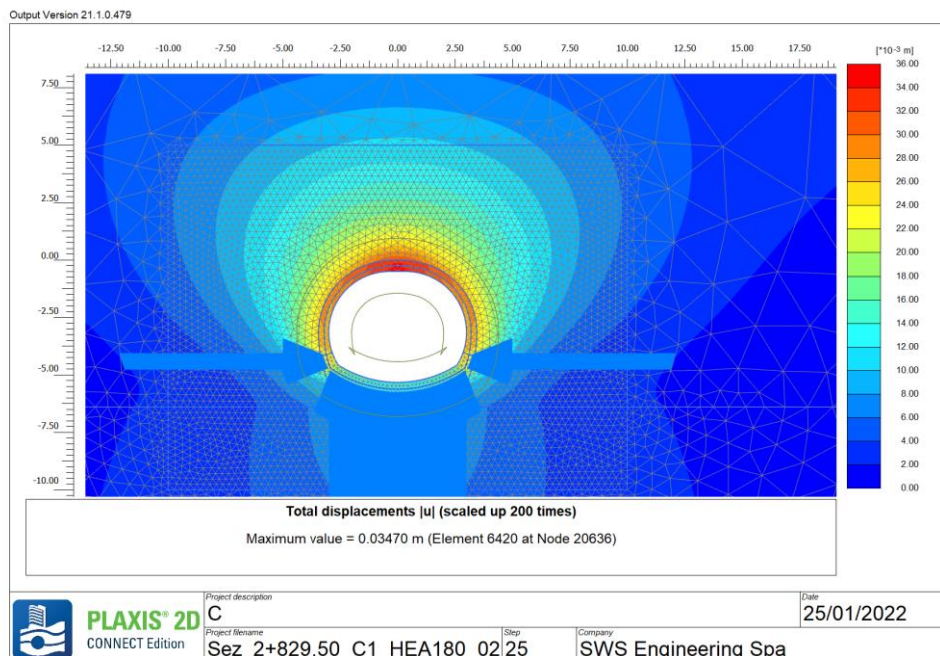


Figura 10-60: Spostamenti $|u|$ Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 119 di 159 |

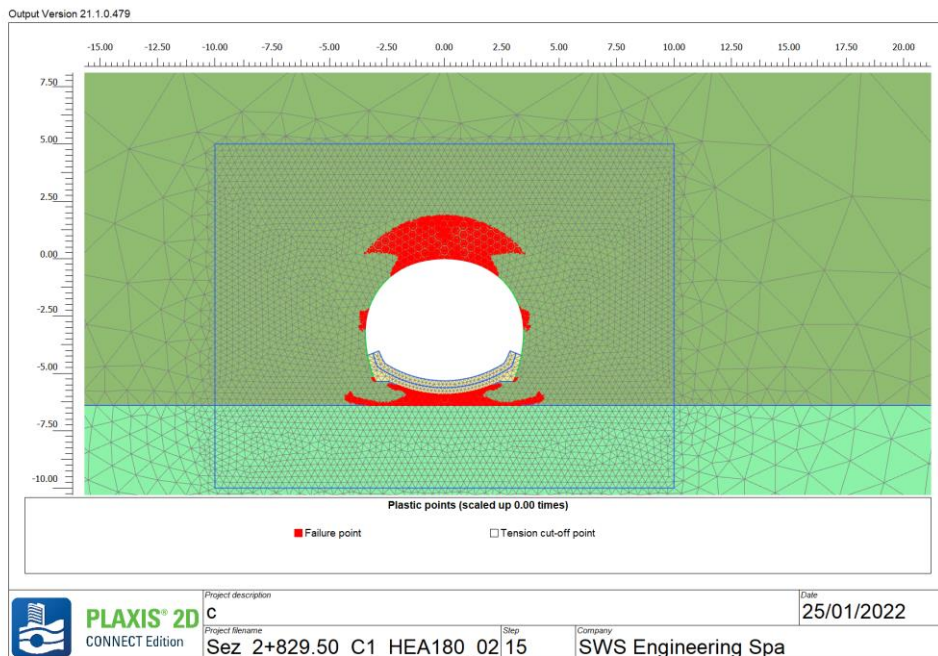


Figura 10-61: Zone di plasticizzazione Fase 4

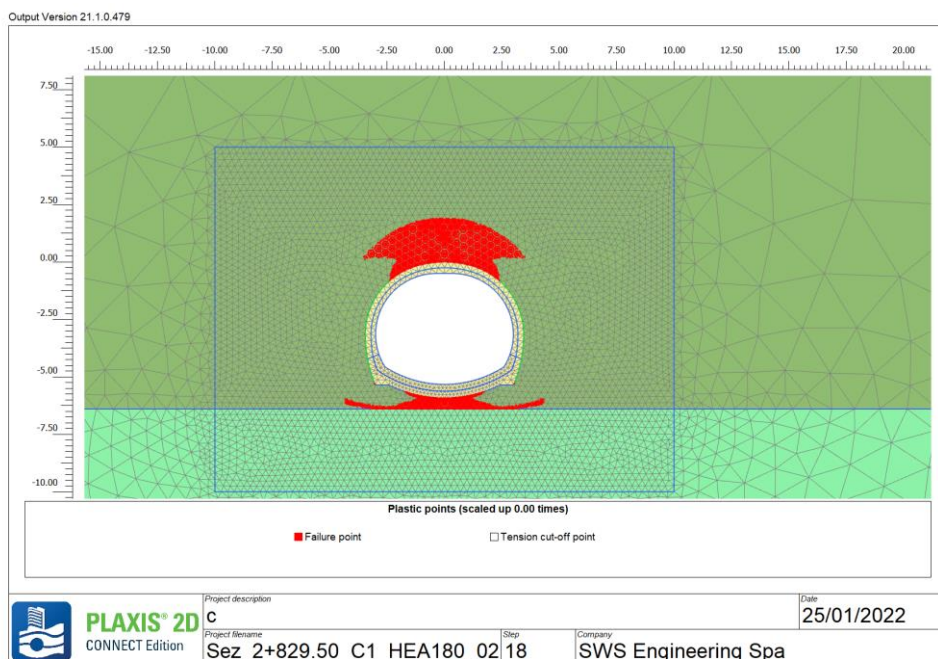


Figura 10-62: Zone di plasticizzazione Fase 5

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 120 di 159 |

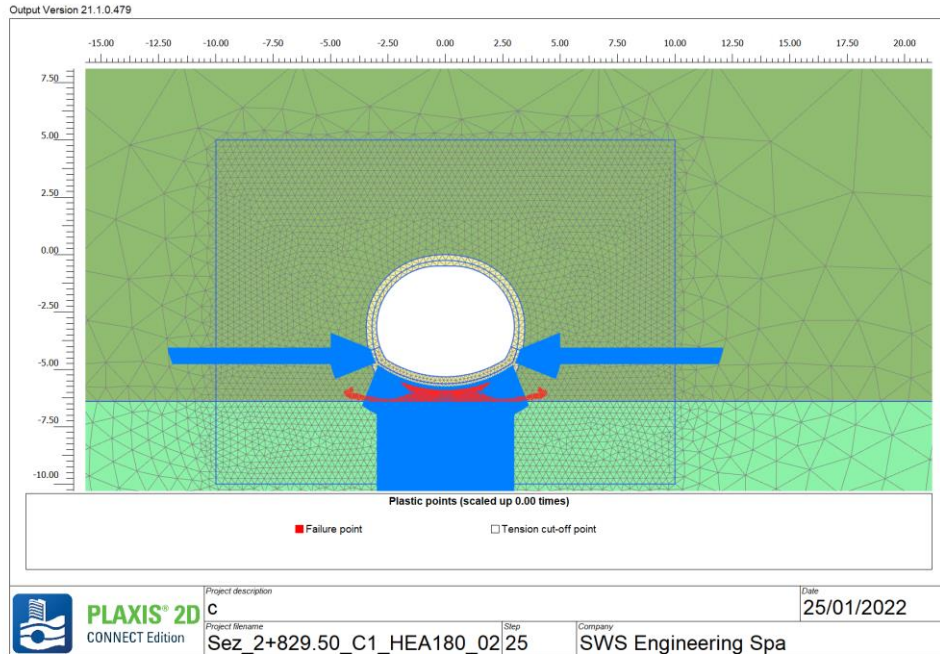


Figura 10-63: Zone di plasticizzazione Fase 7

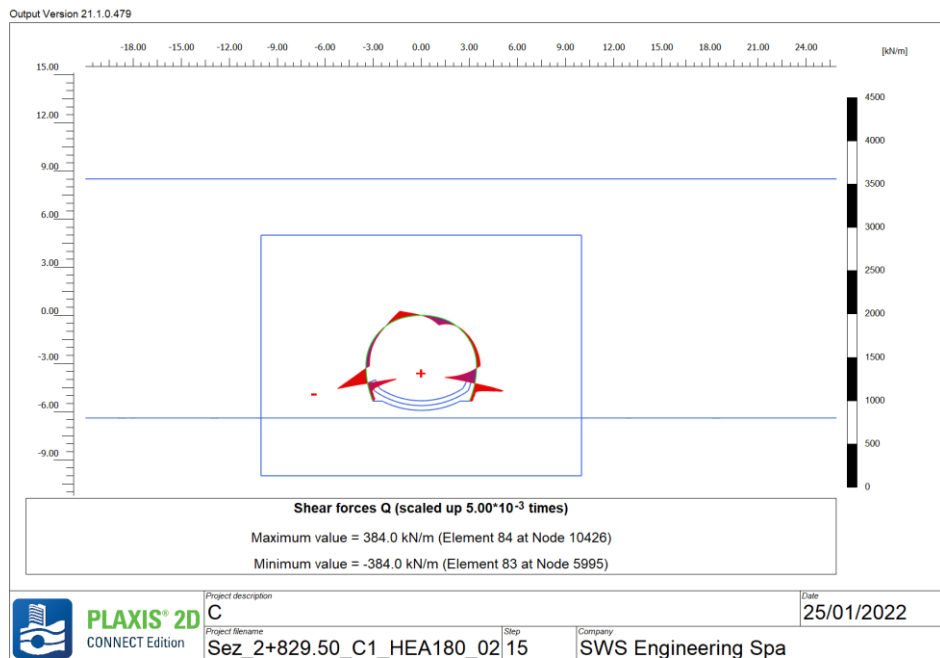


Figura 10-64: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento provvisorio Fase 4

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 121 di 159 |

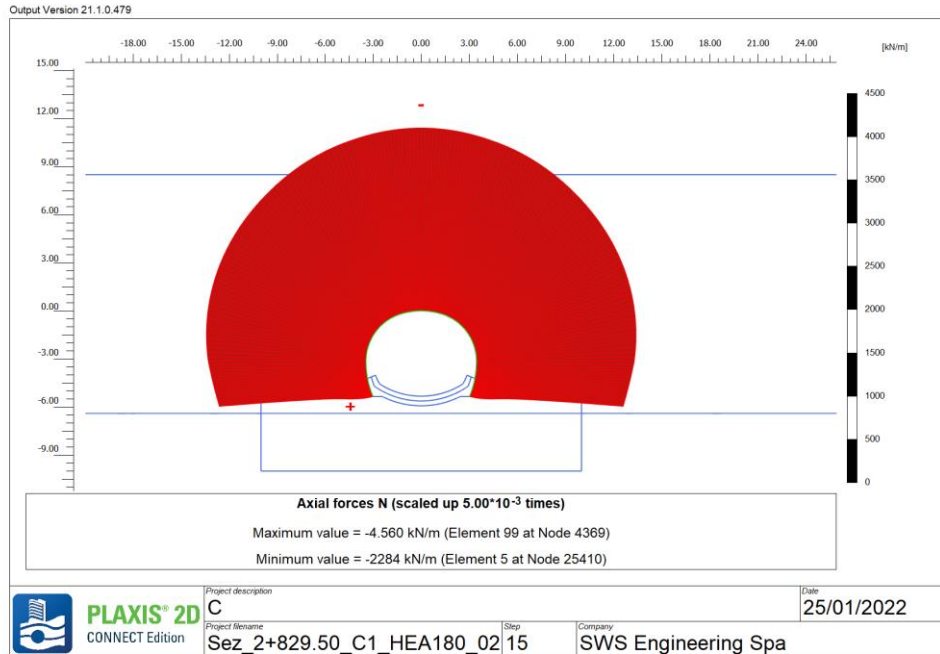


Figura 10-65: Sollecitazione Sforzo normale sul rivestimento provvisorio Fase 4

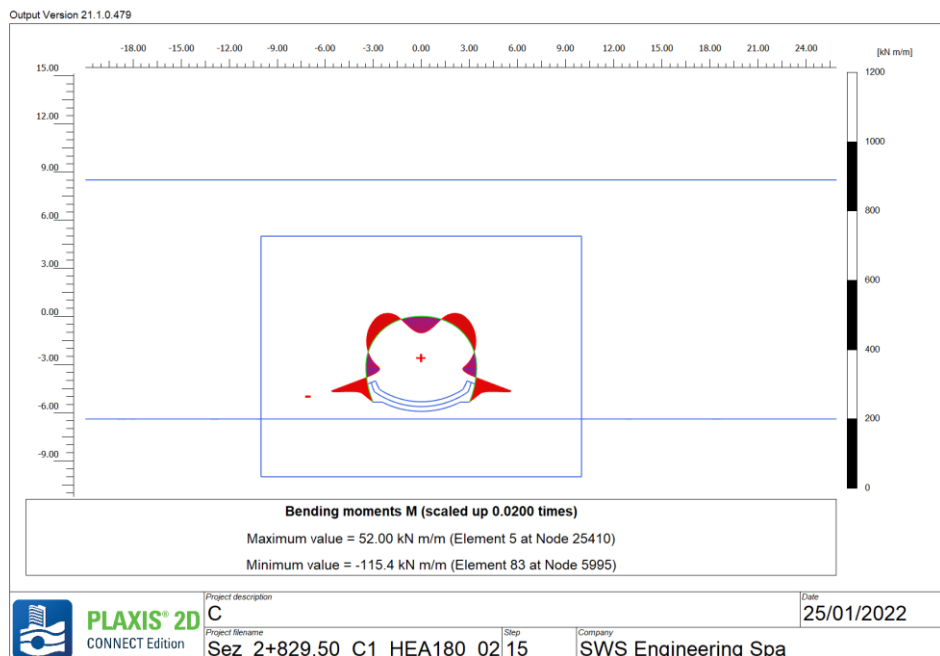


Figura 10-66: Sollecitazione momento flettente sul rivestimento provvisorio Fase 4

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 122 di 159 |

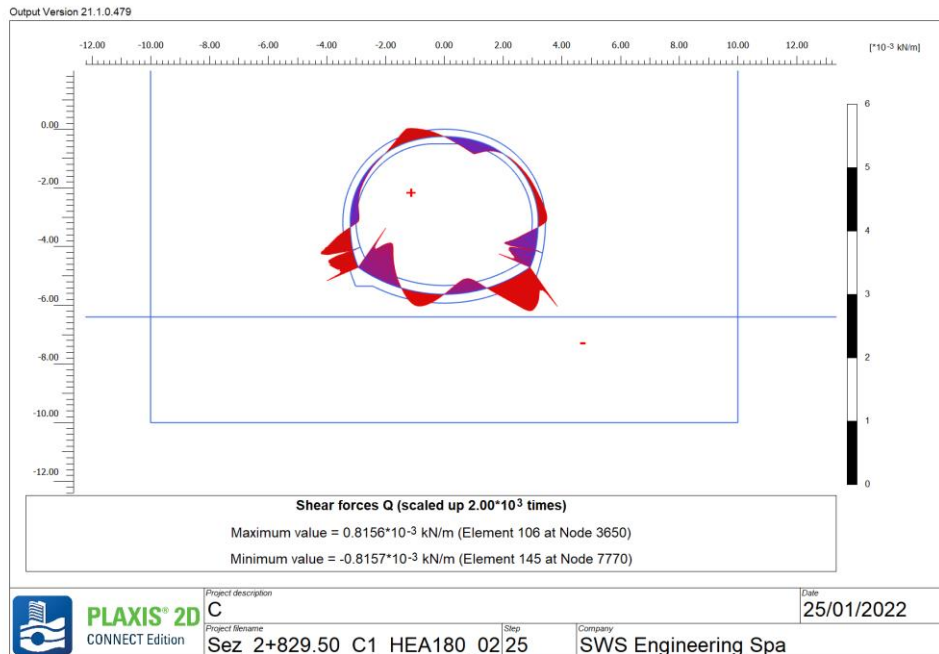


Figura 10-67: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 7

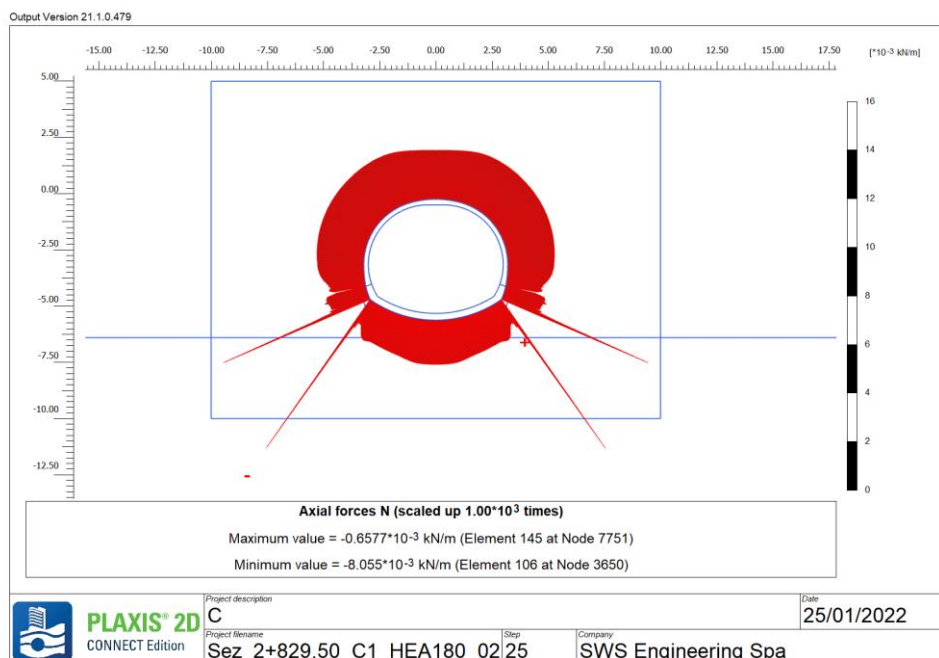


Figura 10-68: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 123 di 159 |

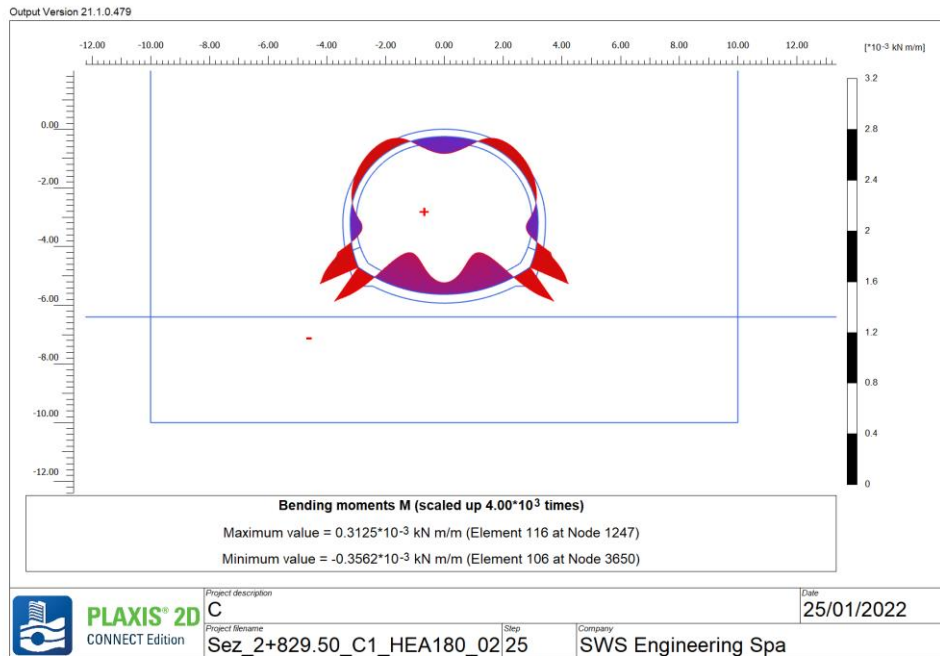


Figura 10-69: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 7

| | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 124 di 159 |

10.2.5 Output Sezione A1 – By-pass 2

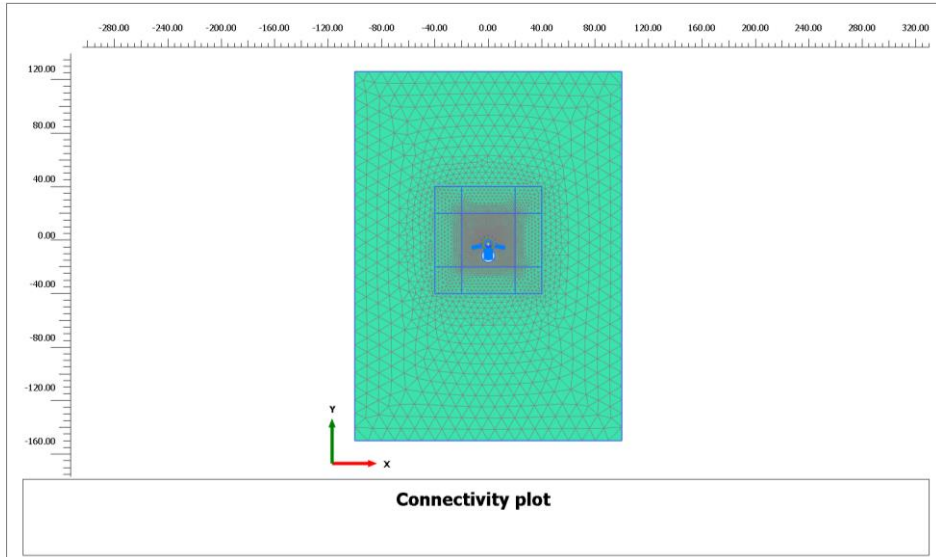


Figura 10-70: Mesh

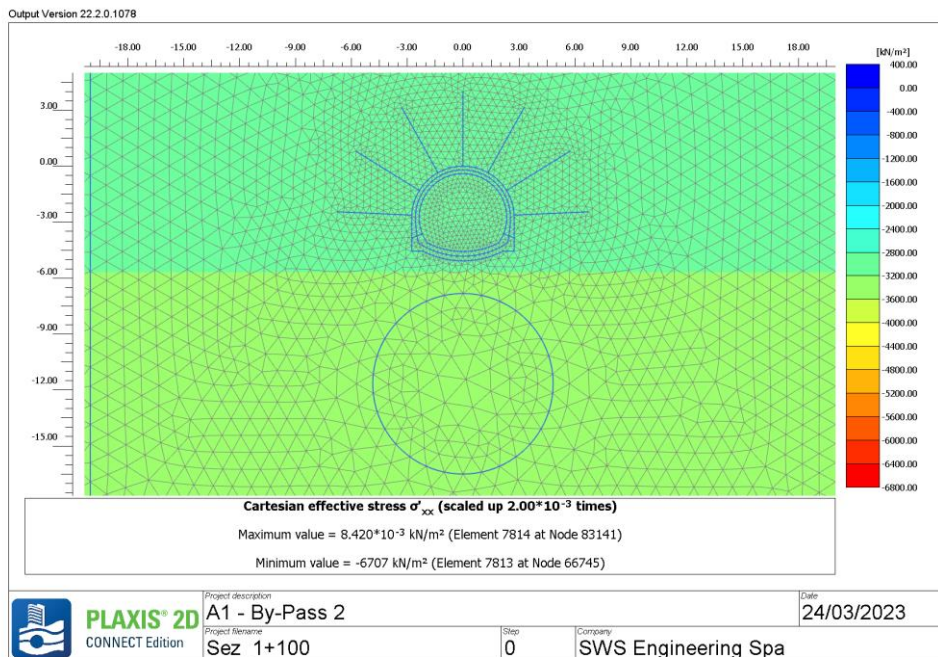


Figura 10-71: Stress σ'_{xx} - Fase 1

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 125 di 159 |

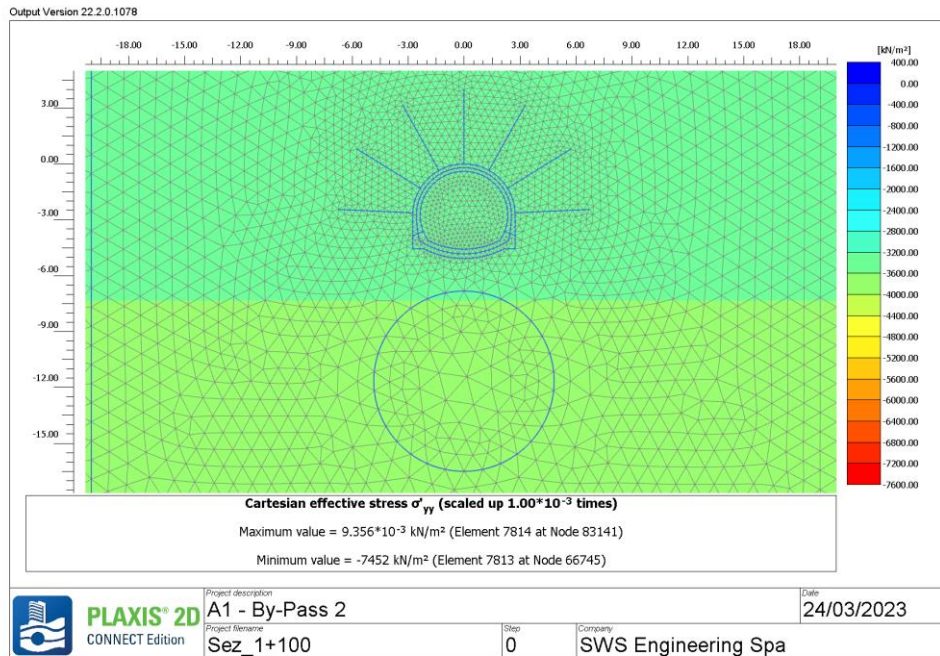


Figura 10-72: Stress σ_{yy} - Fase 1

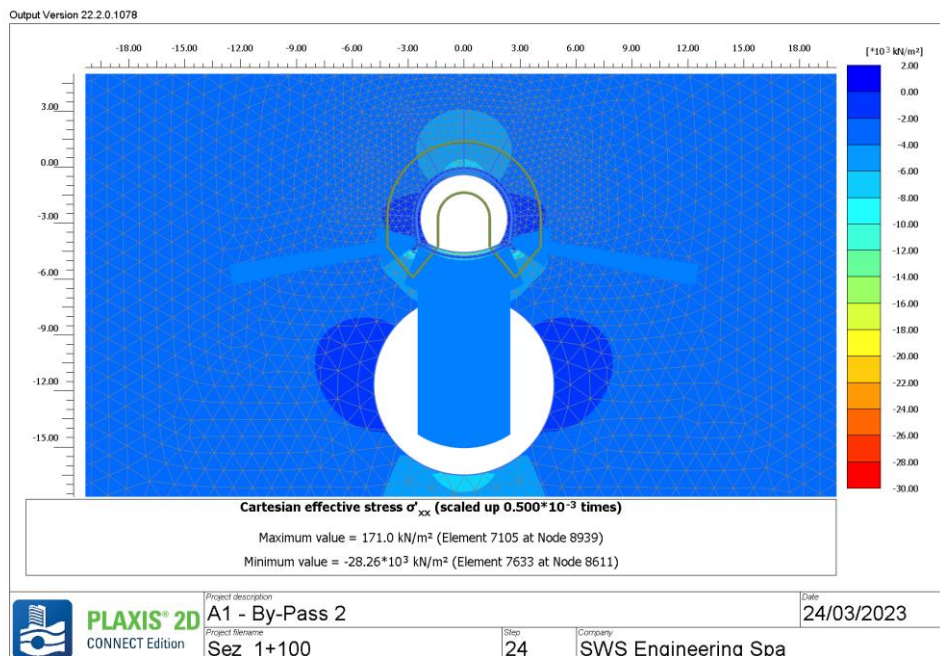


Figura 10-73: Stress σ_{xx} - Fase 10

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 126 di 159 |

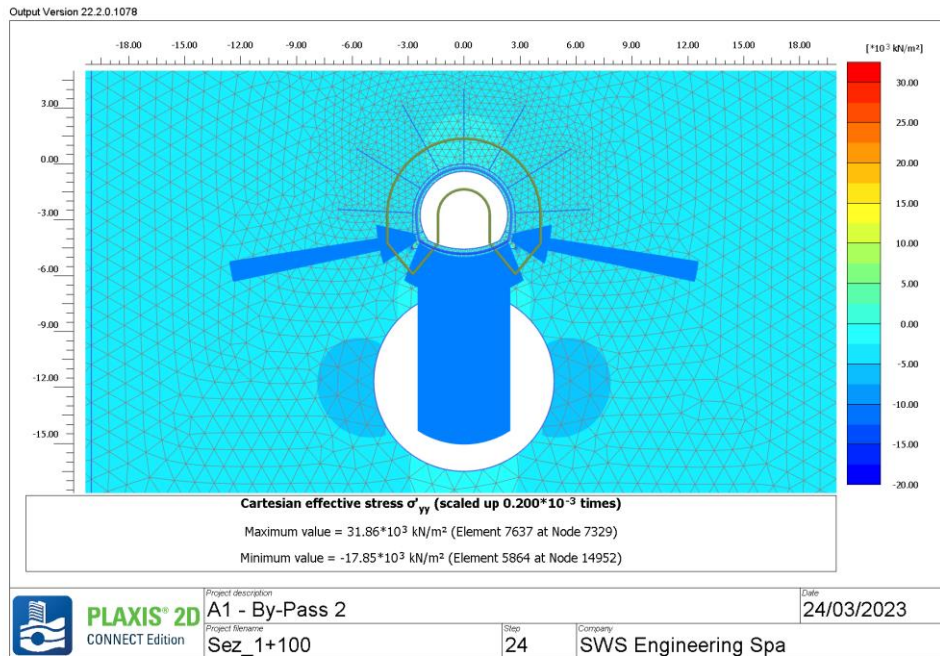


Figura 10-74: Stress σ_{yy} - Fase 10

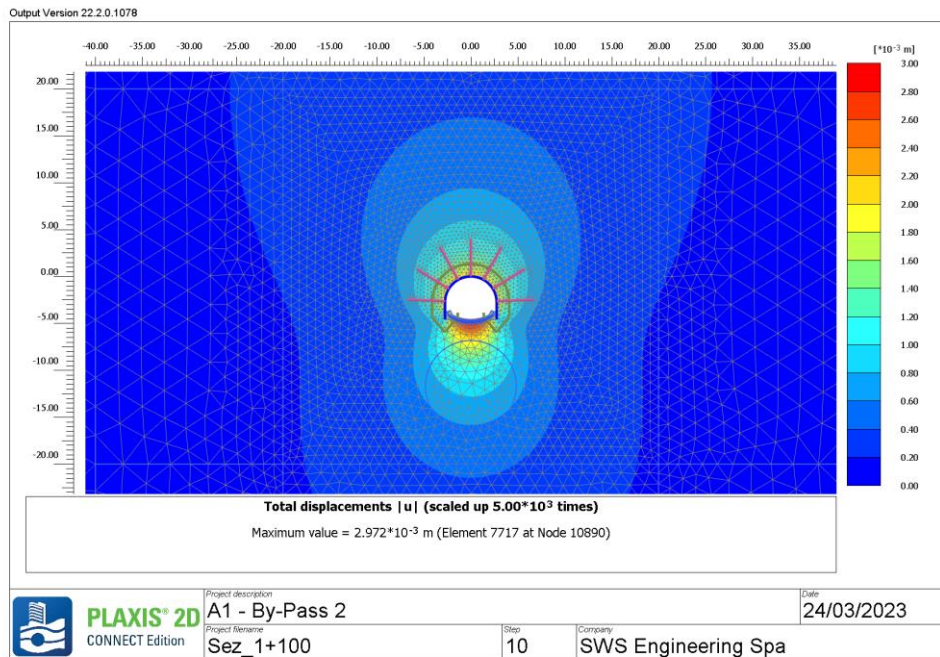


Figura 10-75: Spostamenti $|u|$ Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 127 di 159 |

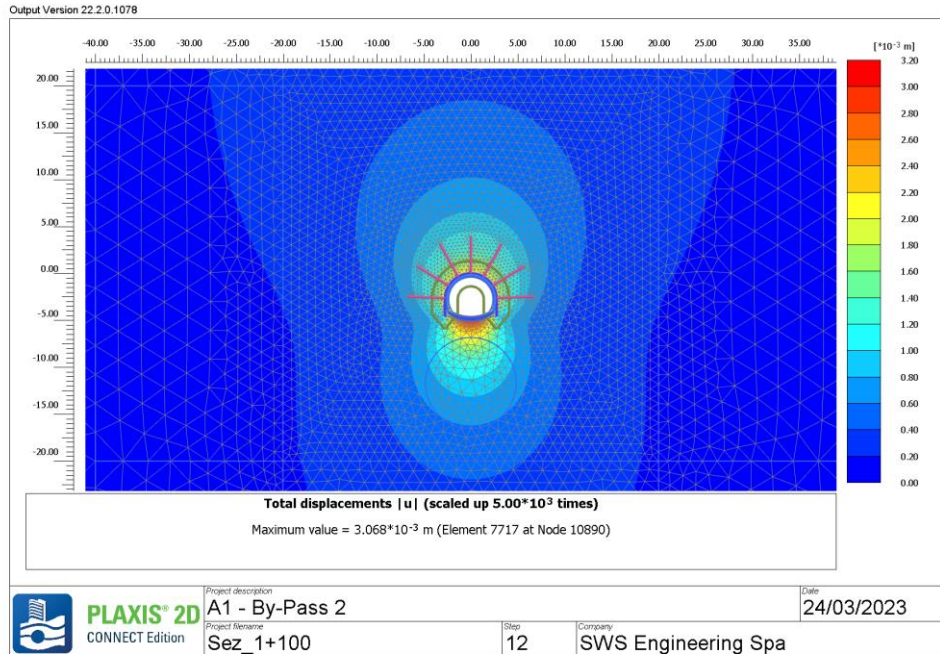


Figura 10-76: Spostamenti |u| Fase 7

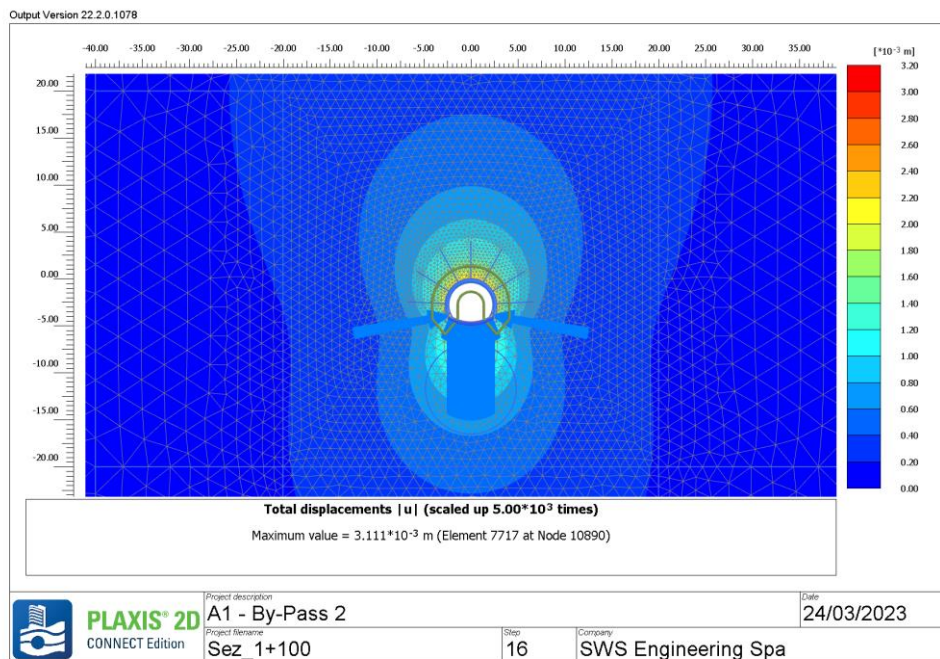


Figura 10-77: Spostamenti |u| Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 128 di 159 |

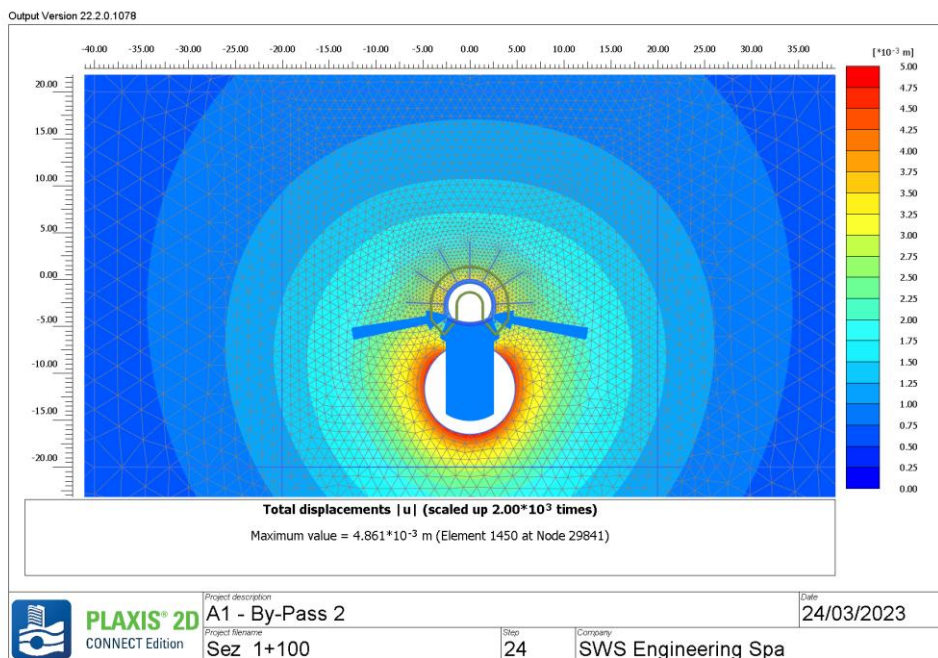


Figura 10-78: Spostamenti |u| Fase 10



Figura 10-79: Zone di plasticizzazione Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 129 di 159 |

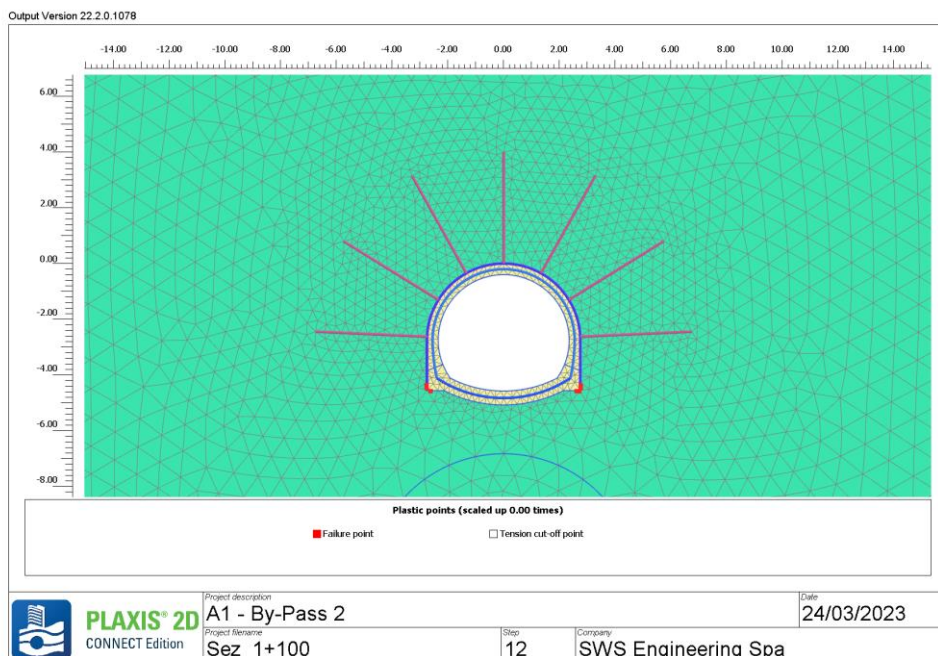


Figura 10-80: Zone di plasticizzazione Fase 7

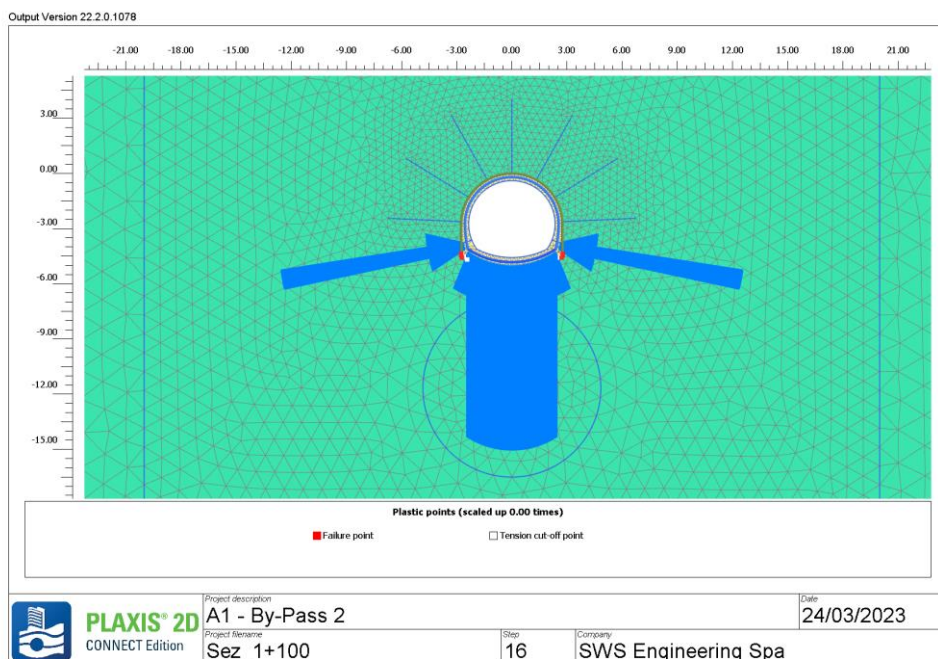


Figura 10-81: Zone di plasticizzazione Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 130 di 159 |

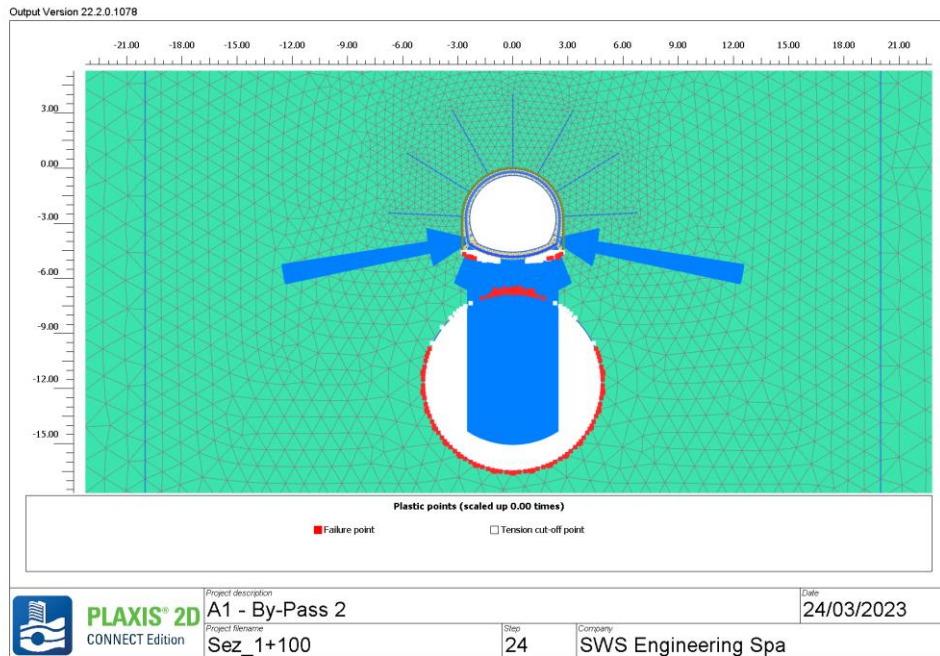


Figura 10-82: Zone di plasticizzazione Fase 10

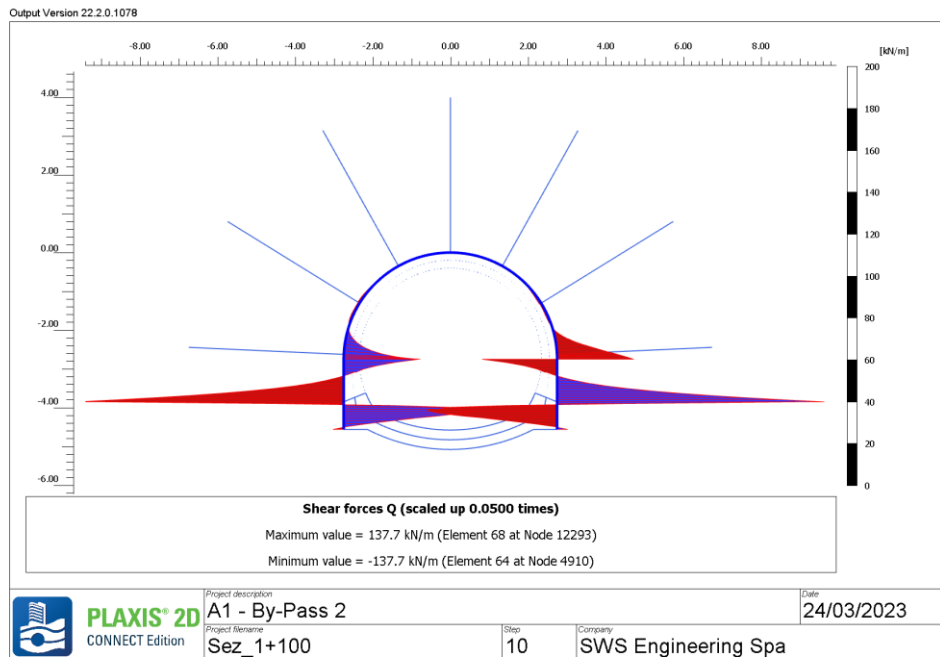


Figura 10-83: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IB0U | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 131 di 159 |

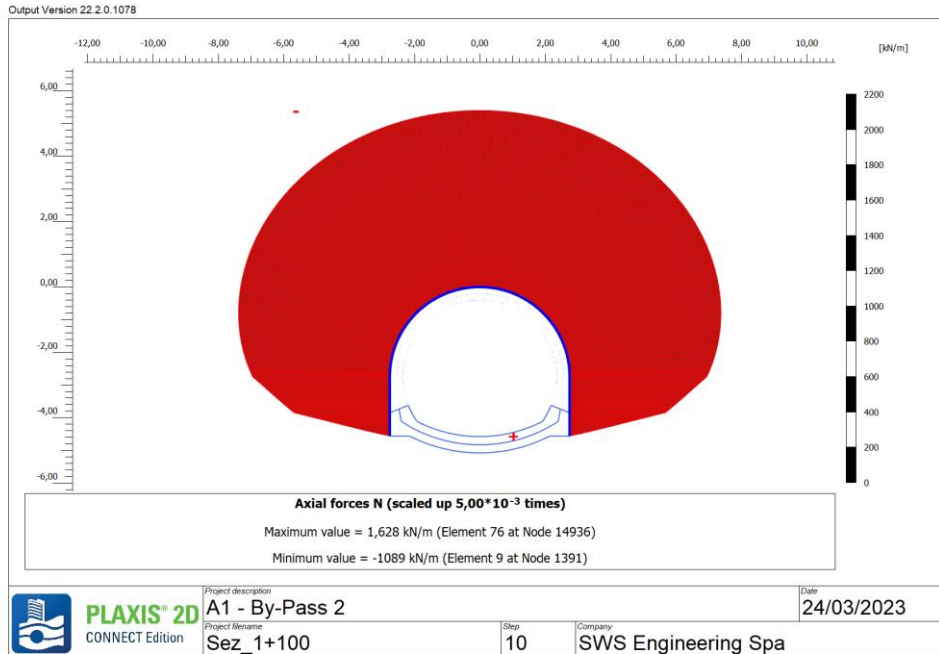


Figura 10-84: Sollecitazione Sforzo normale sul rivestimento provvisorio Fase 6

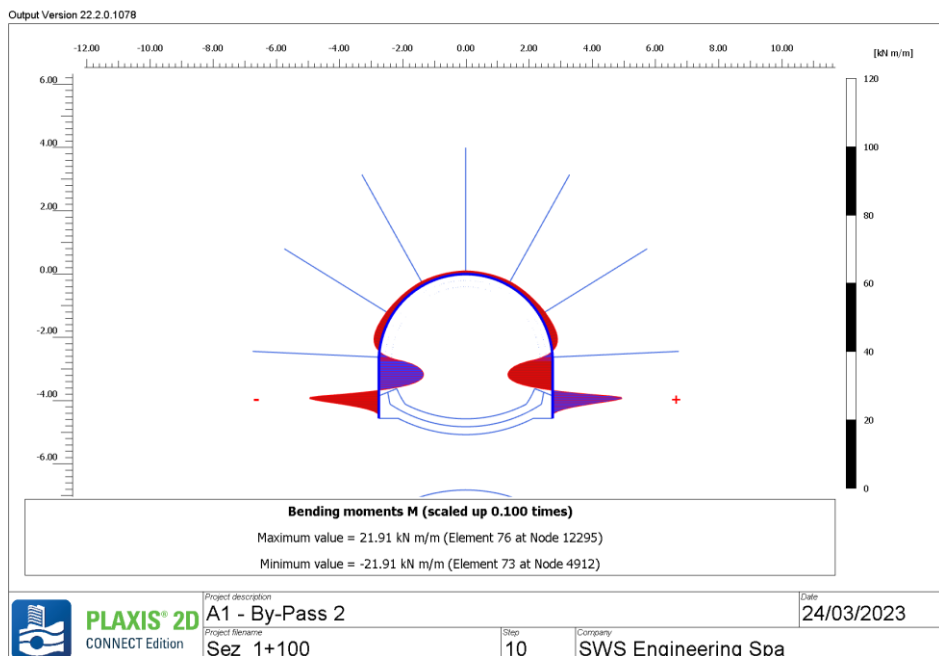


Figura 10-85: Sollecitazione momento flettente sul rivestimento provvisorio Fase 6

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 132 di 159 |

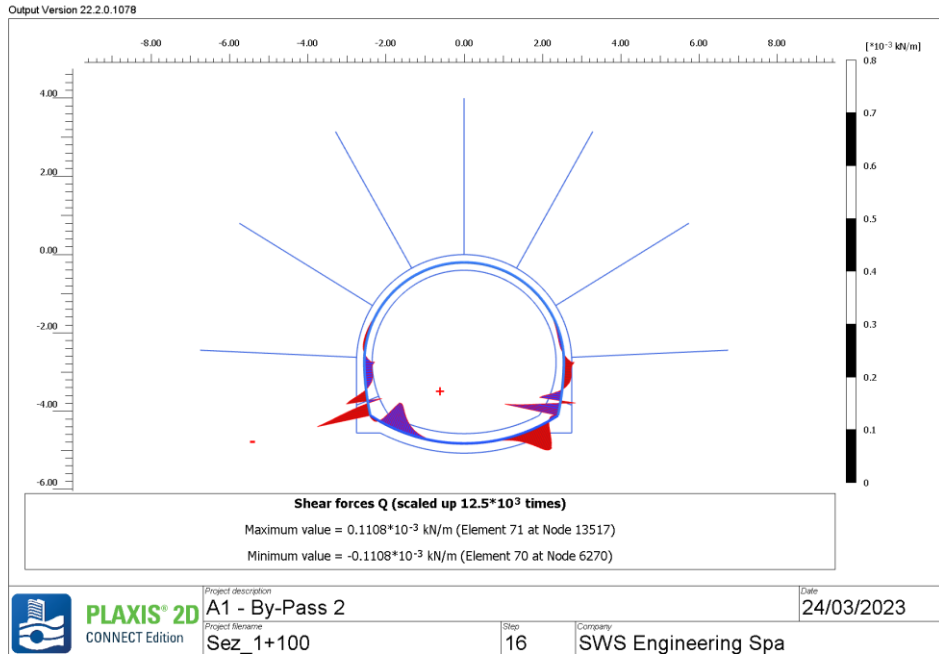


Figura 10-86: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 9

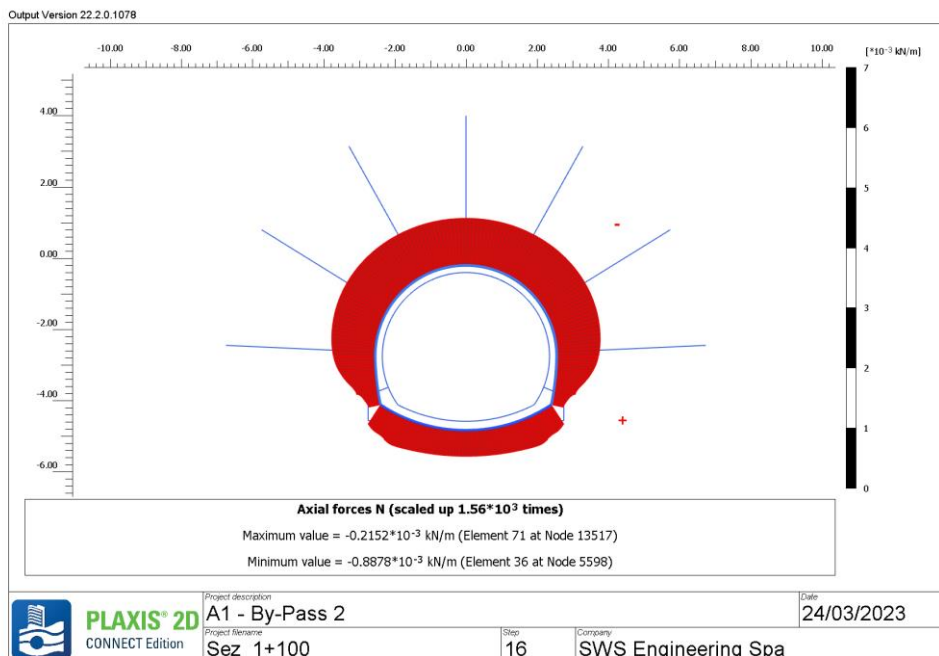


Figura 10-87: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 9

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 133 di 159 |

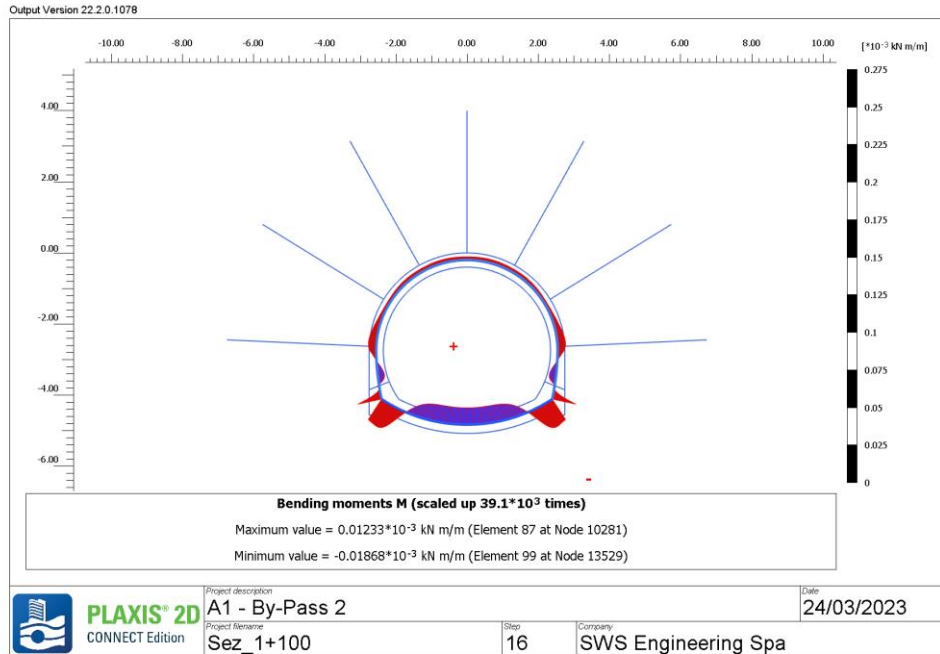


Figura 10-88: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 9

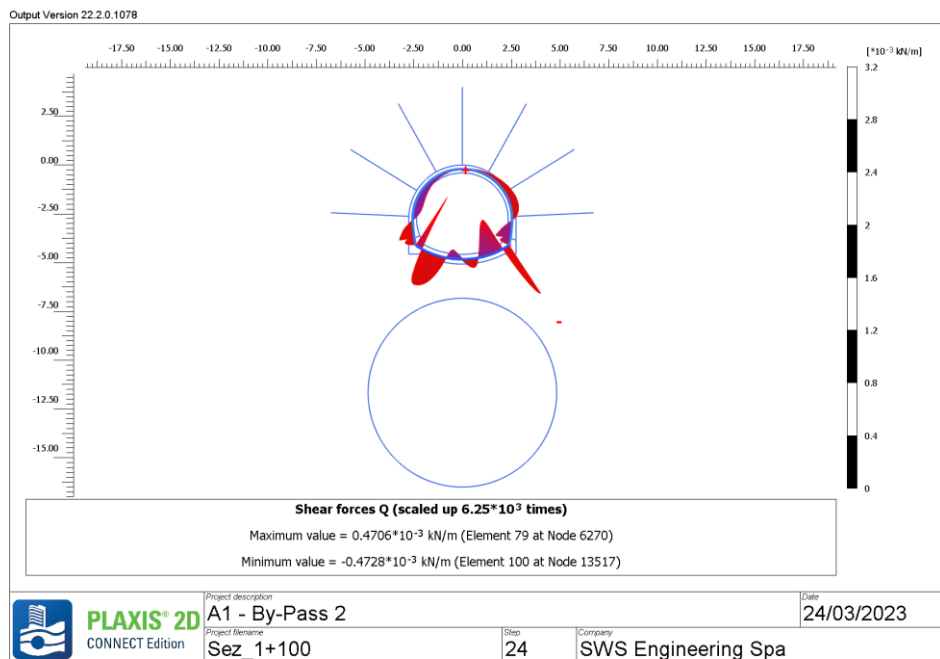


Figura 10-89: Sollecitazione Sforzo di taglio sul rivestimento definitivo Fase 10

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN000001 | REV. C | FOGLIO. 134 di 159 |

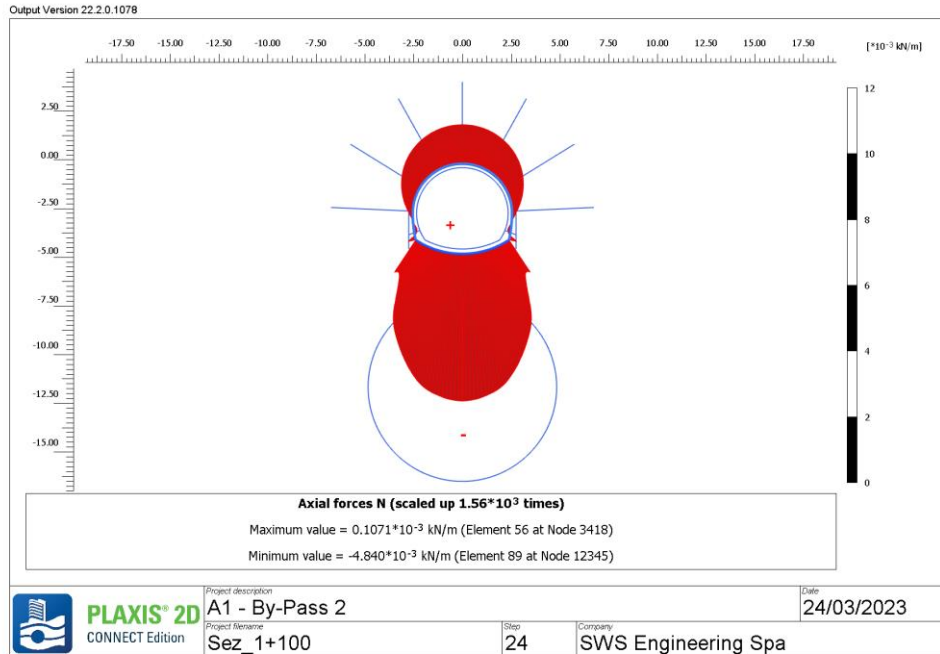


Figura 10-90: Sollecitazione Sforzo normale su rivestimento definitivo Fase 10

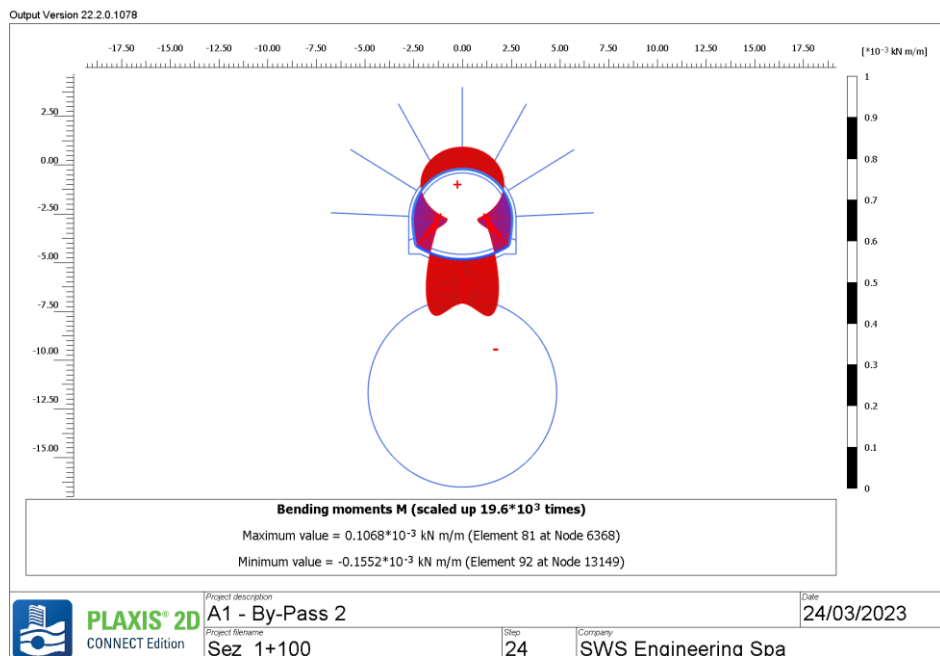


Figura 10-91: Sollecitazione momento flettente su rivestimento definitivo Fase 10

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| APPALTATORE: |  | PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" | | | | |
| PROGETTAZIONE: | <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. | <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | PROGETTO ESECUTIVO | | | |
| 08 - GALLERIE Relazione di calcolo - By - pass - Sezione corrente | COMMESSA IBOU | LOTTO 1BEZZ | CODIFICA CL | DOCUMENTO GN0000001 | REV. C | FOGLIO. 135 di 159 |

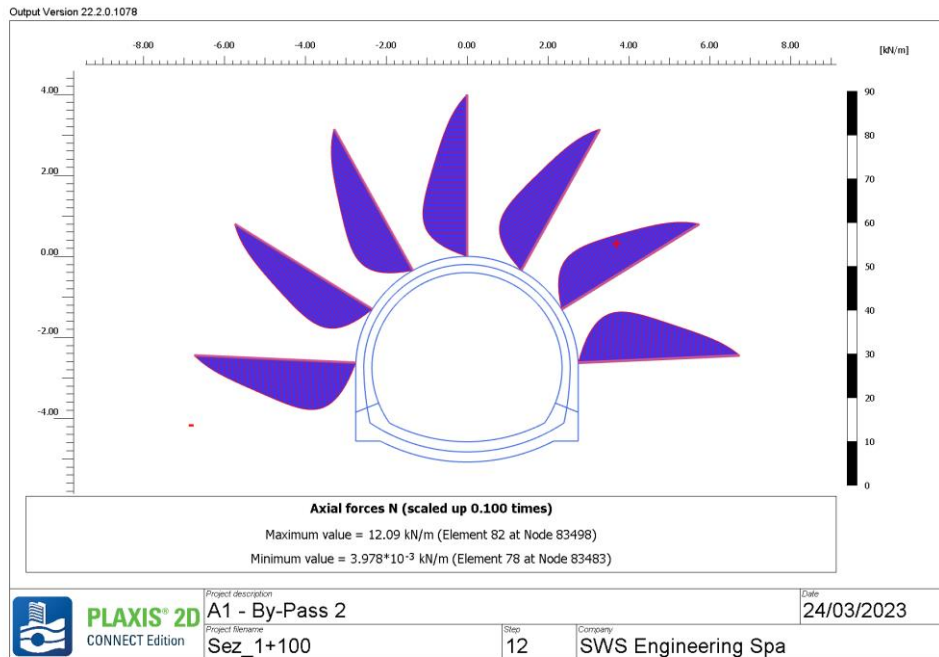


Figura 10-92: Massima sollecitazione di sforzo normale agente sui chiodi – Fase 7