



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetzefinanziertes Vorhaben

Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona
BRENNER BASISTUNNEL
Ausführungsplanung

Potenziamento asse ferroviario Monaco-Verona
GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
Progettazione esecutiva

| | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------|
| D0700: Baulos Mauls 2-3 | | D0700: Lotto Mules 2-3 | | | | | |
| Projekteinheit Gesamtbauwerke | | WBS Opere generali | | | | | |
| Dokumentenart Statische Berechnung | | Tipo Documento Calcolo statico | | | | | |
| Titel Beurteilung der Störung zwischen den Hohlräumen während des Ausbruchs | | Titolo Valutazione dell'interferenza tra le cavità in fase di scavo | | | | | |
|  Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P <small>olo Pro. Iter S.r.l., Via G.B. Sanmarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0287152612</small> | | <i>Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche</i> Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470 | | | | | |
| <i>Mandataria</i>  PRO ITER <small>Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</small> | <i>Mandante</i>  | <i>Mandante</i>  | <i>Mandante</i>  | | | | |
| | | <i>Fachplaner / il progettista specialista</i> Ing. Davide Merlini Ord. Ingg. Como N° 2354 A | | | | | |
| | Datum / Data | Name / Nome | Gesellschaft / Società | | | | |
| Bearbeitet / Elaborato | 30.01.2015 | M. Falanesca | Pini Swiss | | | | |
| Geprüft / Verificato | 30.01.2015 | D. Merlini | Pini Swiss | | | | |
|  Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE | | Name / Nome R. Zurlo | Name / Nome K. Bergmeister | | | | |
| Projekt-kilometer / Chilometro progetto von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al | Projekt-kilometer / Chilometro opera von / da bis / a bei / al | Status Dokument / Stato documento | Massstab / Scala - | | | | |
| Staat Stato | Los Lotto | Einheit Unità | Nummer Numero | Dokumentenart Tipo Documento | Vertrag Contratto | Nummer Codice | Revision Revisione |
| 02 | H61 | EG | 991 | KST | D0700 | 15010 | 21 |

**Bearbeitungsstand
Stato di elaborazione**

| Revision Revisione | Änderungen / Cambiamenti | Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica | Datum Data |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|
| | | | |
| 20 | Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14 | M. Falanesca | 04.12.2014 |
| 21 | Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto | A.Battaglia | 30.01.2015 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | EINFÜHRUNG | |
| 1 | INTRODUZIONE | 5 |
| 2 | MATERIALIEN | |
| 2 | MATERIALI | 6 |
| 2.1 | SPRITZBETON | |
| 2.1 | BETONCINO PROIETTATO | 6 |
| 2.2 | ANKER | |
| 2.2 | ANCORAGGI | 6 |
| 2.3 | STAHLBÖGEN | |
| 2.3 | CENTINE | 6 |
| 2.4 | ORTBETON | |
| 2.4 | CALCESTRUZZO GETTATO IN OPERA | 6 |
| 2.5 | BETON (TÜBBINGEN) | |
| 2.5 | CONCI | 7 |
| 2.6 | BEWEHRUNGSSTAHL | |
| 2.6 | ACCIAIO DA ARMATURA | 7 |
| 3 | UNTERSUCHTE ABSCHNITTE | |
| 3 | SEZIONI DI STUDIO | 8 |
| 3.1 | ABSCHNITT KM 14+050: ANALYSE IN BEREICH DER ZUGANGSTUNNEL | |
| 3.1 | SEZIONE PK 14+050: ANALISI IN CORRISPONDENZA DELLA GALLERIA DI ACCESSO | 8 |
| 3.2 | ABSCHNITT KM 14+150: ANALYSE IM BEREICH DER ÜBERSTIEG ZWISCHEN DEN ZENTRALTUNNEL TRENS UND DIE WESTRÖHRE | |
| 3.2 | SEZIONE PK 14+150: ANALISI IN PROSSIMITÀ DELLO SCAVALCO TRA CUNICOLO CENTRALE DI TRENS E GALLERIA DI LINEA OVEST | 9 |
| 3.3 | ABSCHNITT KM 14+300: ANALYSE IM BEREICH DER NOTHALTESTELLE | |
| 3.3 | SEZIONE PK 14+300: ANALISI IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI EMERGENZA | 10 |
| 4 | GEOTECHNISCHES MODELL | |
| 4 | MODELLO GEOTECNICO | 11 |
| 4.1 | GEOLOGIE UND GEOMECHANIK SCHNITT PK 14+050 UND PK 14+150 | |
| 4.1 | GEOLOGIA E GEOMECCANICA SEZIONE PK 14+050 E PK 14+150 | 11 |
| 4.2 | GEOLOGIE UND GEOMECHANIK ABSCHNITT KM 14+300 | |
| 4.2 | GEOLOGIE UND GEOMECHANIK SEZIONE PK 14+300 | 13 |
| 5 | GEBIRGSVERHALTEN | |
| 5 | COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA | 15 |
| 5.1 | ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS SCHNITT PK 14+050 UND PK 14+150 | |
| 5.1 | VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA SEZIONE PK 14+050 E PK 14+150 | 15 |
| 5.2 | ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS SCHNITT PK 14+300 | |
| 5.2 | VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA SEZIONE PK 14+300 | 16 |
| 6 | NUMERISCHE MODELLE | |
| 6 | MODELLI NUMERICI | 19 |
| 6.1 | ABSCHNITT PK 14+050 | |
| 6.1 | SEZIONE PK 14+050 | 19 |
| 6.1.1 | Bildendes Gebirgsmodell | |
| 6.1.1 | Modello costitutivo dell'ammasso | 20 |
| 6.1.2 | Eigenschaften der Außenschale | |
| 6.1.2 | Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase | 21 |
| 6.1.3 | Laststufe | |
| 6.1.3 | Step di carico | 22 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.1.4 | Nachweisverfahren | |
| 6.1.4 | Procedura di verifica..... | 23 |
| 6.1.5 | Ergebnisse | |
| 6.1.5 | Risultati..... | 23 |
| 6.2 | ABSCHNITT PK 14+150 | |
| 6.2 | SEZIONE PK 14+150..... | 24 |
| 6.2.1 | Bildendes Gebirgsmodell | |
| 6.2.1 | Modello costitutivo dell'ammasso | 25 |
| 6.2.2 | Eigenschaften der Aussenschale | |
| 6.2.2 | Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase | 25 |
| 6.2.3 | Laststufe | |
| 6.2.3 | Step di carico..... | 26 |
| 6.2.4 | Nachweisverfahren | |
| 6.2.4 | Procedura di verifica..... | 28 |
| 6.2.5 | Ergebnisse | |
| 6.2.5 | Risultati..... | 28 |
| 6.3 | ABSCHNITT PK 14+300 | |
| 6.3 | SEZIONE PK 14+300..... | 29 |
| 6.3.1 | Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage | |
| 6.3.1 | Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale | 29 |
| 6.3.2 | Eigenschaften der Außenschale | |
| 6.3.2 | Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase | 30 |
| 6.3.3 | Laststufe | |
| 6.3.3 | Step di carico..... | 32 |
| 6.3.4 | Nachweisverfahren | |
| 6.3.4 | Procedura di verifica..... | 33 |
| 6.3.5 | Ergebnisse | |
| 6.3.5 | Risultati..... | 33 |
| 7 | SCHLUSSFOLGERUNGEN | |
| 7 | CONCLUSIONI | 35 |
| 8 | VERZEICHNISSE | |
| 8 | ELENCHI..... | 36 |
| 8.1 | TABELLENVERZEICHNIS | |
| 8.1 | ELENCO DELLE TABELLE..... | 36 |
| 8.2 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | |
| 8.2 | ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI..... | 37 |
| 8.3 | ANLAGENVERZEICHNIS | |
| 8.3 | ELENCO APPENDICI | 38 |
| 8.4 | REFERENZDOKUMENTE | |
| 8.4 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO..... | 38 |
| 8.4.1 | Eingangsdokumente | |
| 8.4.1 | Documenti in ingresso..... | 38 |
| | 8.4.1.1 Ausführungsprojekt Baulos Mauls 2-3 | |
| | 8.4.1.1 Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3..... | 38 |
| 8.4.2 | Normen und Richtlinien | |
| 8.4.2 | Normativa..... | 39 |
| 8.4.3 | Literatur | |
| 8.4.3 | Letteratura | 40 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| ANHANG 1 - KENNLINIENVERFAHREN | |
| APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE | 42 |
| ANHANG 2 - FEM- ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+050 | |
| APPENDICE 2 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+050..... | 47 |
| ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+150 | |
| APPENDICE 3 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+150..... | 54 |
| ANHANG 4 - FEM-ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+150 | |
| APPENDICE 4 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+300..... | 61 |

1 EINFÜHRUNG

Folgende Bericht sieht die Beurteilung der Einflussfaktoren auf den Ausbruch der Erkundungstollen im ganzen Abschnitt des Loses Mules 2-3 (vom km 7+507 bis km 27+217) vor, in Zusammenhang mit dem Ausbruch der oberen Teilen.

Um die massgebende Szenarien sowohl in Bezug auf die vorhandene Gebirge als auch in Bezug auf die Hohlraumgeometrie zu analysieren, werden die Abschnitte gemäss Kap. 3 untersucht.

Für die Bemessung der Einzelteile, wird an den spezifischen statischen Berechnung verwiesen (siehe Kap. 8.4).

1 INTRODUZIONE

La seguente relazione intende valutare gli influssi degli scavi sul cunicolo esplorativo nell'intera tratta appartenente al Lotto Mules 2-3 (da pk 7+507 a pk 27+217), a seguito dello scavo delle parti d'opera sovrastanti.

Al fine di analizzare gli scenari maggiormente significativi sia dal punto di vista degli ammassi rocciosi presenti che per la disposizione geometrica delle cavità, verranno analizzate le sezioni di studio riportate nel Cap. 3.

Per il dimensionamento delle singole parti d'opera si rimanda agli specifici rapporti di calcolo (vedasi Cap. 8.4).

2 MATERIALIEN

Im Folgenden werden die Materialeigenschaften der Bauteile aufgelistet (Kap. 3).

2.1 SPRITZBETON

Für die Bemessung der Spritzbetonaußenschale ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

$$E_{cm} = 32000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

- E_{cm} = Mittelwert Sekantenmodul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit Spritzbeton nach 28 Tagen

2.2 ANKER

Es wird der Einsatz von Anker des Typs R38N, R51N und Dywidag SN 28 vorgesehen, mit folgenden Eigenschaften:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$N_{yk} = 400 \text{ kN (R38N)}$$

$$N_{yk} = 413 \text{ kN (Dywidag SN28)}$$

$$N_{yk} = 630 \text{ kN (R51N)}$$

Wobei:

- E_s = Elastizitätsmodul
- N_y = Ermüdungslast der Niete

2.3 STAHLBÖGEN

Die Stahlbögen des Typs IPN 180 bestehen aus Stahl S355:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Wobei:

- E_s = Elastizitätsmodul
- f_{yk} = charakteristischer Wert der Streckgrenze

2.4 ORTBETON

Für die Bemessung der Innenschale wird ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu angenommen:

$$E_{cm} = 32000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

2 MATERIALI

Nel seguito verranno riportate le caratteristiche dei materiali delle parti d'opera oggetto di studio (Cap. 3).

2.1 BETONCINO PROIETTATO

Per il dimensionamento del rivestimento di prima fase in betoncino proiettato si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

$$E_{cm} = 32000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

Dove:

- E_{cm} è il valore medio del modulo elastico secante
- f_{ck} è la resistenza caratteristica a compressione dello spritzbeton a 28 giorni

2.2 ANCORAGGI

Si prevede l'utilizzo di ancoraggi autoperforanti tipo R38N, R51N e ancoraggi tipo Dywidag SN 28 aventi le seguenti caratteristiche:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$N_{yk} = 400 \text{ kN (R38N)}$$

$$N_{yk} = 413 \text{ kN (Dywidag SN28)}$$

$$N_{yk} = 630 \text{ kN (R51N)}$$

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- N_y è il carico di snervamento del chiodo

2.3 CENTINE

Le centine metalliche di tipo IPN 180 sono realizzate con acciaio S355 aventi le seguenti caratteristiche:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento

2.4 CALCESTRUZZO GETTATO IN OPERA

Per il dimensionamento del rivestimento definitivo si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

$$E_{cm} = 32000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

- E_{cm} = Mittelwert Sekantenmodul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

2.5 BETON (TÜBBINGEN)

Für die Bemessung der Aussenschale ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C40/50 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

$$E_{cm} = 34000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 41.5 \text{ MPa}$$

Wobei

- E_{cm} = Mittelwert Sekantenmodul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

2.6 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Bemessung der Außenschale ist Stahl der Klasse B450C heranzuziehen:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 450 \text{ MN/m}^2$$

Hierbei ist:

- E_s = Sekantenmodul
- f_{yk} = charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

Dove:

- E_{cm} è il valore medio del modulo elastico
- f_{ck} è la resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo dopo 28 giorni

2.5 CONCI

Per il dimensionamento del rivestimento in conci si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C40/50 con le seguenti caratteristiche:

Dove

- E_{cm} è il valore medio del modulo elastico
- f_{ck} è la resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo dopo 28 giorni

2.6 ACCIAIO DA ARMATURA

Per il dimensionamento dell'anello si utilizza l'acciaio tipo B450C:

dove:

- E_s = modulo elastico
- f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento acciaio per cemento armato

3 UNTERSUCHTE ABSCHNITTE

Um die massgebende Szenarien entlang der Abschnitt des Loses Mules 2-3, sowohl in Bezug auf die vorhandene Gebirge als auch in Bezug auf die Hohlraumgeometrie zu analysieren, werden folgende Abschnitte.

3.1 ABSCHNITT KM 14+050: ANALYSE IN BEREICH DER ZUGANGSTUNNEL

Der Abschnitt in der Nähe des km 14+050 wird analysiert, um den Einflüsse der in konventionell ausgebrochene Tunnel und Zugangstunnel auf dem logistische Platz zu überprüfen.

Abbildung 1 zeigt den Auszug aus dem geologische Lageplan der untersuchte Bereich, während Abbildung 2 zeigt die Analysenabschnitt mit den Hohlräumen und der Angabe der Abstände dazwischen.

Für die Beschreibung der geotechnischen Modells, der erwarteten Verhalten des vorhandenes Gebirges und der Beschreibung des numerischen Modells, wird an den Ziffern 4.1, 5.1 und 6.1 verwiesen.



Abbildung 1: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.

3 SEZIONI DI STUDIO

Al fine di analizzare gli scenari maggiormente significativi lungo l'intera tratta di appartenenza del Lotto Mules 2-3, sia dal punto di vista degli ammassi rocciosi presenti che per la disposizione geometrica delle cavità, verranno analizzate le seguenti sezioni di studio.

3.1 SEZIONE PK 14+050: ANALISI IN CORRISPONDENZA DELLA GALLERIA DI ACCESSO

La sezione in prossimità della progressiva Pk 14+050 viene analizzata per verificare gli influssi degli scavi eseguiti in tradizionale, delle gallerie di linea e della galleria di accesso sulla piazzola logistica sottostante.

In Figura 1 si riporta l'estratto planimetrico della tratta in esame mentre in Figura 2 si riporta la sezione di analisi con le cavità presenti e l'indicazione delle distanze tra di esse.

Per la descrizione del modello geotecnico, il comportamento atteso dell'ammasso roccioso presente e la descrizione del modello numerico, si rimanda rispettivamente ai paragrafi 4.1, 5.1 e 6.1.

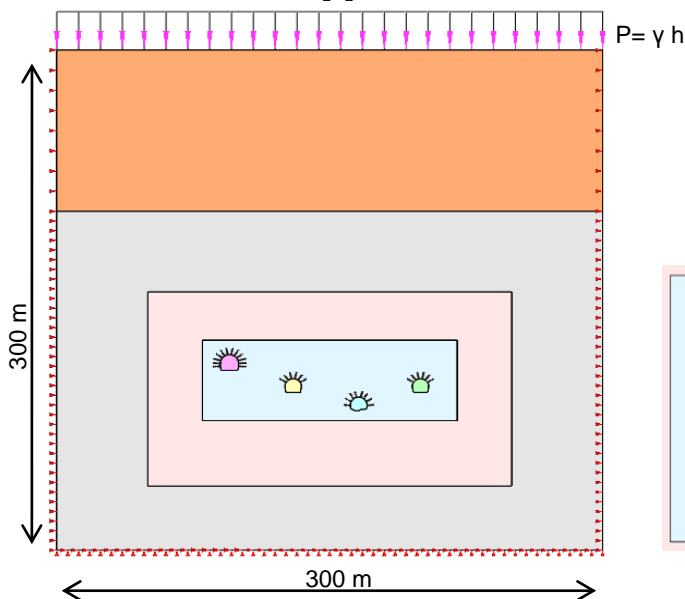


Abbildung 2: Analyseabschnitt Pk 14+050

Figura 1: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio.

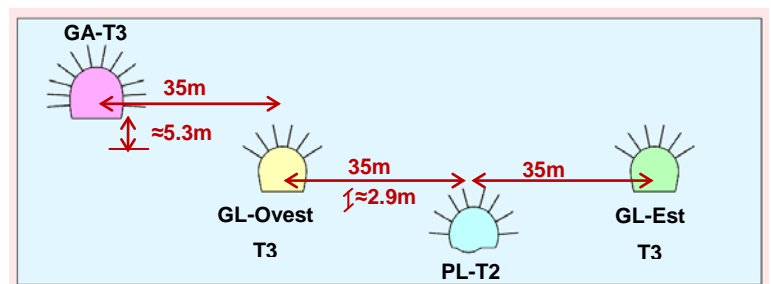


Figura 2: Sezione di analisi Pk 14+050

3.2 ABSCHNITT KM 14+150: ANALYSE IM BEREICH DER ÜBERSTIEG ZWISCHEN DEN ZENTRALTUNNEL TRENS UND DIE WESTRÖHRE

Der Abschnitt in der Nähe des km 14+150 wird analysiert, um den Einflüsse der in konventionell ausgebrochene Tunnel und Zentraltunnel Trens auf dem unten stehende Erkundungsstollen.

Abbildung 3 zeigt den Auszug aus dem geologische Lageplan der untersuchte Bereich, während Abbildung 4 zeigt die Analysenabschnitt mit den Hohlräumen und der Angabe der Abstände dazwischen.

Für die Beschreibung der geotechnischen Modells, der erwarteten Verhalten des vorhandenes Gebirges und der Beschreibung des numerischen Modells, wird an den Ziffern 4.1, 5.1 und 0. verwiesen.

3.2 SEZIONE PK 14+150: ANALISI IN PROSSIMITÀ DELLO SCAVALCO TRA CUNICOLO CENTRALE DI TRENS E GALLERIA DI LINEA OVEST

La sezione in prossimità della progressiva Pk 14+150 viene analizzata per verificare gli influssi degli scavi eseguiti in tradizionale, delle gallerie di linea e del cunicolo centrale di Trens sul cunicolo esplorativo sottostante.

In Figura 3 si riporta l'estratto planimetrico della tratta in esame mentre in Figura 4 si riporta la sezione di analisi con le cavità presenti e l'indicazione delle distanze tra di esse.

Per la descrizione del modello geotecnico, il comportamento atteso dell'ammasso roccioso presente e la descrizione del modello numerico, si rimanda rispettivamente ai paragrafi 4.1, 5.1 e 0.

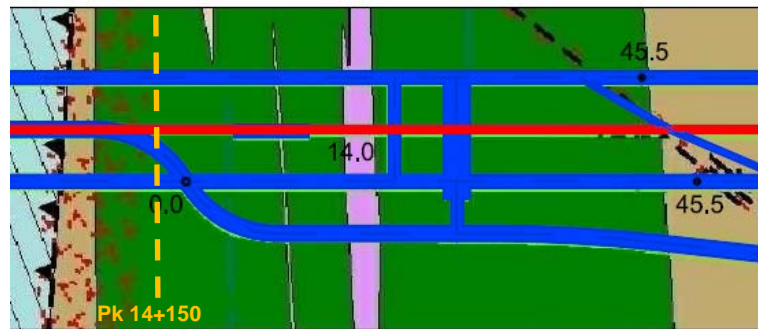


Abbildung 3: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.

Figura 3: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio.

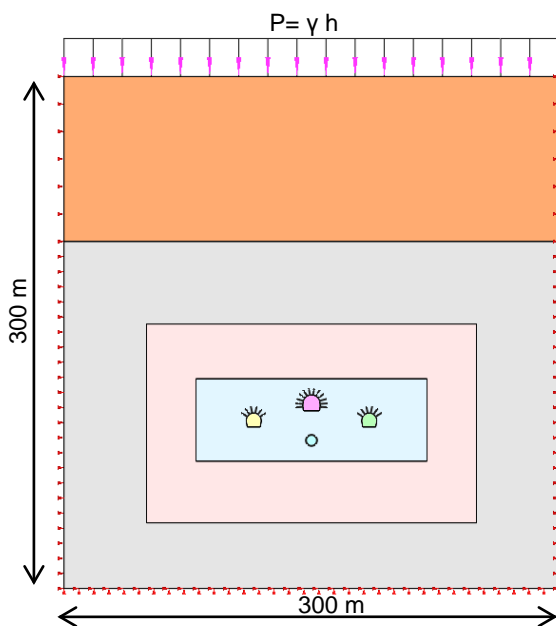


Abbildung 4: Analyseabschnitt Pk 14+150

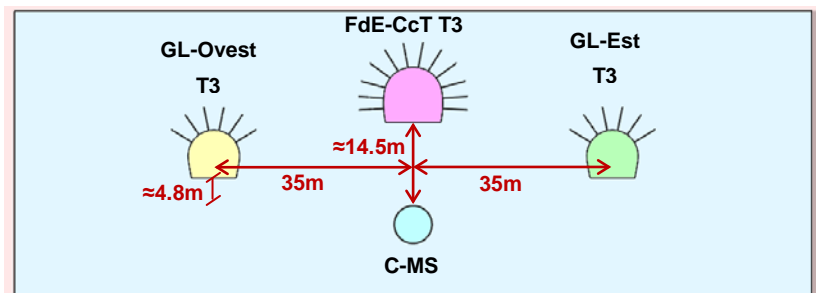


Figura 4: Sezione di analisi Pk 14+150

3.3 ABSCHNITT KM 14+300: ANALYSE IM BEREICH DER NOTHALTESTELLE

Der Abschnitt in der Nähe des km 14+300 wird analysiert, um den Einflüsse der in konventionell ausgebrochene Tunnel und Zentraltunnel Trens in Bereich der Nothaltestelle auf dem unten stehende Erkundungsstollen.

Abbildung 5 zeigt den Auszug aus dem geologische Lageplan der untersuchte Bereich, während Abbildung 6 zeigt die Analysenabschnitt mit den Hohlräumen und der Angabe der Abstände dazwischen.

Für die Beschreibung der geotechnischen Modells, der erwarteten Verhalten des vorhandenes Gebirges und der Beschreibung des numerischen Modells, wird an den Ziffern 4.2, 5.2 und 0. verwiesen.

3.3 SEZIONE PK 14+300: ANALISI IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI EMERGENZA

La sezione in prossimità della progressiva Pk 14+300 viene analizzata per verificare gli influssi degli scavi eseguiti in tradizionale, delle gallerie di linea e del cunicolo centrale di Trens all'interno della Fermata di Emergenza sul cunicolo esplorativo sottostante.

In Figura 5 si riporta l'estratto planimetrico della tratta in esame mentre in Figura 6 si riporta la sezione di analisi con le cavità presenti e l'indicazione delle distanze tra di esse.

Per la descrizione del modello geotecnico, il comportamento atteso dell'ammasso roccioso presente e la descrizione del modello numerico, si rimanda rispettivamente ai paragrafi 4.2, 5.2 e 0.

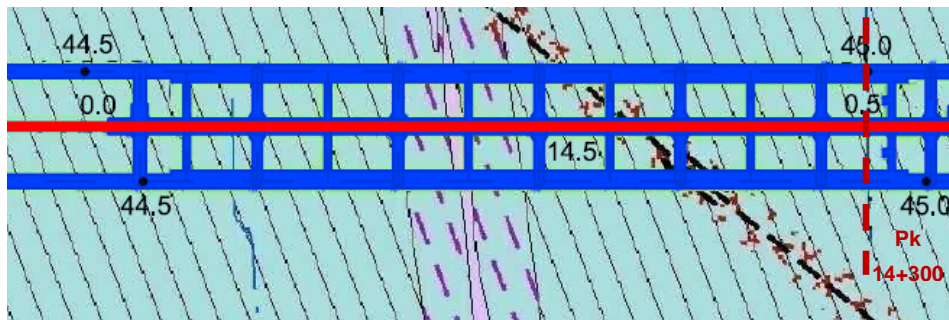


Abbildung 5: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.

Figura 5: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio.

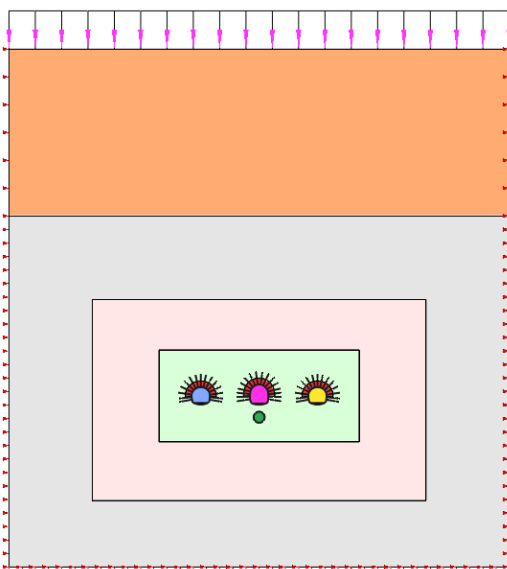


Abbildung 6: Analyseabschnitt Pk 14+300

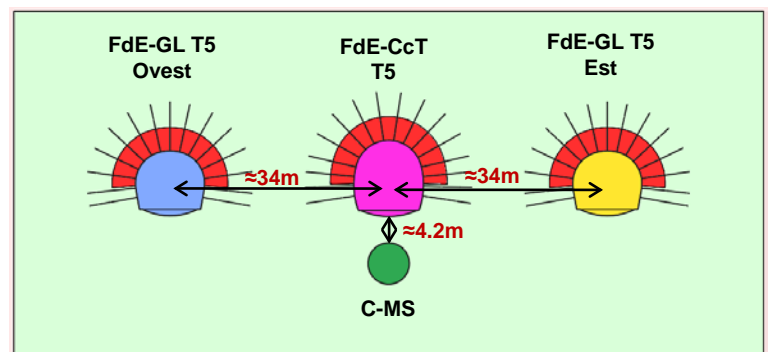


Figura 6: Sezione di analisi Pk 14+300

4 GEOTECHNISCHES MODELL

4.1 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK SCHNITT PK 14+050 UND PK 14+150

Die Bauteile in den Analysenabschnitten km 14+050 und 14+150 fallen im geomechanischen Bereich 14, bestehend hauptsächlich aus Amphibolite (85%) und aus Paragneiss (15%) [4] mit variablen Überdeckung von 1095 bis 1200 m.

In Folge werden die Daten der, laut dem Dokumente [4], vom Aushub betroffenen homogenen Strecken, aufgezeigt.

| Zone number | Zone initial pk (approx.) | Zone final pk (approx.) | Zone length | Zone max overburden | Zone min overburden | Rock mass name | Rock mass Length | |
|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------|-------|
| | [km] | [km] | [m] | [m] | [m] | | [% of zone length] | [m] |
| 14 | 45.1 | 45.5 | 390 | 1200 | 1095 | GA-BCA-A-10g | 85% | 331.5 |
| | | | | | | GA-BCA-GS-10g | 15% | 58.5 |

Tabelle 1 Geomechanische Homogenbereiche

Folgende Tabellen zeigen die geomechanischen Grundparameter für die Definition der geomechanisch homogenen Zonen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Bieniawskis [4] der unterschiedlichen Klassen.

| Zone number | 14 | |
|---------------------------------------|--------------|---------------|
| Rock mass name | GA-BCA-A-10g | GA-BCA-GS-10g |
| $\gamma(m)$ [kN/m ³] | 27.8 | 27.3 |
| $\gamma(\sigma)$ [kN/m ³] | 0.52 | 1.49 |
| $\sigma_{ci}(m)$ [MPa] | 140 | 75 |
| $\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa] | 48 | 5 |
| $m_i(m)$ | 20 | 17 |
| $m_i(\sigma)$ | 6 | 3 |
| $E_i(m)$ [GPa] | 53 | 56 |
| $E_i(\sigma)$ [GPa] | 8 | 10.9 |
| RMR(m) | 70 | 60 |
| RMR(σ) | 5 | 5 |
| GSI(m) | 65 | 50 |
| GSI(σ) | 10 | 5 |

| Zone number | 14 | |
|----------------|--------------|-------------------|
| Rock mass name | GA-BCA-A-10g | GA-BCA-GS-10g (*) |
| p(class I) | - | - |
| p(class II) | 100% | - |
| p(class III) | - | 100% |
| p(class IV) | - | - |
| p(class V) | - | - |

Tabelle 2: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegebenen Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt).

4 MODELLO GEOTECNICO

4.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA SEZIONE PK 14+050 E PK 14+150

Le parti d'opera in corrispondenza delle sezioni di analisi alle progressive Pk 14+050 e Pk 14+150 ricadono all'interno della zona geomeccanica 14, costituita in prevalenza dal complesso delle Anfiboliti (85%) e dal complesso dei Paragneiss (15%) [4] con coperture variabili da 1095 a 1200 m.

Nel seguito si riportano i dati delle tratte omogenee interessate dallo scavo secondo il documento [4].

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee

Le seguenti tabelle riportano i parametri geomeccanici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanica omogenea e la distribuzione probabilistica delle diverse classi secondo la classificazione di Bieniawski [4].

Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI).

Wobei:

- γ = spezifisches Gewicht des Gebirges
- σ_{ci} = einaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix
- m_i = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gebirgsmaterial
- E_i = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix
- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- GSI = *Geological Strength Index*

Die typischen Verformungs- und Festigkeitsparameter jeder Strecke wurden gemäß dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [32] berechnet, welches im allgemeinen geomechanischen Bericht [1] näher beschrieben wird.

Dove:

- γ è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- m_i è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.
- E_i è il modulo di deformazione di matrice.
- RMR è il *Rock Mass Rating 1989*.
- GSI è il *Geological Strength Index*.

I parametri di deformabilità e di resistenza caratteristici di ciascuna tratta sono stati calcolati in accordo al principio di linearizzazione dell'involuppo di rottura proposto da Hoek & Brown [32] e esplicitato nella relazione geomeccanica generale [1].

| Zone number | Rock mass name | Class [-] | Zone max overburden [m] | γ [kN/m ³] | Φ_{peak} [°] | Φ_{res} [°] | C_{peak} [MPa] | C_{res} [MPa] | E_{rm} [MPa] | Ψ [°] |
|-------------|----------------|-----------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|
| 14 | GA-BCA-A-10g | II | 1200 | 27.8 | 42.21 | 33.15 | 4.887 | 2.900 | 21074 | 6.86 |
| | GA-BCA-GS-10g | III | | 27.3 | 36.23 | 28.85 | 3.535 | 2.274 | 15528 | 4.53 |

Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen

Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi

Wobei:

- Φ_{peak} Reibungswinkel am Peak
- Φ_{res} Restreibungswinkel
- C_{peak} Kohäsion am Peak
- C_{res} Restkohäsion
- E_{rm} Gebirgsmodul
- Ψ Dilatanz

Dove:

- Φ_{peak} è l'angolo d'attrito di picco.
- Φ_{res} è l'angolo d'attrito residuo.
- C_{peak} è la coesione di picco.
- C_{res} è la coesione residua.
- E_{rm} è il modulo d'ammasso.
- ψ è la dilatanza.

4.2 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK ABSCHNITT KM 14+300

Die Abschnitt in Bereich der Nothaltestellen befindet sich in der geomechanischen Zonen 11-13, bestehend hauptsächlich aus Schiefen [4] und mit einer variablen Überdeckung vom 1025 m bis 1115 m.

| Zone number | Zone initial pk (approx.) | Zone final pk (approx.) | Zone length | Zone max overburden | Zone min overburden | Rock mass name | Rock mass Length | |
|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------|--------|
| | [km] | [km] | [m] | [m] | [m] | | [% of zone length] | [m] |
| 11 | 43.8 | 44.6 | 335 | 1060 | 905 | GA-BST-KS-8f | 100% | 335 |
| 12 | 44.6 | 44.7 | 75 | 1080 | 1060 | GA-BST-KPH-8f | 87% | 65.25 |
| | | | | | | GA-T-R-8f | 0-13% | 0-9.75 |
| | | | | | | GA-T-A-8f | 0-13% | 0-9.75 |
| 13 | 44.7 | 45.1 | 346 | 1115 | 1025 | GA-BST-KS-8f | 100% | 346 |

Tabelle 4: Geomechanische Homogenbereiche

Folgende Tabellen zeigen die geomechanischen Grundparameter für die Definition der geomechanisch homogenen Zonen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Bieniawski [4] der unterschiedlichen Klassen.

| Zone number | 11 | 12 | | | 13 |
|--------------------------------------------|--------------|---------------|-----------|-----------|--------------|
| Rock mass name | GA-BST-KS-8f | GA-BST-KPH-8f | GA-T-R-8f | GA-T-A-8f | GA-BST-KS-8f |
| γ (m) [kN/m ³] | 26.6 | 27.3 | 25 | 28.2 | 26.6 |
| γ (σ) [kN/m ³] | 0.36 | 0.04 | 0.5 | 0.45 | 0.36 |
| σ_{ci} (m) [MPa] | 41 | 54 | 15 | 48 | 41 |
| σ_{ci} (σ) [MPa] | 18 | 13 | 10 | 16 | 18 |
| m_i (m) | 12 | 8 | 7 | 13 | 12 |
| m_i (σ) | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| E_i (m) [GPa] | 43 | 39 | 5 | 46 | 43 |
| E_i (σ) [GPa] | 11.1 | 5.5 | 3 | 1.3 | 11.1 |
| RMR(m) | 60 | 45 | 30 | 60 | 60 |
| RMR(σ) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| GSI(m) | 50 | 40 | 25 | 60 | 50 |
| GSI(σ) | 5 | 5 | 5 | 10 | 5 |

| Zone number | 11 | 12 | | | 13 |
|----------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Rock mass name | GA-BST-KS-8f ^(**) | GA-BST-KPH-8f ^(*) | GA-T-R-8f ^(*) | GA-T-A-8f ^(*) | GA-BST-KS-8f ^(**) |
| p(class I) | - | - | - | - | - |
| p(class II) | - | - | - | - | - |
| p(class III) | 100% | 100% | - | 100% | 100% |
| p(class IV) | - | - | 100% | - | - |
| p(class V) | - | - | - | - | - |

Tabelle 5: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegeben Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt).

Wobei:

- γ = Gewicht des natürlichen Volumen der Gebirges
- σ_{ci} = monoaxialen Druckfestigkeit der Matrix
- m_i = Krümmungsparameter der dreiaxialen Bruchhülle des Gebirgsmaterial
- E_i = Verformungsmodul der Matrix

4.2 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK SEZIONE PK 14+300

La tratta in corrispondenza della fermata di emergenza si sviluppa all'interno delle zone geomeccaniche 11-13 costituite in prevalenza dal complesso dei calcescisti [4] e con coperture variabili da 1025 a 1115 m.

Tabella 4: Zone geomeccaniche omogenee

Le seguenti tabelle riportano i parametri geomeccanici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanica omogenea e la distribuzione probabilistica delle diverse classi secondo la classificazione di Bieniawski [4].

Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI).

Dove:

- γ è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- m_i è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.

- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- GSI = *Geological Strength Index*

Die typischen Verformungs- und Festigkeitsparameter jeder Strecke wurden gemäß dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [32] berechnet, welches im allgemeinen geomechanischen Bericht [1] näher beschrieben wird.

- E_i è il modulo di deformazione di matrice.
- RMR è il *Rock Mass Rating 1989*.
- GSI è il *Geological Strength Index*.

I parametri di deformabilità e di resistenza caratteristici di ciascuna tratta sono stati calcolati in accordo al principio di linearizzazione dell'involuppo di rottura proposto da Hoek & Brown [32] e esplicitato nella relazione geomeccanica generale [1].

| Zone number | Rock mass name | Class [-] | Zone max overburden [m] | γ [kN/m ³] | Φ_{peak} [°] | Φ_{res} [°] | c_{peak} [MPa] | c_{res} [MPa] | E_{rm} [MPa] | Ψ [°] |
|-------------|----------------|-----------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|
| 11 | GA-BST-KS-8f | III | 1060 | 26.6 | 28.07 | 21.47 | 2.127 | 1.349 | 11135 | 3.5 |
| 12 | GA-BST-KPH-8f | III | 1080 | 27.3 | 24.81 | 20.18 | 1.892 | 1.314 | 5787 | 3.1 |
| | GA-T-R-8f | IV | | 25.0 | 12.65 | 11.32 | 0.685 | 0.557 | 209 | 0.0 |
| | GA-T-A-8f | III | | 28.2 | 32.69 | 23.42 | 2.943 | 1.644 | 23582 | 6.1 |
| 13 | GA-BST-KS-8f | III | 1115 | 26.6 | 27.69 | 21.15 | 2.193 | 1.392 | 11504 | 3.5 |

Tabelle 6: Typische Parameter des Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen

Tabella 6: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi

Wobei:

- Φ_{peak} Reibungswinkel am Peak
- Φ_{res} Restreibungswinkel
- c_{peak} Kohäsion am Peak
- c_{res} Restkohäsion
- E_{rm} Gebirgsmodul
- Ψ Dilatanz

Dove:

- Φ_{peak} è l'angolo d'attrito di picco.
- Φ_{res} è l'angolo d'attrito residuo.
- c_{peak} è la coesione di picco.
- c_{res} è la coesione residua.
- E_{rm} è il modulo d'ammasso.
- ψ è la dilatanza

In Übereinstimmung mit den geomechanischen Profilen und den Projektschnitten [5]-[6] im Inneren der Nothaltenstellen befinden sich zwei mögliche Störungszonen, System S30 (scheinbare Mächtigkeit 30 m, damaged zone 80% = 24 m, core zone 20% = 6 m) und System TWS1 (scheinbare Mächtigkeit 70 m, damaged zone 97% = 68 m, core zone 3% = 2 m) und zwar im Bereich der km 45.0 und 44.8 (Oströhre).

In accordo con i profili geomeccanici e progettuali di dettaglio [5]-[6] all'interno della fermata di emergenza sono presenti potenzialmente 2 zone di faglia denominate sistema S30 (spessore apparente 30 m; damaged zone 80% = 24 m; core zone 20% = 6 m) e sistema TWS1 (spessore apparente 70 m; damaged zone 97% = 68 m; core zone 3% = 2 m) in corrispondenza rispettivamente delle pk. 45.0 e 44.8 (galleria di linea canna est).

5 GEBIRGSVERHALTEN

Um die Einflüsse zwischen der Ausbrüche der Hohlräume über der Erkundungstunnel zu überprüfen, wurden spezifische numerische Modelle entwickelt (siehe Kap. 6).

Zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens ist das Kennlinienverfahren anzuwenden.

5.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS SCHNITT PK 14+050 UND PK 14+150

Zur Abschätzung des Gebirgsverhaltens wurden die Dokumente [1] und [4] berücksichtigt. Für weitere Details verweist man auf den Bericht [4]. In der folgenden Tabelle werden die aus dem Gebirgskennlinienverfahren resultierenden Ergebnisse aufgezeigt (vgl. Anhang 1).

| Zone number | Rock mass name | Class | Zone max overburden | c_f | c_a | c_r | F_{plf} | F_{pla} | c_f/R | F_{plf}/R | c_r/R | F_{pla}/R |
|-------------|----------------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|---------|-------------|---------|-------------|
| | | | | [cm] | [cm] | [cm] | [m] | [m] | [%] | [-] | [%] | [-] |
| 14 | GA-BCA-A-10g | II | 1200 | 0.66 | 2.22 | 1.55 | 0.00 | 2.39 | 0.14% | 0.00 | 0.32% | 0.49 |
| | GA-BCA-GS-10g | III | | 1.39 | 4.62 | 3.23 | 0.96 | 4.61 | 0.29% | 0.20 | 0.67% | 0.95 |


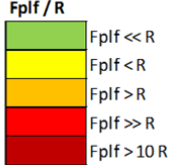
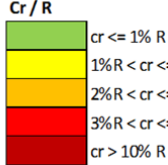
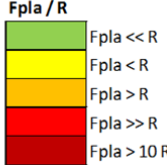
| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cf / R  | Fplf / R  | Cr / R  | Fpla / R  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabelle 7: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_f = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen).

In ist ein Annahmekriterium Tabelle 8 [30], [31] aufgezeigt, welches der Einschätzung des Verhaltens der Ortsbrust in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse aus dem Gebirgskennlinienverfahren dient (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung der plastischen Zone an der Ortsbrust).

| Fronte stabile Stabile Ortsbrust | Fronte stabile a breve termine Kurzzeitig stabile Ortsbrust | Tendenza all'instabilità del fronte Neigung der Ortsbrust zur Instabilität | Fronte instabile Instabile Ortsbrust |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $c_f < 1\% R_{scavo}$ | $1\% R_{scavo} < c_f < 2\% R_{scavo}$ | $2\% R_{scavo} < c_f < 3\% R_{scavo}$ | $c_f > 3\% R_{scavo}$ |
| $F_{plf} \ll R_{scavo}$ | $F_{plf} < R_{scavo}$ | $F_{plf} \geq R_{scavo}$ | $F_{plf} \gg R_{scavo}$ |

Tabelle 8: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [30] [31]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{plf} = Ausdehnung des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq} =$ äquivalenter Ausbruchradius

Das Berechnungsergebnis zeigt, dass für die Gebirge GA-BCA-A-10g und GA-BCA-GS-10g geringe Verformungs- und Stabilitätsprobleme (< 5 cm) zu erwarten sind. Das erwartete Verhalten des Hohlraums ist im Wesentlichen von elastischer Art mit einer plastischen Zone, die kleiner als der

5 COMPORTEMENTO DELLA ROCCIA

Al fine di verificare gli influssi tra gli scavi delle cavità sovrastanti il cunicolo esplorativo, sono stati sviluppati modelli numerici specifici (si veda Cap. 6).

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso si utilizza il metodo delle curve caratteristiche.

5.1 VALUTAZIONE DEL COMPORTEMENTO DELLA ROCCIA SEZIONE PK 14+050 E PK 14+150

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso roccioso nella tratta in esame sono stati presi in considerazione i documenti [1] e [4]. Rimandando al Rapporto [4] per maggiori dettagli, si riportano nella tabella seguente i risultati ottenuti dalle linee caratteristiche (vedasi Appendice 1).

Tabella 7: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_f = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m).

In Tabella 8 si riporta un criterio [30] [31] per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

Tabella 8: Criteri di stabilità proposti in [30] [31]; c_f = convergenza al fronte; F_{plf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq} =$ raggio equivalente di scavo.

Dall'analisi si evidenzia come per gli ammassi GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g si possono attendere basse problematiche deformative (< 5 cm) e di stabilità. Il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente elastico con fascia plastica, inferiore al raggio di scavo, e il fronte si presenta pressoché

Aushubradius ist, und die Ortsbrust erscheint fast stabil.

stabile.

Für numerische Analyse (Kap. 6.1 und 6.2) werden konservativ die Parameter der Gebirge GA-BCA-GS-10g berücksichtigt.

Per l'analisi numerica (Cap. 6.1 e 6.2) verranno considerati cautelativamente i parametri dell'ammasso GA-BCA-GS-10g.

5.2 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS SCHNITT PK 14+300

5.2 VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA SEZIONE PK 14+300

Zur Einschätzung des Verhaltens des untersuchten Gebirges wurden die Dokumente [1] und [4] berücksichtigt. In der folgenden Tabelle werden die aus der Analyse der Kennlinienverfahren erhaltenen Ergebnisse aufgezeigt (vgl. Anhang 1).

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso roccioso nella tratta in esame sono stati presi in considerazione i documenti [1] e [4]. Si riportano nella tabella seguente i risultati ottenuti dalle linee caratteristiche (vedasi Appendice 1).

| Zone number | Rock mass name | Class | Zone max overburden | c_f | c_a | c_r | F_{plf} | F_{pla} | c_f/R | F_{plf}/R | c_r/R | F_{pla}/R |
|-------------|----------------|-------|---------------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|---------|-------------|---------|-------------|
| | | | | [cm] | [cm] | [cm] | [m] | [m] | [%] | [-] | [%] | [-] |
| 11 | GA-BST-KS-8f | III | 1060 | 6.06 | 20.20 | 14.14 | 6.12 | 13.95 | 1.25% | 1.26 | 2.91% | 2.87 |
| 12 | GA-BST-KPH-8f | III | 1080 | 17.56 | 58.53 | 40.97 | 8.82 | 18.84 | 3.61% | 1.81 | 8.43% | 3.88 |
| | GA-T-R-8f | IV | | 119863 | 399543 | 279680 | 328 | 603 | 247 | 67 | 575 | 124 |
| | GA-T-A-8f | III | | 2.06 | 6.87 | 4.81 | 3.57 | 9.07 | 0.42% | 0.73 | 0.99% | 1.87 |
| 13 | GA-BST-KS-8f | III | 1115 | 6.68 | 22.26 | 15.58 | 6.58 | 14.79 | 1.37% | 1.35 | 3.21% | 3.04 |

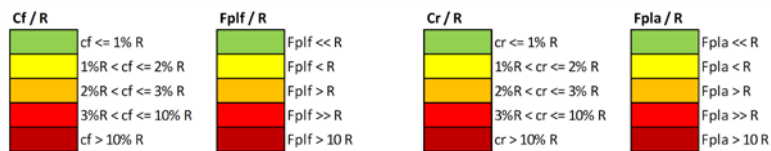


Tabelle 9: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_f = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen).

Tabella 9: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_f = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m)

Die fasst Tabelle 9 die Hinweise zusammen, die durch die Methoden von Jehtwa, Bhasin, Hoek und Panet zur Überprüfung des Risikos von hohen Verformungen des Gebirges (*squeezing*) und von Instabilität an der Ortsbrust erhalten wurden, sowie die Hinweise zu möglichem Sprödbbruch (*rock burst*) durch die Methoden von Tao Zhen-Yu und Hoek.

All'interno della Tabella 10 sono riassunte le indicazioni ottenute dai metodi di Jehtwa, Bhasin, Hoek e Panet per quanto riguarda la valutazione del rischio di elevate deformazioni dell'ammasso (*squeezing*) e di instabilità del fronte, insieme a quelle ottenute dai metodi di Tao Zhen-Yu e Hoek per il rischio di rottura fragile (*rock burst*).

Die Tabelle 10 gibt ein Annahmekriterium [30] [31] wieder, durch das das Verhalten der Ortsbrust in Funktion der Berechnungsergebnisse aus dem Gebirgskennlinienverfahren eingeschätzt wird (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung der plastischen Zone an der Ortsbrust).

In Tabella 11 si riporta un criterio [30] [31] per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

| Zone number | Rock mass name | Class | Zone max overburden | Empirical methods | | | | | | |
|-------------|----------------|-------|---------------------|------------------------------|--------|------|----------------|----------------|-------------|------|
| | | | | Squeezing and face stability | | | | Rock burst | | |
| | | | | Jehtwa | Bhasin | Hoek | Panet | | Tao Zhen-Yu | Hoek |
| | | | | | | | Face behaviour | Face condition | | |
| 11 | GA-BST-KS-8f | III | 1060 | HS | HS | SS | P | US | | |
| 12 | GA-BST-KPH-8f | III | 1080 | HS | HS | VSS | P | US | | |
| | GA-T-R-8f | IV | | HS | HS | ES | P | US | | |
| | GA-T-A-8f | III | | HS | HS | MS | P | STS | | |
| 13 | GA-BST-KS-8f | III | 1115 | HS | HS | VSS | P | US | | |

| Jehtwa | Bhasin | Hoek (Squeezing) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|
| NS No squeezing | NS No squeezing | FP Few stability problems |
| MIS Mildly squeezing | MS Mild to moderate squeezing | MS Minor squeezing problems |
| MoS Moderately squeezing | HS Highly squeezing | SS Severe squeezing problems |
| HS Highly squeezing | | VSS Very severe squeezing and face stability problems |
| | | ES Extreme squeezing problems |

| Panet | Tao Zhen-Yu | Hoek (Rock burst) |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| E Elastic | NRB No rockbursting | S Stability |
| PP Partially plastic | LRB Low rockbursting activity | Sp Spalling |
| P Plastic | MRB Moderate rockbursting activity | SSp Severe spalling - slabbing |
| S Stable | HRB High rockbursting activity | ISM Need of important stabilization measures |
| STS Stable (only short-term) | | RB Cavity collapse (rock burst) |
| US Unstable | | |

Tabelle 10: Ergebnisse der empirischen Methoden

Tabella 10: Risultati dei metodi empirici.

| Fronte stabile Stabile Ortsbrust | Fronte stabile a breve termine Kurzzeitige Stabile Ortsbrust | Tendenza all'instabilità del fronte Neigung der Ortsbrust zur Instabilität | Fronte instabile Instabile Ortsbrust |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $C_f < 1\% R_{scavo}$ | $1\% R_{scavo} < C_f < 2\% R_{scavo}$ | $2\% R_{scavo} < C_f < 3\% R_{scavo}$ | $C_f > 3\% R_{scavo}$ |
| $F_{plf} \ll R_{scavo}$ | $F_{plf} < R_{scavo}$ | $F_{plf} \geq R_{scavo}$ | $F_{plf} \gg R_{scavo}$ |

Tabelle 11 Vorgeslagene Stabilitätskriterien in [30] [31]; C_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{plf} = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Aushebungsradius.

Tabella 11: Criteri di stabilità proposti in [30] [31]; C_f = convergenza al fronte; F_{plf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.

Beim Gebirge GA-T-A-8f weist man darauf hin, dass es sich um ein Gebirge mit begrenzten Verformungsproblemen (< 10 cm) und Stabilitätsproblemen handelt. Man erwartet sich daher hauptsächlich ein elastisch-plastisches Verhalten des Hohlraums mit einem plastifizierten Streifen an der Ortsbrust, der geringer als der Ausbruchradius ausfällt, und eine fast standhafte Ortsbrust.

Beim Gebirge GA-BST-KS-8f weist man darauf hin, dass es sich um ein mittelmäßig druckhaftes Gebirge handelt, das Verformungen von 15 cm bzgl. des natürlichen Gleichgewichts zeigt. Man erwartet sich daher hauptsächlich ein elastisch-plastisches Verhalten des Hohlraums mit einem plastifizierten Streifen an der Ortsbrust, der dem Ausbruchradius entspricht, und eine kurzzeitig fast standhafte Ortsbrust.

Beim Gebirge GA-BST-KPH-8f weist man darauf hin, dass es sich um ein stark druckhaftes Gebirge handelt, das Verformungen von 40 cm bzgl. des natürlichen Gleichgewichts zeigt. Man erwartet sich daher ein plastisches Verhalten des Hohlraums mit einem tief plastifizierten Streifen an der Ortsbrust und eine instabile Ortsbrust.

Beim Gebirge GA-T-R-8f, das aus rolligen Formationen wie Rauwacken, Siltiten, Clay gouge, Dolomitsanden und Phylliten besteht, erwartet man sich Lockerungen und tiefe Plastifizierungen zusammen mit hohen Verformungen. Laut den Dokumenten [5]-[6] besitzt diese Formation eine variable Länge von 0 bis ca. 10 m.

Per quanto riguarda l'ammasso GA-T-A-8f si evidenzia come si è in presenza di un ammasso in cui si possono attendere limitate problematiche deformative (< 10 cm) e di stabilità. Il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente elasto-plastico con fascia plastica al fronte, inferiore al raggio di scavo, e il fronte si presenta pressoché stabile.

Per quanto riguarda l'ammasso GA-BST-KS-8f, si evidenzia un comportamento mediamente spingente con convergenze relative all'equilibrio naturale dell'ordine di 15 cm. Il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente elasto-plastico con fascia plastica al fronte circa pari al raggio di scavo, e il fronte si presenta stabile a breve termine.

Per l'ammasso GA-BST-KPH-8f si evidenzia un comportamento fortemente spingente con convergenze relative all'equilibrio naturale dell'ordine di 40 cm. Il comportamento del cavo atteso è di tipo plastico con plasticizzazione profonda dell'ammasso roccioso e il fronte si presenta instabile.

Per quanto riguarda lo scavo all'interno dell'ammasso GA-T-R-8f composto da formazioni incoerenti come carniolate, siltite, claygouge, sabbia di dolomia e filladi, sono attesi allentamenti e plasticizzazioni profonde connessa a deformazioni elevate. Secondo i documenti [5]-[6], questa formazione ha una lunghezza limitata variabile da 0 a circa 10 m.

Für numerische Analyse in Kap 6.3 wird das am meisten vorhanden Gebirge (GA-BST-KS-8f) berücksichtigt.

Für die Ausbrüche der Gebirge GA-T-R-8f, GA-BST-KPH-8f und in der Störzonen gelten die Vorschriften aus dem Bericht *Risikomanagement* (02_H61_EG_991_KTB_D0700_15005).

Per l'analisi numerica riportata al Cap. 6.3 verrà considerato l'ammasso maggiormente presente nella tratta (GA-BST-KS-8f).

Per lo scavo negli ammassi GA-T-R-8f, GA-BST-KPH-8f e nelle zone di faglia si rimanda alle prescrizioni contenute nel Rapporto *Procedura di gestione del rischio* (02_H61_EG_991_KTB_D0700_15005).

6 NUMERISCHE MODELLE

Die numerischen Analysen wurden unter Berücksichtigung einen ebenen Verzerrungszustand durchgeführt und mittels der Finite-Elemente-Software MIDAS GTS entwickelt [40].

Die verwendeten Software ermöglichen die Lastgeschichte und das Spannungs-Verformungsverhalten des Gebirges im Verlauf sämtlicher Stufen im Bauzustand zu berücksichtigen.

Bei ebenen Verformungen werden folgende Analysen durchgeführt:

- die Bestimmung des geotechnischen Bezugsmodells das einen Querschnitt zur Tunnelachse darstellt;
- die Bestimmung der Kraft-Verformungs- und Festigkeitsgesetze des vom Aushub betroffenen Gebirges;
- die Bestimmung des Spannungszustands im Gebirge vor dem Tunnelaushub;
- die Simulation der Aushubphasen und der Stützenaufstellung.

Nachfolgend werden die Annahmen für die Abschnitte gemäss Kap. 3 beschrieben, während in den Anhängen 2-4 die entsprechenden Statikausdrücke ersichtlich sind.

6.1 ABSCHNITT PK 14+050

Das Berechnungsmodell, der Problemsymmetrie zufolge, erstreckt sich für eine Totallänge von 300 m (100 m von den beiden Enden des Tunnels und der Oströhre) 300 m in der Höhe, von denen 100 m unterhalb der Schienenebene der Tunnels und 200 m oberhalb. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Mesh verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von 50x50 cm. Die gewählten Auflagebedingungen verhindern eine Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modellrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

6 MODELLI NUMERICI

Le analisi numeriche sono state eseguite in condizioni di deformazione piana e sono state sviluppate mediante il software agli elementi finiti MIDAS GTS [40].

I software impiegati consentono di seguire la storia di carico e il comportamento tensio-deformativo dell'ammasso roccioso durante tutti gli step per la realizzazione delle opere.

Le analisi, condotte nell'ipotesi di deformazioni piane, comportano:

- la definizione del modello geotecnico di riferimento che rappresenta una sezione trasversale all'asse della galleria;
- la definizione delle leggi sforzo-deformazione e di resistenza dell'ammasso roccioso interessato dagli scavi;
- la definizione dello stato tensionale presente nell'ammasso prima dello scavo della galleria;
- la simulazione delle fasi di scavo e di messa in opera dei sostegni.

Nei seguenti paragrafi vengono riportate le assunzioni eseguite per le sezioni di studio illustrate al Cap. 3 mentre nelle Appendici 2-4 sono riportati i rispettivi plot di calcolo.

6.1 SEZIONE PK 14+050

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende in larghezza per un totale di 300 m (100 m in agli estremi della GA e della GL-Est), 300 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro delle GL e 200 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm. Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

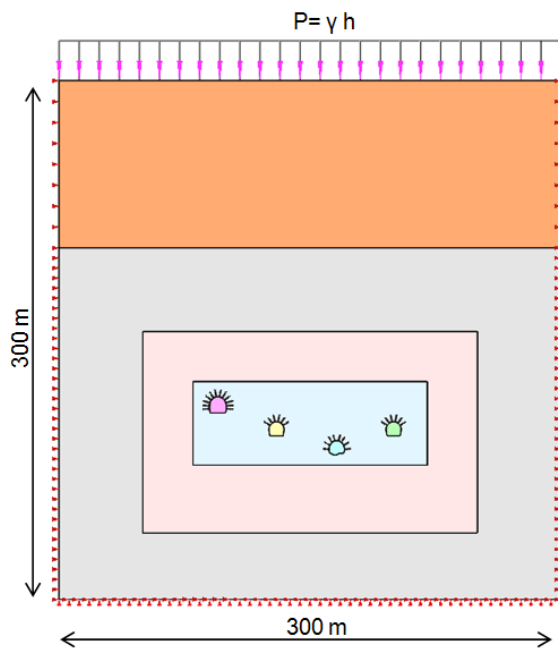


Abbildung 7: Analyseabschnitt pk 14+050

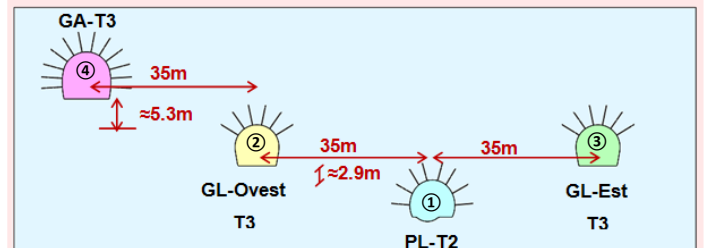


Figura 7: sezione di analisi pk 14+050

6.1.1 Bildendes Gebirgsmodell

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [32] und Restparameter, die gemäß der Cai et. al [39] Theorie bewertet werden. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen (m_b , s mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Aushub betroffenen Felsen bestimmt.

Aufgrund der im Abs. 4.1 aufgezeigten Bemerkungen, werden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BCA-GS-10g berücksichtigt:

| Zone max overburden [m] | GSI | GSI _{res} | γ [kN/m ³] | E_m [MPa] | σ_{ci} [MPa] | σ_{cm} [MPa] | m_i [-] | $m_{b, peak}$ [-] | $m_{b, res}$ [-] | $s_{, peak}$ [-] | $s_{, res}$ [-] |
|-------------------------------|-----|--------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1200 | 50 | 25.59 | 27.3 | 15528 | 72.5 | 15.60 | 15.5 | 2.599 | 1.087 | 0.0039 | 0.0003 |

Tabelle 12: Berücksichtigte geomechanische Parameter

6.1.1 Modello costitutivo dell'ammasso

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [32] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [39] e riportata nel Rapporto [1]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche (m_b , s con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Sulla base delle considerazioni riportate nel Par 4.1, vengono considerati i parametri geomeccanici dell'ammasso GA-BCA-GS-10g:

Tabella 12: Parametri geomeccanici considerati

Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Wobei:

Dove

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K_0 = Beiwert des waagrechten Schubs, gleich 0.75 angenommen.

- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K_0 è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

6.1.2 **Eigenschaften der Außenschale**

Folgende Tabellen zeigen die Eigenschaften der Ausbruchsicherungsmassnahmen für das Profil GL-T3, GA-T3 und PL-T2 auf:

| | Anker Chiodature | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | |
|--------------|---------------------|------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Typ Tipo | N _y [kN] | L [m] | i _{längs/} long [m] | i _{quer/} trasv [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | S _{nom} [cm] | S _{min} [cm] |
| GL T3 | Pm24 | 200 | 4.5 | 1.5 | 1.8 | 5+6 | C30/37 | 15 | 10 |

Tabelle 13: Charakteristiken der Außenschale GL-T3

6.1.2 **Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase**

Le seguenti tabelle riportano le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per i profili GL-T3, GA-T3 e PL-T2:

Tabella 13: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL T3

| | Anker Chiodature | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | |
|--------------|---------------------|------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Typ Tipo | N _y [kN] | L [m] | i _{längs/} long [m] | i _{quer/} trasv [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | S _{nom} [cm] | S _{min} [cm] |
| GA T3 | Pm24 | 200 | 4.5 | 1.5 | 1.8 | 9+10 | C30/37 | 15 | 10 |

Tabelle 14: Charakteristiken der Außenschale GA-T3

Tabella 14: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T3

| | Anker Chiodature | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | |
|--------------|---------------------|------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Typ Tipo | N _y [kN] | L [m] | i _{längs/} long [m] | i _{quer/} trasv [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | S _{nom} [cm] | S _{min} [cm] |
| PL T2 | Pm24 | 200 | 4.5 | 1.5 | 1.8 | 5+6 | C30/37 | 20 | 15 |

Tabelle 15: Charakteristiken der Außenschale PL-T2

Tabella 15: Caratteristiche rivestimenti di prima fase PL-T2

Die Anker werden ins Modell eingefügt und zwar mit einem Grenzwiderstand, der ihrer Ermüdungsfestigkeit entspricht, die um den Widerstandsbeiwert ($\gamma_R = 1.15$) und der Reibung ($\gamma_R = 1.3$) faktorisiert wird, so wie mit BBT SE abgesprochen.

Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 8) und Von Mises Bruchkriterium ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 174$ kN). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querschnitts (100 kN/m) und der tangentialen Steifigkeit (10 MN/m/m) [38] berücksichtigt werden. Vorsichtshalber wird die Innenschale in Spritzbeton weggelassen, da sie als bauliche Maßnahme berücksichtigt wird, welche zur Sicherheit bzgl. des Abbrechens von kleinen Felsenvolumen geeignet ist.

I chiodi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ($\gamma_R = 1.15$) e sull'aderenza di ($\gamma_R = 1.3$) come concordato con BBT SE.

Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 8) con criterio di rottura alla Von Mises ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 174$ kN) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (100 kN/m) e rigidità tangenziale (10 MN/m/m) [38].

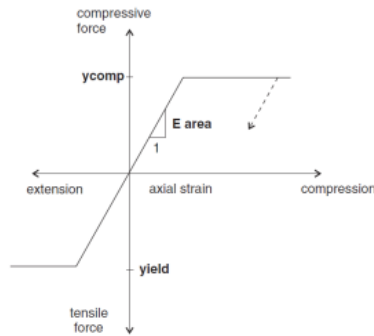


Abbildung 8: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente

Figura 8: Comportamento sforzo-deformazione degli ancoraggi

Auf der sicheren Seite liegend wird die Außenschale in Spritzbeton für die Bemessung nicht herangezogen unter der Annahme, dass dieser zur Erstsicherung gegen das Abbrechen von Felsblöcken oder dgl. während der Ausbrucharbeiten dient.

In via cautelativa il rivestimento di prima fase in betoncino proiettato viene trascurato in quanto considerato come un provvedimento costruttivo atto a garantire la sicurezza nei confronti di distacchi di piccoli volumi di roccia.

6.1.3 Laststufe

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelausbruch mittels Kraftmethode des Ausbruchs simuliert (späterhin FFS genannt). Der Prozentsatz dieser Kräfte an der Ortsbrust ist aufgrund der Ergebnisse der Charakteristischen Linien bestimmt (Anhang 1).

6.1.3 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo della GA, GL e PL viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS. La percentuale di tali è definita sulla base dei risultati delle Linee Caratteristiche (vedasi Appendice 1).

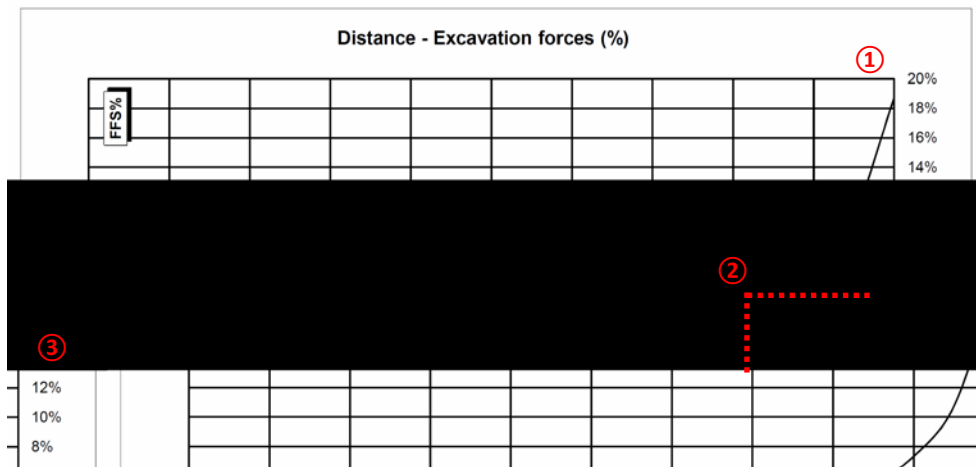


Abbildung 9: FFS an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Anker

Figura 9: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 1) Annullierung der Zonen innerhalb der Aushebung und Reduktion der FFS bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS =18%);
- 2) Reduktion der FFS bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 3.0 m von der Ortsbrust) (FFS =6%);

- 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 1) Annullamento delle zone all'interno dello scavo e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=18%);
- 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di I fase (3.0 m dal fronte) (FFS=6%);

- 3) Einführung des numerischen Außenstützenmodells und Annullierung der FFS (FFS =0%);
- 4) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels eines Schnittstellenelementes, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangentialer Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus die Drucke zu schätzen die auf der Innenschale wirken.

- 3) Introduzione nel modello numerico dei sostegni di I fase e annullamento delle FFS (FFS=0%).
- 4) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidità normale pari a quella dell'ammasso e rigidità tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali.

6.1.4 Nachweisverfahren

Es werden die Einflüsse zwischen den Ausbrüche durch eine Verformungs-, Spannungs- und Plastifizierungsanalyse in den verschiedenen Phasen untersucht.

6.1.5 Ergebnisse

Die im Anhang 2 aufgezeigten Analysen bestätigen, dass das Gebirgsverhalten durch reduzierte Konvergenzen (absolute Konvergenzen < 40 mm und relative Konvergenzen ohne Spritzbeton ca. 15 mm) und durch die Bildung eines plastischen Streifens mit maximaler Ausdehnung von ca. 3-4 m gekennzeichnet ist.

Aus der Analyse geht hervor, dass das Kunststoffband und die radiale Verschiebungen für die logistische Platz PL-T2 keinen signifikanten Anstieg während der Schritte der Berechnung in Bezug auf die oben liegende Ausbrüche erfahren. Insbesondere die radialen Verschiebungen des Umrisses des PL, von 25 mm bis zum Ende des letzten Schrittes der Modellierung für die PL-T2 bis 31 mm mit dem Ende der Modellierungsphase des Tunnels GA-T3, ansteigen, nachdem konservativ die Spritzbetonschale vernachlässigt wurde.

Der Wert der maximalen radiale Verschiebung in den Umriss für das C-MS, auch ohne Verkleidungen, resultiert kleiner als das Mehrausbruch (10 cm) gemäss [15]. Die induzierte Verformungen an der Verkleidung des Tunnels aus den Ausbrüche der oben liegende Hohlräume verursachen daher eine vernachlässigbare Erhöhung der Beanspruchung.

Für die Abschnitte GL-T3 und GA-T3 gab es keine wesentlichen Änderungen in Bezug auf die gesamte radiale Verformungen im Vergleich zu den Analysen in [9] und [8].

Somit gilt die Bemessung der Verkleidungen für der Tunnel GA-T3, GL-T3 und PL-T2 wie in den Berichten [8], [9] und [15].

6.1.4 Procedura di verifica

Verranno analizzati gli influssi tra gli scavi mediante l'analisi delle deformazioni, dello stato tensionale e delle plasticizzazioni durante le varie tappe di scavo.

6.1.5 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 2 confermano che il comportamento dell'ammasso è caratterizzato da convergenze ridotte (convergenze assolute < 40 mm e convergenze relative in assenza del betoncino proiettato di ca. 15 mm) e dalla formazione di una fascia plastica di estensione massima di ca. 3-4 m.

Dall'analisi si evidenzia come la fascia plastica e gli spostamenti radiali per la piazzola logistica PL-T2 non subiscano significativi incrementi durante gli step di calcolo relativi allo scavo delle cavità sovrastanti. In particolare gli spostamenti radiali totali al contorno della PL, aumentano da 25 mm alla fine dell'ultimo step della sequenza di modellazione per la PL-T2 fino a 31 mm con il termine della fase di modellazione della GA-T3, avendo trascurato cautelativamente gli effetti del betoncino spruzzato.

Il valore di deformazione massima radiale al contorno per il C-MS, anche in assenza dei rivestimenti, risulta inferiore all'extrascavo (10 cm) previsto nel documento [15]. Le deformazioni indotte sul rivestimento del cunicolo dallo scavo delle cavità sovrastanti comportano pertanto un incremento di sollecitazioni trascurabile.

Per le sezioni GL-T3 e GA-T3 non si evidenziano significative modifiche in termini di deformazioni radiali totali, in confronto alle analisi riportate rispettivamente in [9] e [8].

In conclusione risulta quindi valido il dimensionamento dei rivestimenti per la GA-T3, GL-T3 e PL-T2 riportato rispettivamente nei rapporti [8], [9] e [15].

6.2 ABSCHNITT PK 14+150

Das Berechnungsmodell, der Problemsymmetrie zufolge, erstreckt sich 100 m in der Breite an den Enden GL und West, 300 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 200 m über der Schienenoberkante befinden. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Mesh verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von 50x50 cm. Die gewählten Auflagebedingungen verhindern eine Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modellrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

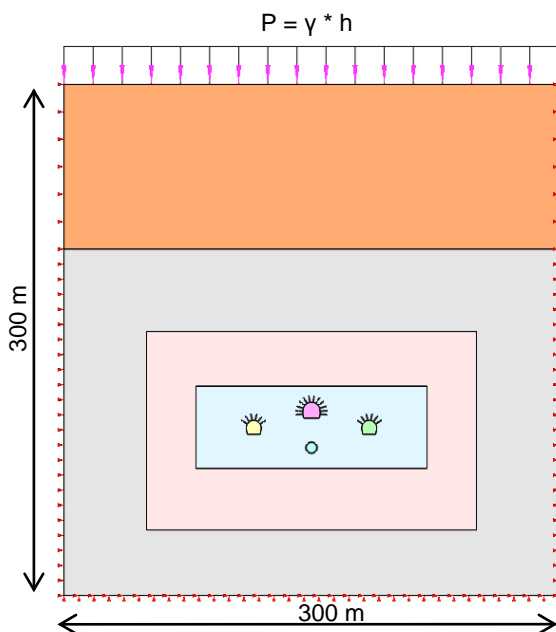


Abbildung 10: Analyseabschnitt pk 14+150

6.2 SEZIONE PK 14+150

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende in larghezza per un totale di 300 m (100 m agli estremi delle GL), 300 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro delle GL e 200 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm. Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

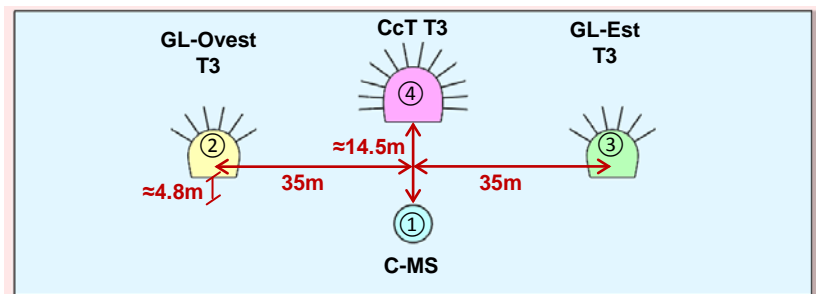


Figura 10: sezione di analisi pk 14+150

6.2.1 Bildendes Gebirgsmodell

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [32] und Restparameter, die gemäß der Cai et. al [39] Theorie bewertet werden. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen (m_b , s mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Aushub betroffenen Felsen bestimmt. Aufgrund der im Abs. 4.1 aufgezeigten Bemerkungen, werden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BCA-GS-10g berücksichtigt:

| Zone max überburden [m] | GSI | GSI _{res} | γ [kN/m ³] | E_{rm} [MPa] | σ_{ci} [MPa] | σ_{cm} [MPa] | m_i [-] | $m_{b, peak}$ [-] | $m_{b, res}$ [-] | $s_{, peak}$ [-] | $s_{, res}$ [-] |
|-------------------------------|-----|--------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1200 | 50 | 25.59 | 27.3 | 15528 | 72.5 | 15.60 | 15.5 | 2.599 | 1.087 | 0.0039 | 0.0003 |

Tabelle 16: Berücksichtigte geomechanische Parameter

6.2.1 Modello costitutivo dell'ammasso

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [32] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [39] e riportata nel Rapporto [1]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche (m_b , s con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo. Sulla base delle considerazioni riportate nel Par 4.1, vengono considerati i parametri geomeccanici dell'ammasso GA-BCA-GS-10g:

Tabella 16: Parametri geomeccanici considerati

Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Wobei:

Dove

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K_0 = Beiwert des waagrechten Schubs, gleich 0.75 angenommen.

- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K_0 è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

6.2.2 Eigenschaften der Aussenschale

Folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften der Ausbruchssicherungsmassnahmen für das Profil GL-T3, FdE-CcT-T3, und C-MS auf:

6.2.2 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

Le seguenti tabelle riportano le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per i profili GL-T3, FdE-CcT-T3 e C-MS:

| | Anker Chiodature | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | |
|--------------|---------------------|---------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Typ Tipo | N_y [kN] | L [m] | $i_{längs/}$ long [m] | $i_{quer/}$ trasv [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | S_{nom} [cm] | S_{min} [cm] |
| GL-T3 | Pm24 | 200 | 4.5 | 1.5 | 1.8 | 5+6 | C30/37 | 15 | 10 |

Tabelle 17: Charakteristiken der Außenschale GL-T3

Tabella 17: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GLT3

| | Anker Chiodature | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | |
|--------------|---------------------|---------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Typ Tipo | N_y [kN] | L [m] | $i_{längs/}$ long [m] | $i_{quer/}$ trasv [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | S_{nom} [cm] | S_{min} [cm] |
| GA-T3 | Pm24 | 200 | 4.5 | 1.5 | 1.8 | 9+10 | C30/37 | 15 | 10 |

Tabelle 18: Charakteristiken der Außenschale GA-T3

Tabella 18: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T3

| | # | h | b | L | # giunti rad | tipo | N _{yk} | # giunti circ | tipo | N _{yk} |
|------------------|-----|------|------|------------------------|--------------|----------|-----------------|---------------|----------|-----------------|
| | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [-] | | [kN] | [-] | | [kN] |
| Riv. CE in conci | 4+1 | 300 | 1500 | 4367+2252 4125+4806 | 2 | M24, 8.8 | 640 | 3 | M24, 8.8 | 640 |

| <i>strati ferri</i> | Rivestimento CE |
|---------------------|---------------------|
| 1 | 14 φ12 mm |
| 2 | 24 φ12 mm |
| 3 | 16 φ10 mm |
| 4 | 10 φ12 mm (per RAM) |

Tabelle 19: Tübbing für den C-MS

Tabella 19: Conci per rivestimento C-MS

| C-MS | | | | |
|-----------|---------------------|----------|----------|------------|
| | Calcestruzzo C30/37 | Arm.rad | Arm.long | Arm.taglio |
| Calotta | 35 cm | 2φ12/150 | 2φ12/300 | - |
| Piedritti | 35 cm | 2φ14/150 | 2φ12/300 | - |
| Platea | - | - | - | - |

Tabelle 20: Tübbing für den C-MS

Tabella 20: Rivestimento definitivo C-MS

Die Anker werden ins Modell eingefügt und zwar mit einem Grenzwiderstand, der ihrer Ermüdungsfestigkeit entspricht, die um den Widerstandsbeiwert ($\gamma_R = 1.15$) und der Reibung ($\gamma_R = 1.3$) faktorisiert wird, so wie mit BBT SE abgesprochen.

I chiodi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ($\gamma_R = 1.15$) e sull'aderenza di ($\gamma_R = 1.3$) come concordato con BBT SE.

Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 8) und Von Mises Bruchkriterium ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 174$ kN). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querschnitts (100 kN/m) und der tangentielle Steifigkeit (10 MN/m/m) [38] berücksichtigt werden. Vorsichtshalber wird die Innenschale in Spritzbeton weggelassen, da sie als bauliche Maßnahme berücksichtigt wird, welche zur Sicherheit bzgl. des Abbrechens von kleinen Felsvolumen geeignet ist.

Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 8) con criterio di rottura alla Von Mises ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 174$ kN) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (100 kN/m) e rigidità tangenziale (10 MN/m/m) [38].

Auf der sicheren Seite liegend wird die Außenschale in Spritzbeton für die Bemessung nicht herangezogen unter der Annahme, dass dieser zur Erstsicherung gegen das Abbrechen von Felsblöcken oder dgl. während der Ausbrucharbeiten dient.

In via cautelativa il rivestimento di prima fase in betoncino proiettato viene trascurato in quanto considerato come un provvedimento costruttivo atto a garantire la sicurezza nei confronti di distacchi di piccoli volumi di roccia.

Auch die Verkleidungen der Erkundungsstollen werden konservativ in diesem Modell vernachlässigt.

Anche i rivestimenti del cunicolo esplorativo vengono cautelativamente trascurati nel presente modello.

6.2.3 Laststufe

6.2.3 Step di carico

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelausbruch mittels Kraftmethode des Ausbruchs simuliert (späterhin FFS genannt). Der Prozentsatz dieser Kräfte an der Ortsbrust ist aufgrund der Ergebnisse der Charakteristischen Linien bestimmt (Anhang 1).

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo del FdE-CcT, GL e C-MS viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS. La percentuale di tali forze è definita sulla base dei risultati delle Linee Caratteristiche (vedasi Appendice1).

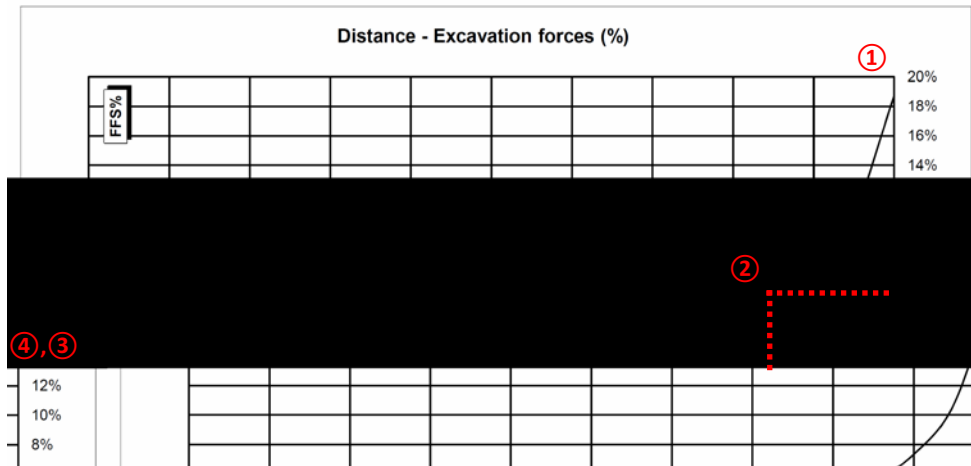


Abbildung 11: FFS an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Anker

Figura 11: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen; 1) Annullierung der Zonen innerhalb der Aushebung und Reduktion der FFS bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS =18%); 2) Reduktion der FFS bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 3.0 m von der Ortsbrust) (FFS =6%); 3) Einführung des numerischen Außenstützenmodells und Annullierung der FFS (FFS =0%); 4) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels eines Schnittstellenelementes, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangentielle Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus die Drucke zu schätzen die auf der Innenschale wirken. | <ul style="list-style-type: none"> 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali; 1) Annullamento delle zone all'interno dello scavo e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=18%); 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di I fase (3.0 m dal fronte) (FFS=6%); 3) Introduzione nel modello numerico dei sostegni di I fase e annullamento delle FFS (FFS=0%). 4) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidità normale pari a quella dell'ammasso e rigidità tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

6.2.4 Nachweisverfahren

Es werden die Einflüsse zwischen den Ausbrüchen durch eine Verformungs-, Spannungs- und Plastifizierungsanalyse in den verschiedenen Phasen untersucht.

6.2.5 Ergebnisse

Die im Anhang 3 aufgezeigten Analysen bestätigen, dass das Gebirgsverhalten durch reduzierte Konvergenzen (absolute Konvergenzen < 40 mm und relative Konvergenzen ohne Spritzbeton ca. 15 mm) und durch die Bildung eines plastischen Streifens mit maximaler Ausdehnung von ca. 3-4 m gekennzeichnet ist.

Aus der Analyse geht hervor, dass das Kunststoffband und die radiale Verschiebungen für das Erkundungsstollen keinen signifikanten Anstieg während der Schritte der Berechnung in Bezug auf die oben liegende Ausbüche erfahren. Insbesondere die radialen Verschiebungen des Umrisses des Erkundungsstollen, von 18 mm bis zum Ende des letzten Schrittes der Modellierung für die C-MS bis 21 mm mit dem Ende der Modellierungsphase der Nothaltestelle CcT-T3, ansteigen, nachdem konservativ die Spritzbetonschale und Tubbingverkleidung vernachlässigt wurde.

Der Wert der maximalen radiale Verschiebung in den Umriss für das C-MS, auch ohne Verkleidungen, resultiert kleiner als das Mehrausbruch (10 cm) gemäss [15]. Die induzierte Verformungen an der Verkleidung des Tunnels aus den Ausbrüchen der oben liegende Hohlräume verursachen daher eine vernachlässigbare Erhöhung der Beanspruchung.

Für die Abschnitte GL-T3 und die Nothaltestelle CcT-T3 gab es keine wesentlichen Änderungen in Bezug auf die gesamte radiale Verformungen im Vergleich zu den Analysen in [9] und [11].

Somit gilt die Bemessung der Verkleidungen für der Tunnel GA-T3, GL-T3 und C-MS wie in den Berichten [11], [9] und [15].

6.2.4 Procedura di verifica

Verranno analizzati gli influssi tra gli scavi mediante l'analisi delle deformazioni, dello stato tensionale e delle plasticizzazioni durante le varie tappe di scavo.

6.2.5 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 3 confermano che il comportamento dell'ammasso è caratterizzato da convergenze ridotte (convergenze assolute < 40 mm e convergenze relative in assenza del betoncino proiettato di ca. 15 mm) e dalla formazione di fasce plastiche al contorno delle cavità di estensione massima di ca. 3-4 m.

Dall'analisi si evidenzia come la fascia plastica e gli spostamenti radiali per il cunicolo esplorativo non subiscono significativi incrementi durante gli step di calcolo relativi allo scavo delle cavità sovrastanti. In particolare gli spostamenti radiali totali al contorno del cunicolo esplorativo, aumentano da 18 mm alla fine dell'ultimo step della sequenza di modellazione per il C-MS fino a 21 mm con il termine della fase di modellazione del FdE-CcT-T3, avendo trascurato cautelativamente gli effetti del betoncino spruzzato e del rivestimento in conci.

Il valore di deformazione massima radiale al contorno per il C-MS, anche in assenza dei rivestimenti, risulta inferiore all'extrascavo (10 cm) previsto nel documento [15]. Le deformazioni indotte sul rivestimento del cunicolo dallo scavo delle cavità sovrastanti comportano pertanto un incremento di sollecitazioni trascurabile.

Per le sezioni GL-T3 e FdE-CcT-T3 non si evidenziano significative modifiche in termini di deformazioni radiali totali, in confronto alle analisi riportate rispettivamente in [9] e [11].

In conclusione risulta quindi valido il dimensionamento dei rivestimenti per il FdE-CcT-T3, GL-T3 e C-MS riportato rispettivamente nei rapporti [11], [9] e [15].

6.3 ABSCHNITT PK 14+300

Das Berechnungsmodell, der Problemsymmetrie zufolge, erstreckt sich 100 m in der Breite an den Enden FdE-GL Ost und West, 300 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 200 m über der Schienenoberkante befinden. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Maschenweite verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von 50x50 cm. Die gewählten Auflagerbedingungen verhindern eine Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modellrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

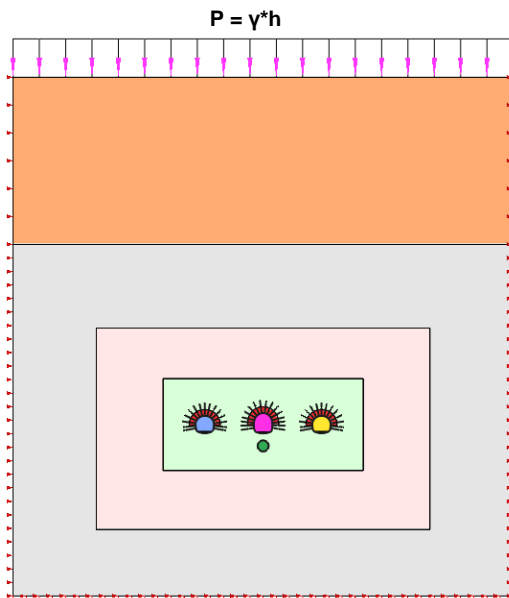


Abbildung 12: Analyseabschnitt Pk 14+300

6.3.1 Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [32] und Restparameter, die gemäß der Cai et. al [39] Theorie bewertet werden. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen (m_b , s mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Aushub betroffenen Felsen bestimmt. Für die Bemessung des Profils des Abschnittes km 14+300 wurden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BST-KS-8f berücksichtigt, wie in

6.3 SEZIONE PK 14+300

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende per 100 m in larghezza agli estremi della FdE-GL Est ed Ovest, 300 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro e 200 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm. Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

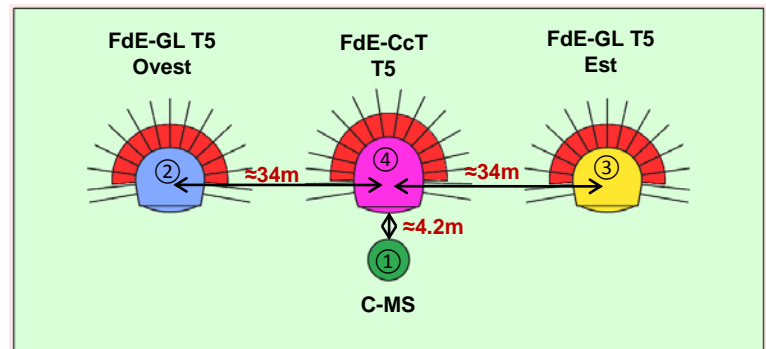


Figura 12: Sezione di analisi Pk 14+300

6.3.1 Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [32] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [39]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche (m_b , s con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo. Per il dimensionamento dei profili della sezione Pk 14+300 si sono considerati i parametri geomeccanici relativi all'ammasso GA-BST-KS-8f

der folgenden Tabelle angegeben:

secondo la tabella seguente:

| Zone max overburden [m] | GSI | GSI _{res} | γ [kN/m ³] | E _{rm} [MPa] | σ _{ci} [MPa] | σ _{cm} [MPa] | m _i [-] | m _{b, peak} [-] | m _{b, res} [-] | s _{, peak} [-] | s _{, res} [-] |
|-------------------------------|-----|--------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1115 | 50 | 25.59 | 26.6 | 11135 | 32 | 5.84 | 11 | 1.844 | 0.841 | 0.0039 | 0.0003 |

Tabelle 21: Angenommene geomechanische Parameter (Pk 14+300)

Tabella 21: Parametri geomeccanici considerati (Pk 14+300)

Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Wobei:

Dove

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K₀ = Beiwert des waagrechten Schubs, gleich 0.75 angenommen.
- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K₀ è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

6.3.2 Eigenschaften der Außenschale

6.3.2 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

Folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften der Ausbruchssicherungsmassnahmen für das Profil FdE-CcT-T5, FdE-GL-T5 und C-MS auf:

Le seguenti tabelle riportano le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per i profili FdE-CcT-T5, FdE-GL-T5 e C-MS:

| FdE-GL T5 | Anker Ancoraggi | | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | | Stahlbögen Centine | |
|--------------------|-----------------------|-------------|------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|
| | Position Posizione | Typ Tipo | N _y [kN] | L [m] | i _{längs/ long} [m] | i _{quer/ trasv} [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | s _{nom} [cm] | s _{min} [cm] | Typ Tipo | i [m] |
| | Radial Radiali | R38N | 400 | 8 | 1.5 | 1.5 | 15 | C30/37 | 30 | 25 | 2 IPN 180 | 0.75 - 1.5 |
| Umriss Contorno | R51N | 630 | 12 | 3.0 | 0.75 | 24 | | | | | | |

Tabelle 22: Eigenschaften der Außenschale FdE-GL T5

Tabella 22: Caratteristiche rivestimenti di prima fase FdE-GL T5

| FdE-CcT T5 | Anker Ancoraggi | | | | | | | Spritzbeton Betoncino proiettato | | | Stahlbögen Centine | |
|--------------------|-----------------------|-------------|------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|
| | Position Posizione | Typ Tipo | N _y [kN] | L [m] | i _{längs/ long} [m] | i _{quer/ trasv} [m] | n° [-] | Klasse Classe [-] | s _{nom} [cm] | s _{min} [cm] | Typ Tipo | i [m] |
| | Radial Radiali | R38N | 400 | 8 | 1.5 | 1.5 | 16 | C30/37 | 30 | 25 | 2 IPN 180 | 0.75 - 1.5 |
| Umriss Contorno | R51N | 630 | 12 | 3.0 | 0.75 | 28 | | | | | | |

Tabelle 23: Eigenschaften der Außenschale FdE-CcT T5

Tabella 23: Caratteristiche rivestimenti di prima fase FdE-CcT T5

| | # | h | b | L | # giunti rad | tipo | N _{yk} | # giunti circ | tipo | N _{yk} |
|------------------|-----|------|------|------------------------|--------------|----------|-----------------|---------------|----------|-----------------|
| | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [-] | | [kN] | [-] | | [kN] |
| Riv. CE in conci | 4+1 | 300 | 1500 | 4367+2252 4125+4806 | 2 | M24, 8.8 | 640 | 3 | M24, 8.8 | 640 |

| strati ferri | Rivestimento CE |
|--------------|---------------------------|
| 1 | 14 ϕ 12 mm |
| 2 | 24 ϕ 12 mm |
| 3 | 16 ϕ 10 mm |
| 4 | 10 ϕ 12 mm (per RAM) |

Tabelle 24: Tübbingen für den C-MS

Tabella 24: Conci per rivestimento C-MS

| C-MS | | | | |
|-----------|---------------------|-----------------|-----------------|------------|
| | Calcestruzzo C30/37 | Arm.rad | Arm.long | Arm.taglio |
| Calotta | 35 cm | 2 ϕ 12/150 | 2 ϕ 12/300 | - |
| Piedritti | 35 cm | 2 ϕ 14/150 | 2 ϕ 12/300 | - |
| Platea | - | - | - | - |

Tabelle 25: Tübbingen für den C-MS

Tabella 25: Rivestimento definitivo C-MS

Zur Modellierung des Spritzbetons wurden eindimensionale Elemente - beam mit elastischem Verhalten angenommen. Vorsichtshalber wurden zwei Analysen durchgeführt: eine mit $E = 5$ GPa, um die Verformungen zu maximieren und eine mit $E = 15$ GPa, um die Belastungen zu maximieren. Der Wert $E = 15$ GPa entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf diese Weise ist es möglich das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens zu berücksichtigen.

Die numerische Modellierung modelliert nicht die Stahlbögen aufgrund des konservativen Ansatzes, die Stahlbögen wurden nur bei den Abschnittsüberprüfungen ([10], [12]) berücksichtigt.

Die Anker besitzen im Modell einen Grenzwiderstand, der ihrer Streckgrenze entspricht, die wiederum um den Widerstandsbeiwert ($\gamma_R = 1.15$) und Reibungsbeiwert ($\gamma_R = 1.3$) faktorisiert ist, wie mit BBT SE vereinbart. Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 8) und Von Mises Bruchkriterium ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$ kN). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querwiderstands (190 kN/m) und der tangentielle Steifigkeit (15 MN/m/m) [38] berücksichtigt werden.

Die Wirkung der Verfestigung des Umrisses des Hohlraums wurde durch eine Materialschicht mit leicht erhöhten Widerstandsparametern modelliert, wie in [10] ersichtlich.

Die Verkleidungen der Erkundungsstollen werden konservativ in diesem Modell vernachlässigt.

Per la modellazione dello spritzbeton si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con $E = 5$ GPa per massimizzare le deformazioni e una con $E = 15$ GPa per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di $E = 15$ GPa, corrisponde a circa il 50% della rigidità di un calcestruzzo indurito di classe media; in questo modo è possibile considerare il caratteristico comportamento di deformazione viscosa e il ritiro.

Nella modellazione numerica, secondo un approccio conservativo, le centine non sono state modellate ma vengono considerate nelle verifiche sezionali ([10], [12]).

Gli ancoraggi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ($\gamma_R = 1.15$) e sull'aderenza di ($\gamma_R = 1.3$) come concordato con BBT SE. Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 8) con criterio di rottura alla Von Mises ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$ kN) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (190 kN/m) e rigidità tangenziale (15 MN/m/m) [38].

L'effetto del consolidamento del contorno del cavo è stato modellato tramite uno strato di materiale con parametri di resistenza lievemente superiori del materiale circostante come illustrato in [10].

I rivestimenti del cunicolo esplorativo vengono cautelativamente trascurati nel presente modello.

6.3.3 Laststufe

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelausbruch mittels Kraftmethode des Ausbruchs simuliert (späterhin FFS genannt). Der Prozentsatz dieser Kräfte an der Ortsbrust ist aufgrund der Ergebnisse der Charakteristischen Linien bestimmt (Anhang 1).

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

- 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Randbedingungen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 1) Einführen der befestigten Zone am Umriss und Verringerung der FFS bis zum Wert, den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS =10%);
- 2) Reduktion der FFS bis zum Wert, den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (1.5 m von der Ortsbrust) (FFS =7.0%);
- 3) Einführung der radialen Anker ins numerische Modell und Reduktion der FFS auf ca. 2% (1 Durchmesser – ca. 10 Meter);
- 4) Anbringung des Spritzbetons (Kalotte $s_{tot} = 24$ cm, $E = 15$ GPa; Gegengewölbe $s_{tot} = 28$ cm, $E = 15$ GPa) und Annullierung der FFS (FFS =0%);
- 5) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Mesh mittels eines Schnittstellenelements verbunden, mit normaler Steifigkeit, die dem Gebirge entspricht, und tangentialer Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht es, die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, sowie die Drücke abzuschätzen, die auf der Innenschale wirken.

6.3.3 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo del FdE-CcT, FdE-GL e C-MS viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS. La percentuale di tali è definita sulla base dei risultati delle Linee Caratteristiche (vedasi Appendice1).

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 1) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=10%);
- 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=7.0%);
- 3) Introduzione nel modello numerico degli ancoraggi radiali in calotta e riduzione delle FFS a ca. 2.0% (10 m dal fronte, ca. un diametro);
- 4) Introduzione del betoncino proiettato (calotta $s_{tot} = 24$ cm, $E = 15$ GPa; arco rovescio $s_{tot} = 28$ cm, $E = 15$ GPa) e annullamento delle FFS (FFS=0%);
- 5) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidità normale pari a quella dell'ammasso e rigidità tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali.

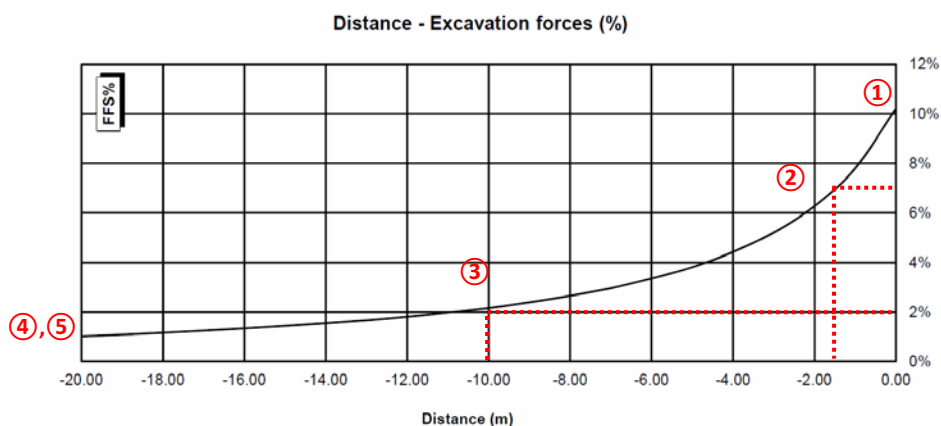


Abbildung 13: Berücksichtigte FFS für das Modell Pk 14+300

Figura 13: FFS considerate per il modello Pk 14+300

Bei der Anbringung des Spritzbetons geht man davon aus, dass dieser nur dann wirkt, wenn der Hohlraum eine Gesamtkonvergenz erreicht, die dem Übermaß entspricht (15 cm), damit berücksichtigt wird, dass der Einbau der Stahlbögen erst nach Verformung des Abbruchquerschnittes erfolgt. Aus Sicherheitsgründen nimmt man an, dass die Anbringung des Spritzbetons an ca. 1 Durchmesser (Gesamtkonvergenzen geringer als Übermaß) mit Wert der FFS gleich ca. 2% erfolgt.

6.3.4 Nachweisverfahren

Es werden die Einflüsse zwischen den Ausbrüche durch eine Verformungs-, Spannungs- und Plastifizierungsanalyse in den verschiedenen Phasen untersucht.

6.3.5 Ergebnisse

Die in Anhang 3 aufgezeigten Analysen bestätigen, dass das Verhalten des Gebirges durch ein mässig druckhaftes Verhalten gekennzeichnet ist. Die maximale Verschiebung unter Berücksichtigung eine Konsolidierung des Materials und der Verkleidung beträgt ca. 145 mm (relative Verschiebung ca. 85 mm), die sich im Bereich des Zentraltunnels Trems konzentriert.

Aus der Analyse geht hervor, dass das Kunststoffband und die radiale Verschiebungen für das Erkundungsstollen einen signifikanten Anstieg während der Schritte der Berechnung in Bezug auf die oben liegende Ausbüche erfahren. Insbesondere die radialen Verschiebungen des Umrisses des Erkundungsstollen, von ca. 50 mm bis zum Ende des letzten Schrittes der Modellierung für die C-MS bis ca. 130 mm (relative Verschiebungen ca. 110 mm) mit dem Ende der Modellierungsphase der Nothaltestelle FdE-CcT-T5, ansteigen, nachdem konservativ die Tubbingverkleidung für den C-MS vernachlässigt wurde.

Der Wert der maximalen radiale Verschiebung des Umrisses des C-MS, auch ohne Verkleidungen, resultiert niedriger als der Mehrausbruch (20 cm) gemäss [15]. Die Verformungen an der Tunnelverkleidung aufgrund des Ausbruches der obenliegende Hohlräume verursachen daher eine vernachlässigbare Erhöhung der Beanspruchung.

Für die Abschnitte der Nothaltestellen GL-T5 und CcT-T5 gab es keine wesentlichen Änderungen in Bezug auf die totale radiale Verformungen, im Vergleich zu den Analysen in [10] und [12].

Somit gilt die Bemessung der Verkleidungen für die Nothaltestellen CcT-T5, GL-T5 und C-MS wie in den Berichten [12], [10] und [15].

Um eine grössere Tragsicherheit im Brandfall zu gewährleisten, werden Polypropylenfasern in der Innenverkleidung des Erkundungsstollen im Abschnitt

Per la messa in opera del betoncino proiettato si ipotizza che esso si carica solo dopo che il cavo ha raggiunto una convergenza totale pari all'extrascavo (15 cm) per tenere conto che lo sviluppo delle centine è stato previsto per la sezione di scavo con deformazione avvenuta. In via cautelativa si ipotizza che l'installazione del betoncino avviene a circa 1 diametro (convergenze totali minori dell'extrascavo) con valore delle FFS pari a ca. 2%.

6.3.4 Procedura di verifica

Verranno analizzati gli influssi tra gli scavi mediante l'analisi delle deformazioni, dello stato tensionale e delle plasticizzazioni durante le varie tappe di scavo.

6.3.5 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 3 confermano che il comportamento dell'ammasso è caratterizzato da un comportamento spingente. La convergenza totale massima in presenza dei consolidamenti e dei rivestimenti è di ca. 145 mm (convergenza relativa ca. 85 mm) che si concentra nell'intorno del Cunicolo centrale di Trems.

Dall'analisi si evidenzia come la fascia plastica e gli spostamenti radiali per il cunicolo esplorativo subiscano un significativo incremento durante gli step di calcolo relativi allo scavo delle cavità sovrastanti. In particolare gli spostamenti radiali totali al contorno del cunicolo esplorativo, aumentano da circa 50 mm alla fine dell'ultimo step della sequenza di modellazione per il C-MS fino a circa 130 mm (spostamenti relativi circa 110 mm) con il termine della fase di modellazione del FdE-CcT-T5, avendo trascurato cautelativamente il rivestimento in conci e definitivo per il C-MS.

Il valore di deformazione massima radiale al contorno per il C-MS, anche in assenza dei rivestimenti, risulta inferiore all'extrascavo (20 cm) previsto nel documento [15]. Le deformazioni indotte sul rivestimento del cunicolo dallo scavo delle cavità sovrastanti comportano pertanto un incremento di sollecitazioni trascurabile.

Per le sezioni FdE-GL-T5 e FdE-CcT-T5 non si evidenziano significative modifiche in termini di deformazioni radiali totali, in confronto alle analisi riportate rispettivamente in [10] e [12].

In conclusione risulta quindi valido il dimensionamento dei rivestimenti per il FdE-CcT-T5, FdE-GL-T5 e C-MS riportato rispettivamente nei rapporti [12], [10] e [15].

Al fine di garantire una maggiore sicurezza strutturale in caso di incendio, si prevede l'applicazione di fibre in polipropilene nel rivestimento interno del cunicolo esplorativo nella tratta tra

zwischen km 14+138 und 14+788 eingefügt.

le progr. 14+138 e 14+788.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In diesem Bericht wurden die Einflussfaktoren auf den Ausbruch der Erkundungstollen im ganzen Abschnitt des Loses Mules 2-3 (vom km 7+507 bis km 27+217), in Zusammenhang mit dem Ausbruch der oberen Teilen, analysiert.

Es wurden die massgebende Szenarien sowohl in Bezug auf die vorhandene Gebirge als auch in Bezug auf die Hohlraumgeometrie analysiert.

Aus der Analyse geht hervor, dass der Einfluss der Ausbrüche über dem Erkundungstollen nicht kritisch ist.

Selbst im Falle eines Brandes wird es plausibel, dass keine Einflüsse zwischen den verschiedenen Hohlräume vorhanden sind. Um eine grössere Tragsicherheit im Brandfall zu gewährleisten, werden Polypropylenfasern in der Innenverkleidung des Erkundungstollen im Abschnitt zwischen km 14+138 und 14+788 in Bereich der Nothaltestelle Trens eingefügt.

In Abschnitten mit besonders schlechten geomechanischen Eigenschaften, nicht Gegenstand der vorliegenden Studie, ist es notwendig, den Einfluss des Tunnelausbruchs auf der Erkundungstollen, im Hinblick auf eine Beobachtungsansatz, durch die Analyse der Ergebnisse zu untersuchen.

7 CONCLUSIONI

Nel presente rapporto sono state analizzati gli influssi sul cunicolo esplorativo nell'intera tratta appartenente al Lotto Mules 2-3 (da pk 7+507 a pk 27+217), a seguito dello scavo delle parti d'opera sovrastanti.

Sono stati analizzati gli scenari maggiormente significativi sia dal punto di vista degli ammassi rocciosi presenti che per la disposizione geometrica delle cavità.

Dall'analisi si evidenzia come l'influsso degli scavi sovrastanti il cunicolo esplorativo non risulta critico.

Anche nel caso di incendio si ritiene plausibile che non vi siano influssi tra le diverse cavità. Al fine di garantire una maggiore sicurezza strutturale in caso di incendio, verranno inserite le fibre in polipropilene nel rivestimento interno del cunicolo esplorativo nella tratta tra le progr. 14+138 e 14+788 in corrispondenza della Fermata di Emergenza di Trens.

Nelle tratte con caratteristiche geomeccaniche particolarmente scadenti, non oggetto del presente elaborato, sarà necessario valutare l'influenza degli scavi sul cunicolo esplorativo, nell'ottica di un approccio osservazionale, mediante l'analisi delle risultanze in fase di scavo del cunicolo stesso.

8 VERZEICHNISSE

8.1 TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Geomechanische Homogenbereiche | 11 |
| Tabelle 2: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegeben Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt). | 11 |
| Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirge in den unterschiedlichen Zonen und Klassen | 12 |
| Tabelle 4: Geomechanische Homogenbereiche | 13 |
| Tabelle 5: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegeben Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt). | 13 |
| Tabelle 6: Typische Parameter des Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen | 14 |
| Tabelle 7: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_f = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen). | 15 |
| Tabelle 8: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [30] [31]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{pf} = Ausdehnung des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = äquivalenter Ausbruchradius | 15 |
| Tabelle 9: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_f = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen). | 16 |
| Tabelle 10: Ergebnisse der empirischen Methoden | 17 |
| Tabelle 11 Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [30] [31]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{pf} = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Aushebungsradius. | 17 |

8 ELENCHI

8.1 ELENCO DELLE TABELLE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee..... | 11 |
| Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI). | 11 |
| Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi | 12 |
| Tabella 4: Zone geomeccaniche omogenee..... | 13 |
| Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI). | 13 |
| Tabella 6: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi | 14 |
| Tabella 7: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_f = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m). | 15 |
| Tabella 8: Criteri di stabilità proposti in [30] [31]; c_f = convergenza al fronte; F_{pf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo. | 15 |
| Tabella 9: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_f = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m) | 16 |
| Tabella 10: Risultati dei metodi empirici. | 17 |
| Tabella 11: Criteri di stabilità proposti in [30] [31]; c_f = convergenza al fronte; F_{pf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo. | 17 |
| Tabella 12: Parametri geomeccanici considerati | 20 |
| Tabella 13: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL T321 | |
| Tabella 14: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T321 | |
| Tabella 15: Caratteristiche rivestimenti di prima fase PL-T221 | |
| Tabella 16: Parametri geomeccanici considerati | 25 |
| Tabella 17: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GLT325 | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Tabelle 12: Berücksichtigte geomechanische Parameter ..20 | Tabella 18: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T325 |
| Tabelle 13: Charakteristiken der Außenschale GL-T321 | Tabella 19: Conci per rivestimento C-MS 26 |
| Tabelle 14: Charakteristiken der Außenschale GA-T321 | Tabella 20: Rivestimento definitivo C-MS 26 |
| Tabelle 15: Charakteristiken der Außenschale PL-T2.....21 | Tabella 21: Parametri geomeccanici considerati (Pk 14+300) 30 |
| Tabelle 16: Berücksichtigte geomechanische Parameter ..25 | Tabella 22: Caratteristiche rivestimenti di prima fase FdE-GL T5 30 |
| Tabelle 17: Charakteristiken der Außenschale GL-T325 | Tabella 23: Caratteristiche rivestimenti di prima fase FdE-CcT T5 30 |
| Tabelle 18: Charakteristiken der Außenschale GA-T325 | Tabella 24: Conci per rivestimento C-MS 31 |
| Tabelle 19: Tübbingen für den C-MS26 | Tabella 25: Rivestimento definitivo C-MS 31 |
| Tabelle 20: Tübbingen für den C-MS26 | |
| Tabelle 21: Angenommene geomechanische Parameter (Pk 14+300) 30 | |
| Tabelle 22: Eigenschaften der Außenschale FdE-GL T5...30 | |
| Tabelle 23: Eigenschaften der Außenschale FdE-CcT T5 .30 | |
| Tabelle 24: Tübbingen für den C-MS31 | |
| Tabelle 25: Tübbingen für den C-MS31 | |

8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Abbildung 1: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.8 | Abbildung 8: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente 22 |
| Abbildung 2: Analyseabschnitt Pk 14+0508 | Abbildung 9: FFS an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Anker 22 |
| Abbildung 3: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.9 | Abbildung 10: Analyseabschnitt pk 14+15024 |
| Abbildung 4: Analyseabschnitt Pk 14+1509 | Abbildung 11: FFS an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Anker 27 |
| Abbildung 5: Auszug aus dem geologischen Lageplan [14] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.10 | Abbildung 12: Analyseabschnitt Pk 14+30029 |
| Abbildung 6: Analyseabschnitt Pk 14+30010 | Abbildung 13: Berücksichtigte FFS für das Modell Pk 14+300 32 |
| Abbildung 7: Analyseabschnitt pk 14+05020 | |

8.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Figura 1: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio..... 8 | Figura 8: Comportamento sforzo-deformazione degli ancoraggi 22 |
| Figura 2: Sezione di analisi Pk 14+050 8 | Figura 9: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature. 22 |
| Figura 3: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio..... 9 | Figura 10: sezione di analisi pk 14+150 24 |
| Figura 4: Sezione di analisi Pk 14+150 9 | Figura 11: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature27 |
| Figura 5: Estratto della planimetria geologica [14] con indicazione della sezione di studio..... 10 | Figura 12: Sezione di analisi Pk 14+300 29 |
| Figura 6: Sezione di analisi Pk 14+300 10 | Figura 13: FFS considerate per il modello Pk 14+300..... 32 |
| Figura 7: sezione di analisi pk 14+050 20 | |

8.3 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 – KENNLINIENVERFAHREN
- ANHANG 2 - FEM- ANALYSE DER SCHNITT Pk 14+050
- ANHANG 3 - FEM- ANALYSE DER SCHNITT Pk 14+150
- ANHANG 4 - FEM- ANALYSE DER SCHNITT Pk 14+300

8.4 REFERENZDOKUMENTE

8.4.1 Eingangsdokumente

8.4.1.1 Ausführungsprojekt Baulos Mauls 2-3

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
- [2] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Geomechanischer Längsschnitt - 3/4 - von km 43+850 bis km 49+000
- [3] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanischer Detailbericht
- [4] 02_H61_GD_040_GTB_D0700_22001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer Detailbericht
- [5] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Ost - von km 44+192 bis km 46+769
- [6] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM West - von km 44+155 bis km 46+732
- [7] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GA-T, FdE-CCT-T

8.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE
- APPENDICE 2 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE Pk 14+050
- APPENDICE 3 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE Pk 14+150
- APPENDICE 4 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE Pk 14+300

8.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

8.4.1 Documenti in ingresso

8.4.1.1 Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
- [2] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13021 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 – Profilo geomeccanico - 3/4 - da km 43+850 a km 49+000
- [3] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 1 - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [4] 02_H61_GD_040_GTB_D0700_22001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [5] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Est - da km 44+192 a km 46+769
- [6] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Ovest - da km 44+155 a km 46+732
- [7] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GA-T, FdE-CCT-T

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[8] 02_H61_OP_080_KST_D0700_22901 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Statische Berechnung GA-T2/T3</p> <p>[9] 02_H61_OP_070_KST_D0700_22904 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Statische Berechnung GL-T2/T3</p> <p>[10] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22908 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Statische Berechnung FdE-GL-T4/T6</p> <p>[11] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22909 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Statische Berechnung FdE-CcT-T2/T3</p> <p>[12] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Statische Berechnung FdE-CcT-T4/T6</p> <p>[13] 02_H61_GD_035_GTB_D0700_23001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Geomechanischer Detailbericht</p> <p>[14] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_22004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - Erkundungsstollen (Blatt 2/4)</p> <p>[15] 02_H61_OP_035_KTB_D0700_23057 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Statische Berechnung - Erkundungsstollen</p> <p>[16] 02_H61_OP_035_KTB_D0700_23062 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 3 - Statische Berechnung - Logistik Nischen</p> <p>[17] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Bauprogramm</p> | <p>[8] 02_H61_OP_080_KST_D0700_22901 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo GA-T2/T3</p> <p>[9] 02_H61_OP_070_KST_D0700_22904 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo GL-T2/T3</p> <p>[10] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22908 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo FdE-GL-T4/T6</p> <p>[11] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22909 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo FdE-CcT-T2/T3</p> <p>[12] 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo FdE-CcT-T4/T6</p> <p>[13] 02_H61_GD_035_GTB_D0700_23001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 3 - Relazione geomeccanica di dettaglio</p> <p>[14] 02_H61_GD_035_GLS_D0700_23002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 3 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - Cunicolo esplorativo (Tav 2/4)</p> <p>[15] 02_H61_OP_035_KTB_D0700_23057 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 3 - Relazione di calcolo - Cunicolo Esplorativo</p> <p>[16] 02_H61_OP_035_KTB_D0700_23062 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 3 - Relazione di calcolo - Piazzole logistiche</p> <p>[17] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Programma Lavori Lotto Mault 2-3</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

8.4.2 Normen und Richtlinien

- [18] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [19] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008;

8.4.2 Normativa

- [18] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [19] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008

- [20] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel;
- [21] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für Konstruktion und Dokumentation zur nationalen Umsetzung ;
- [22] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [23] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Planung für Stahlbetonbauwerken und Dokumente zur nationalen Umsetzung;
- [24] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung
- [25] UNI EN 1992-1-2:2005 - Planung von Stahlbetonbauwerken Teil 1-2: Allgemeinregelung – Brandschutz Strukturplanung
- [26] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di incendi".
- [27] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"

8.4.3 **Literatur**

- [28] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [29] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [30] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [31] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [32] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [33] UNWEDGE-rocscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [34] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [35] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [36] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im

- [20] DM 28/10/2005 , Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [21] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la progettazione strutturale e documento di applicazione nazionale3
- [22] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [23] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo e documento di applicazione nazionale
- [24] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale
- [25] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [26] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di incendi".
- [27] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"

8.4.3 **Letteratura**

- [28] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [29] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [30] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [31] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [32] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [33] UNWEDGE-rocscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [34] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [35] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [36] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im

- [37] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [38] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - Atlas Copco 2006)
- [39] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007
- [40] MIDAS GTS Manual
- [41] Crowder J., Bawden W.F., Review of Post-Peak Parameters and Behaviour of Rock Masses: Current Trends and Research. Rocscience.
- [42] Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. Toronto: Rocscience, e-book.

- [37] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [38] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)
- [39] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007
- [40] MIDAS GTS Manual
- [41] Crowder J., Bawden W.F., Review of Post-Peak Parameters and Behaviour of Rock Masses: Current Trends and Research. Rocscience.
- [42] Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. Toronto: Rocscience, e-book.

ANHANG 1 - KENNLINIENVERFAHREN

Nachfolgend werden die Kennlinien wiedergegeben, durch die folgendes bestimmt werden kann:

- Radialer Druck - Konvergenz
- Konvergenz - Entfernung von Ortsbrust
- Radialer Druck - Ausdehnung des plastischen Streifens jenseits des Abbauprofils
- Entfernung von Ortsbrust - Ausdehnung des plastischen Streifens jenseits des Abbauprofils
- Entfernung von Ortsbrust - fiktive Aushubkräfte

Die Analyse der in Kap. 4-5 beschriebene Gebirge wurde unter der Annahme einer elastisch-plastischen Materialgesetzes und nicht-assoziierten Fluss von Gesteinsmaterial nach Mohr-Coulomb durchgeführt, wie von Ribacchi [28] vorgeschlagen.

Die Kurve "Konvergenz - Entfernung von Ortsbrust" wurde durch ein vereinfachtes, analytisches Verfahren ermittelt, das die Relationen von Nguyen, Minh et al. [29] verwendet.

APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE

Di seguito sono riportate le curve caratteristiche, mediante le quali è stato possibile valutare:

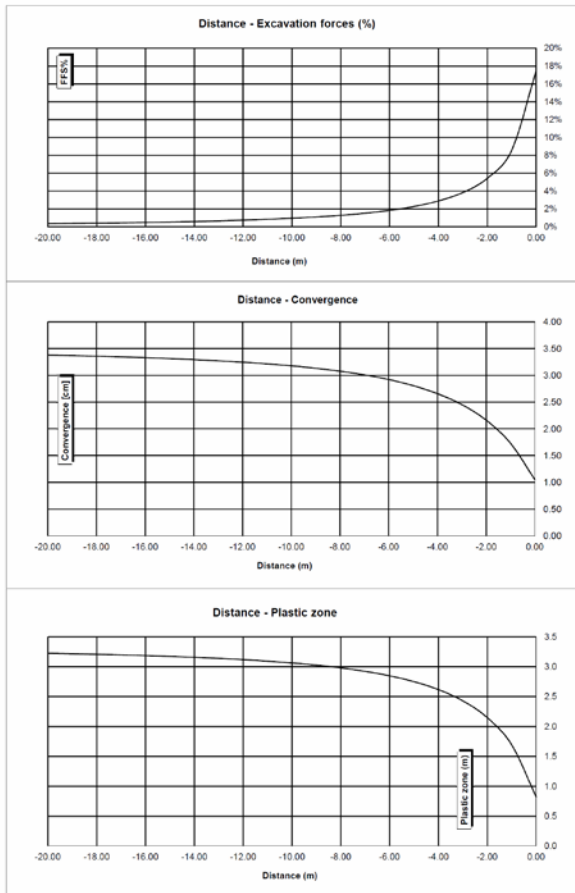
- Pressione Radiale – Convergenza.
- Convergenza – Distanza dal Fronte.
- Pressione Radiale – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal fronte – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal Fronte – Forze Fittizie di Scavo

L'analisi è stata eseguita per gli ammassi descritti nei capitoli 4-5 assumendo un modello costitutivo elasto-plastico con softening e flusso non associato del materiale roccia secondo Mohr-Coulomb, nella formulazione proposta da Ribacchi [28].

La curva "Convergenza – Distanza dal fronte" è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le relazioni proposte da Nguyen, Minh et al. [29].

A1.1 Schnitt pk 14+050 und pk 14+150

R_{ausbruch} = Erkundungsstollen



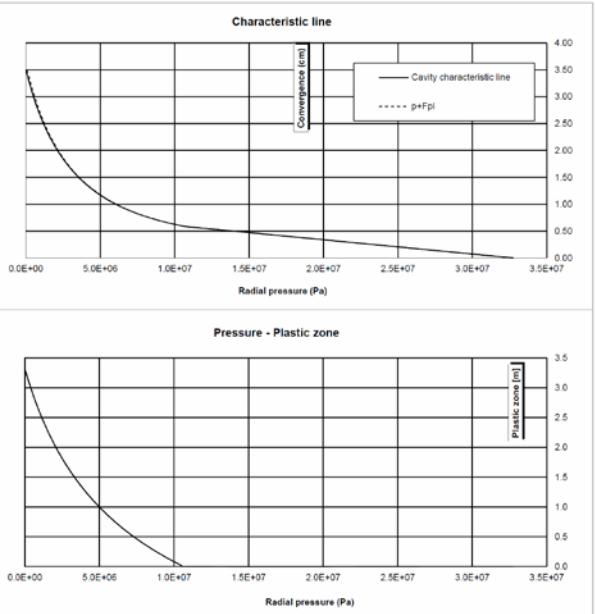
A1.1 Sezione pk 14+050 e pk 14+150

R_{scavo} = cunicolo esplorativo Erkundungsstollen

GA-BCA-GS-10g - R=3.41m

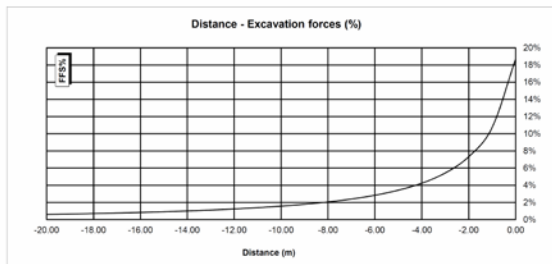
| INPUT DATA | | RESULTS | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|
| Weight [kN/m ³] | 27300 | At final equilibrium | |
| Overburden [m] | 1200 | Total convergence [cm] | 3.5 |
| Excavation radius [m] | 3.41 | Convergence after excavation [cm] | 2.4 |
| Peak internal friction angle [°] | 36.00 | Plastic zone thickness [m] | 3.3 |
| Post peak internal friction angle [°] | 29.00 | Equilibrium at excavation face | |
| Peak cohesion [Pa] | 3535000 | Convergence [cm] | 1.0 |
| Post peak cohesion [Pa] | 2275000 | 1 - (deconfinement ratio) [%] | 17.4% |
| Deformation modulus [Pa] | 1.55E+10 | | |
| Poisson's ratio [-] | 0.21 | | |
| Dilation angle [°] | 5.00 | | |

| | |
|--------------------------|----------|
| c(face) / Radius | 0.31 [%] |
| c(total) / Radius | 1.03 [%] |
| c(after excav.) / Radius | 0.72 [%] |
| Pl.thick. (face)/Radius | 24.2 [%] |
| Pl.thick. (total)/Radius | 97.3 [%] |



R_{ausbruch} = Haupttunnel

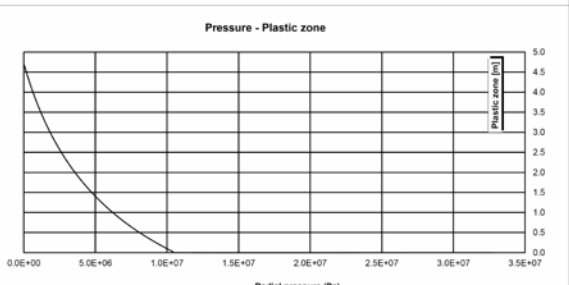
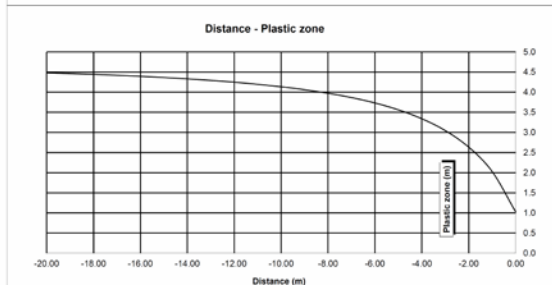
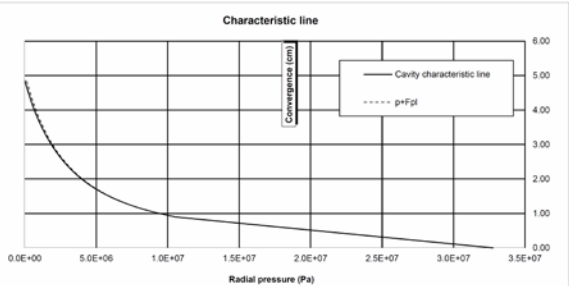
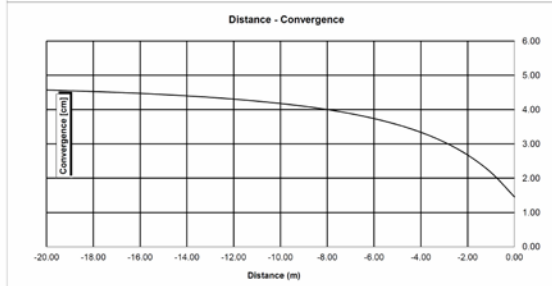
R_{scavo} = galleria di linea



14_GA-BCA-GS-10g

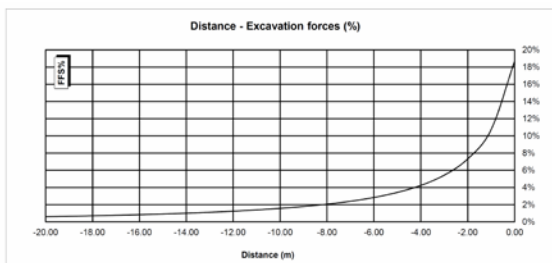
| INPUT DATA | | RESULTS | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|
| Weight [N/mc] | 27300 | At final equilibrium | |
| Overburden [m] | 1200 | Total convergence [cm] | 4.9 |
| Excavation radius [m] | 4.84 | Convergence after excavation [cm] | 3.4 |
| | | Plastic zone thickness [m] | 4.7 |
| Peak internal friction angle [°] | 36.23 | Equilibrium at excavation face | |
| Post peak internal friction angle [°] | 28.85 | Convergence [cm] | 1.5 |
| Peak cohesion [Pa] | 3535000 | 1 - (deconfinement ratio) [%] | 18.7% |
| Post peak cohesion [Pa] | 2274000 | | |
| Deformation modulus [Pa] | 1.55E+10 | | |
| Poisson's ratio [-] | 0.3 | | |
| Dilation angle [°] | 4.53 | | |

| | |
|--------------------------|----------|
| c(face) / Radius | 0.30 [%] |
| c(total) / Radius | 1.00 [%] |
| c(after excav.) / Radius | 0.70 [%] |
| Pl.thick. (face)/Radius | 21.2 [%] |
| Pl.thick. (total)/Radius | 97.4 [%] |



R_{ausbruch} = Haupttunnel

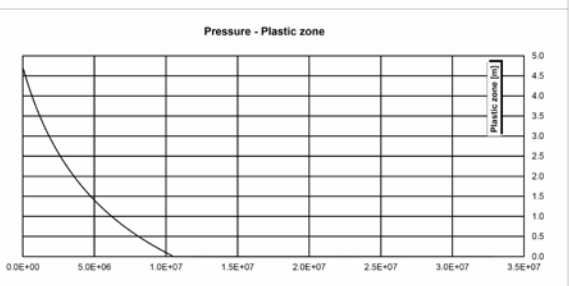
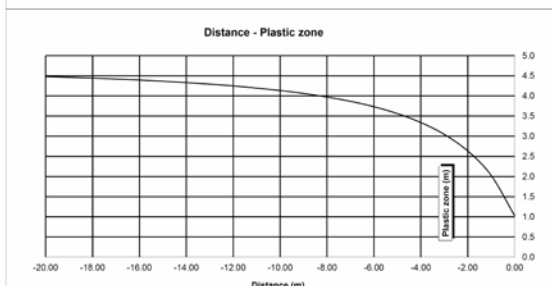
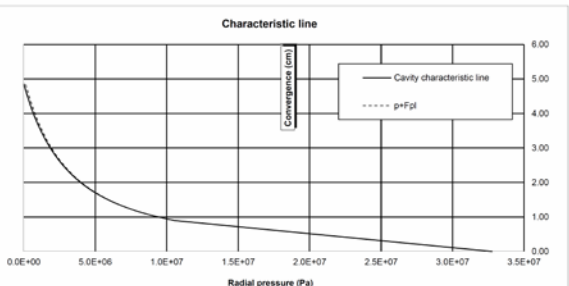
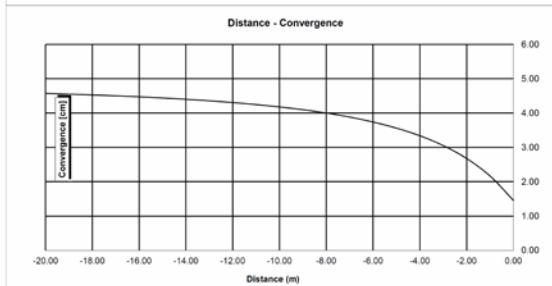
R_{scavo} = galleria di linea



14_GA-BCA-GS-10g

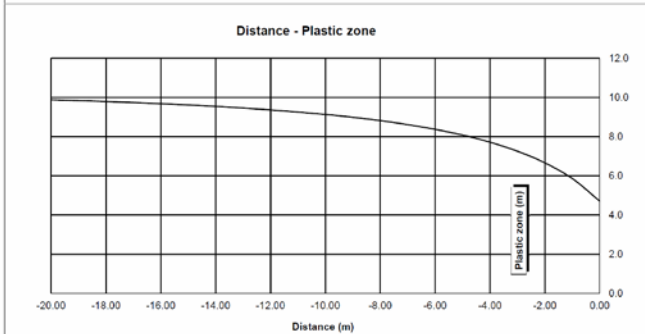
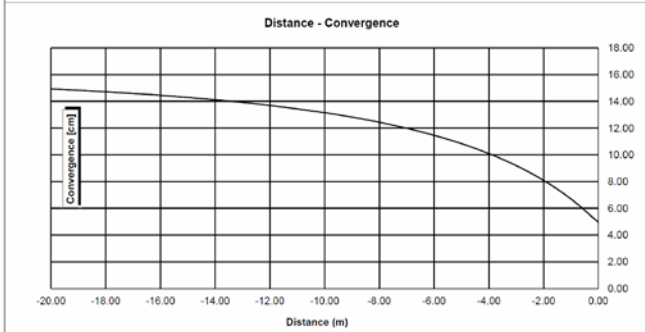
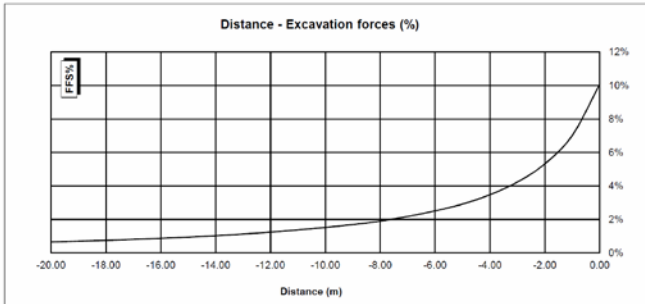
| INPUT DATA | | RESULTS | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|
| Weight [N/mc] | 27300 | At final equilibrium | |
| Overburden [m] | 1200 | Total convergence [cm] | 4.9 |
| Excavation radius [m] | 4.84 | Convergence after excavation [cm] | 3.4 |
| | | Plastic zone thickness [m] | 4.7 |
| Peak internal friction angle [°] | 36.23 | Equilibrium at excavation face | |
| Post peak internal friction angle [°] | 28.85 | Convergence [cm] | 1.5 |
| Peak cohesion [Pa] | 3535000 | 1 - (deconfinement ratio) [%] | 18.7% |
| Post peak cohesion [Pa] | 2274000 | | |
| Deformation modulus [Pa] | 1.55E+10 | | |
| Poisson's ratio [-] | 0.3 | | |
| Dilation angle [°] | 4.53 | | |

| | |
|--------------------------|----------|
| c(face) / Radius | 0.30 [%] |
| c(total) / Radius | 1.00 [%] |
| c(after excav.) / Radius | 0.70 [%] |
| Pl.thick. (face)/Radius | 21.2 [%] |
| Pl.thick. (total)/Radius | 97.4 [%] |



A1.2 Schnitt pk 14+300

R_{ausbruch} = Erkundungsstollen



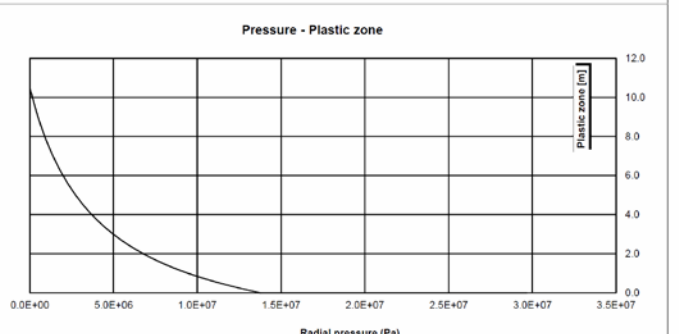
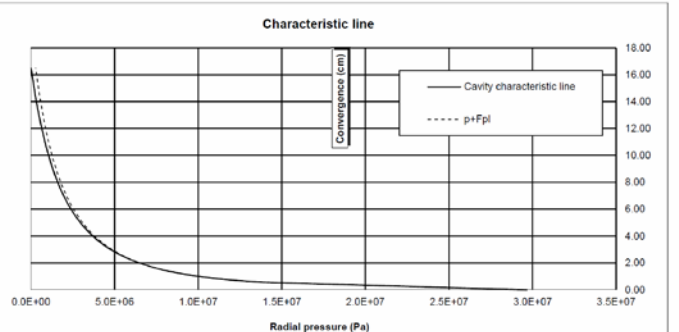
A1.2 Sezione pk 14+300

R_{scavo} = cunicolo esplorativo

GA-BST-KS-8f - R=3.41m

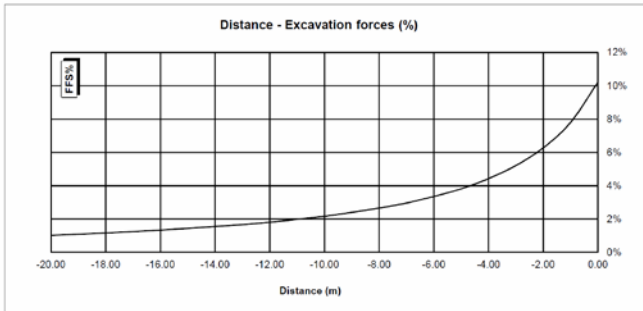
| INPUT DATA | | RESULTS | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|
| Weight [N/m ³] | 26600 | At final equilibrium | |
| Overburden [m] | 1115 | Total convergence [cm] | 16.5 |
| Excavation radius [m] | 3.41 | Convergence after excavation [cm] | 11.6 |
| Peak internal friction angle [°] | 28.00 | Plastic zone thickness [m] | 10.5 |
| Post peak internal friction angle [°] | 21.00 | Equilibrium at excavation face | |
| Peak cohesion [Pa] | 2195000 | Convergence [cm] | 5.0 |
| Post peak cohesion [Pa] | 1390000 | 1 - (deconfinement ratio) [%] | 10.1% |
| Deformation modulus [Pa] | 1.15E+10 | | |
| Poisson's ratio [-] | 0.21 | | |
| Dilation angle [°] | 3.00 | | |

| | |
|--------------------------|-----------|
| c(face) / Radius | 1.45 [%] |
| c(total) / Radius | 4.84 [%] |
| c(after excav.) / Radius | 3.39 [%] |
| Pl.thick. (face)/Radius | 138.2 [%] |
| Pl.thick. (total)/Radius | 308.0 [%] |



R_{ausbruch} = Haupttunnel

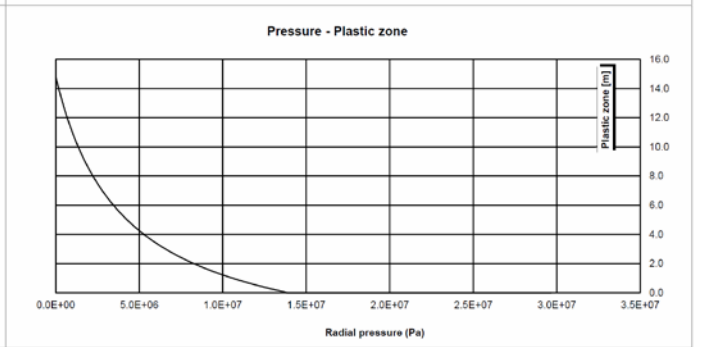
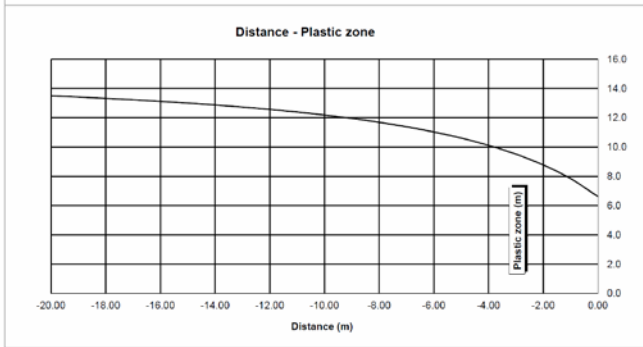
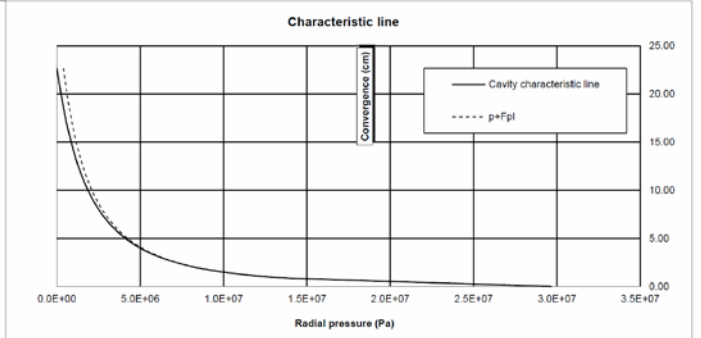
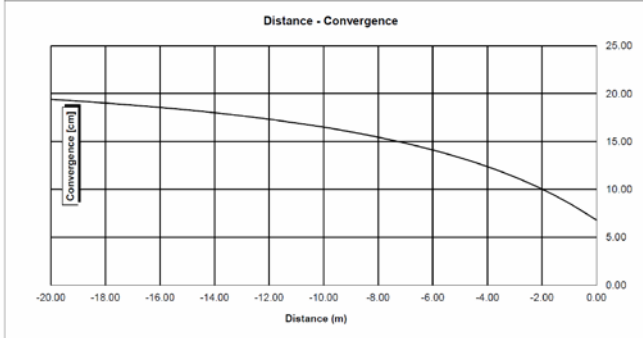
R_{scavo} = galleria di linea



13_GA-BST-KS-8f

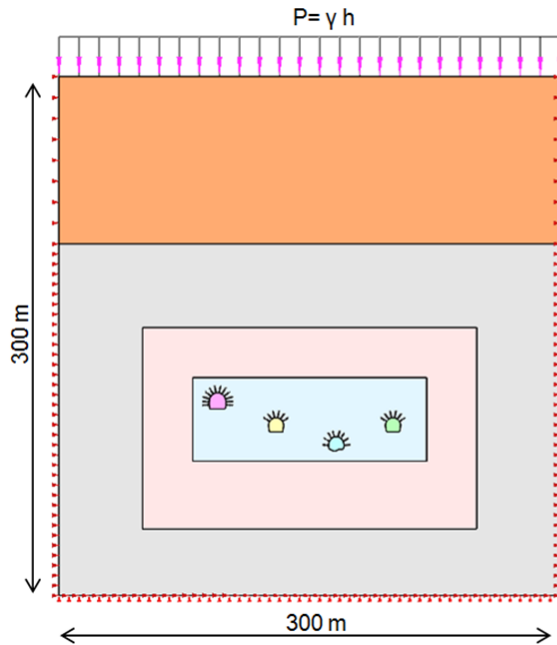
| INPUT DATA | | RESULTS | |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|
| Weight [N/m ³] | 26600 | At final equilibrium | |
| Overburden [m] | 1115 | Total convergence [cm] | 22.7 |
| Excavation radius [m] | 4.84 | Convergence after excavation [cm] | 15.9 |
| | | Plastic zone thickness [m] | 14.8 |
| Peak internal friction angle [°] | 27.69 | Equilibrium at excavation face | |
| Post peak internal friction angle [°] | 21.15 | Convergence [cm] | 6.8 |
| Peak cohesion [Pa] | 2193000 | 1 - (deconfinement ratio) [%] | 10.2% |
| Post peak cohesion [Pa] | 1392000 | | |
| Deformation modulus [Pa] | 1.15E+10 | | |
| Poisson's ratio [-] | 0.3 | | |
| Dilation angle [°] | 3.50 | | |

| | |
|--------------------------|-----------|
| c(face) / Radius | 1.40 [%] |
| c(total) / Radius | 4.68 [%] |
| c(after excav.) / Radius | 3.28 [%] |
| Pl.thick. (face)/Radius | 136.8 [%] |
| Pl.thick. (total)/Radius | 306.6 [%] |



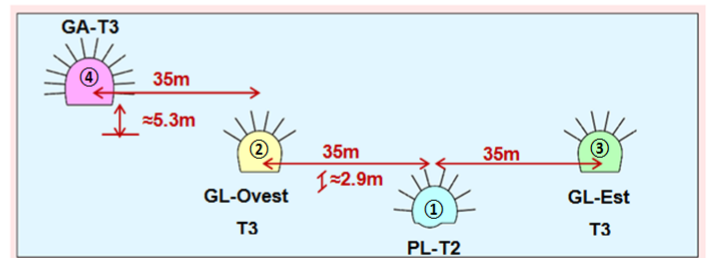
ANHANG 2 - FEM- ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+050

Dieser Anhang zeigt die Hauptresultate des Finite-Elemente-Analyse von km 14+050 mit dem Berechnungsprogramm Midas GTS.



APPENDICE 2 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+050

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti della sezione pk 14+050 effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.



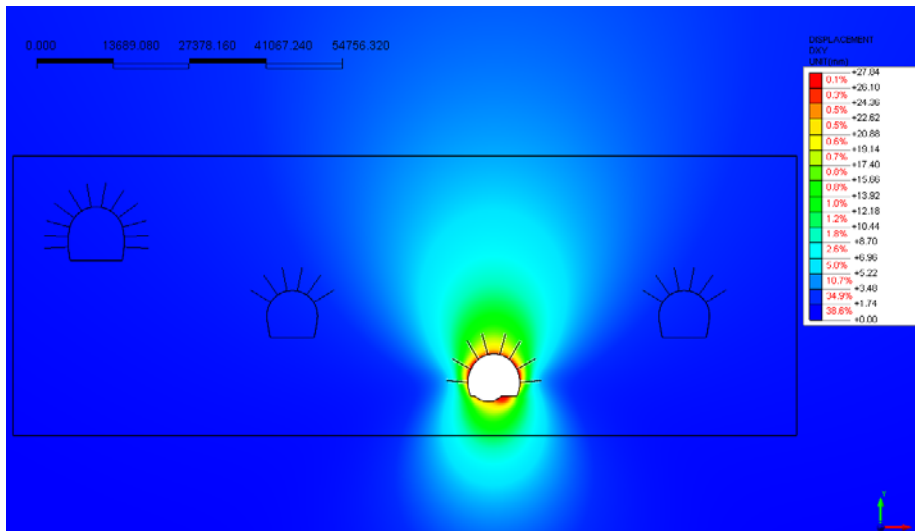


Abbildung 1: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs PL-T2

Illustrazione 1: Spostamenti xy [mm] fine scavo PL-T2

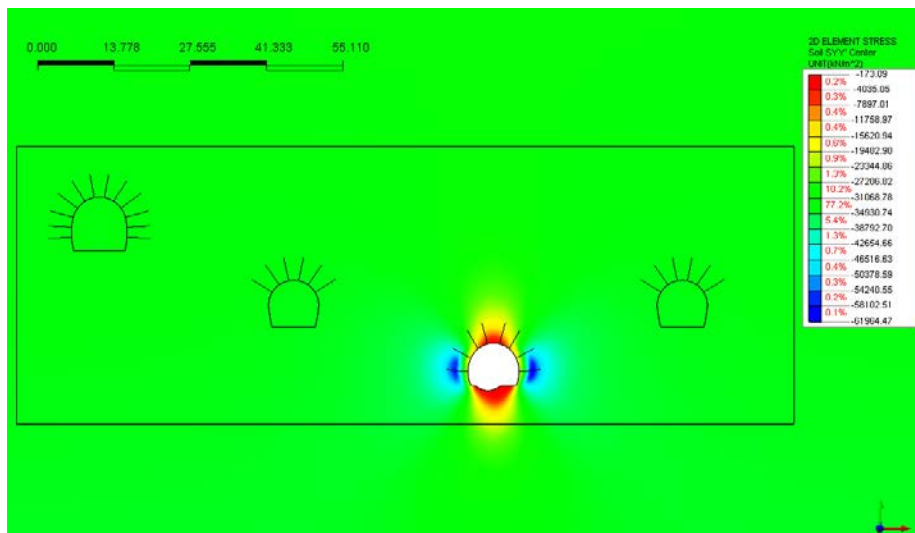


Abbildung 2: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs PL-T2

Illustrazione 2: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo PL-T2

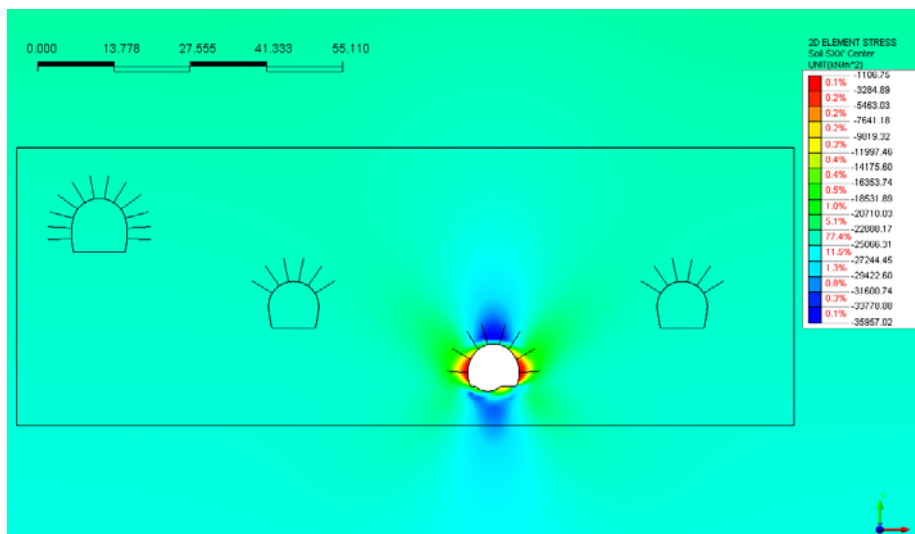


Abbildung 3: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs PL-T2

Illustrazione 3: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo PL-T2

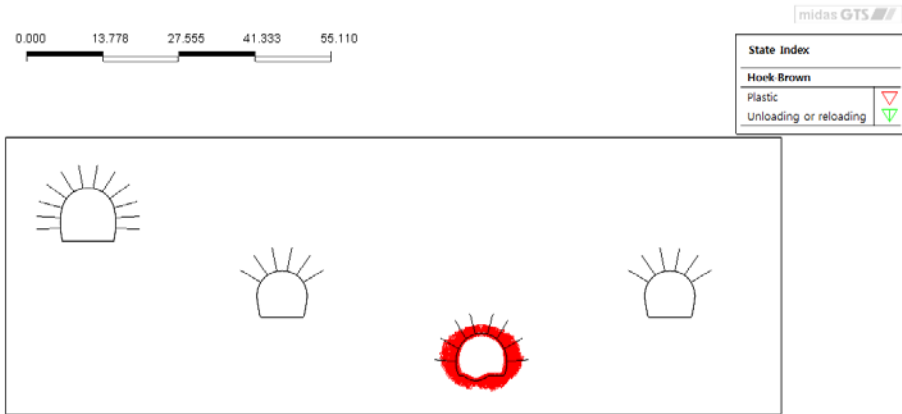


Abbildung 4: Plastifizierung am Ende des Aushubs PL-T2

Illustrazione 4: Plasticizzazioni fine scavo PL-T2

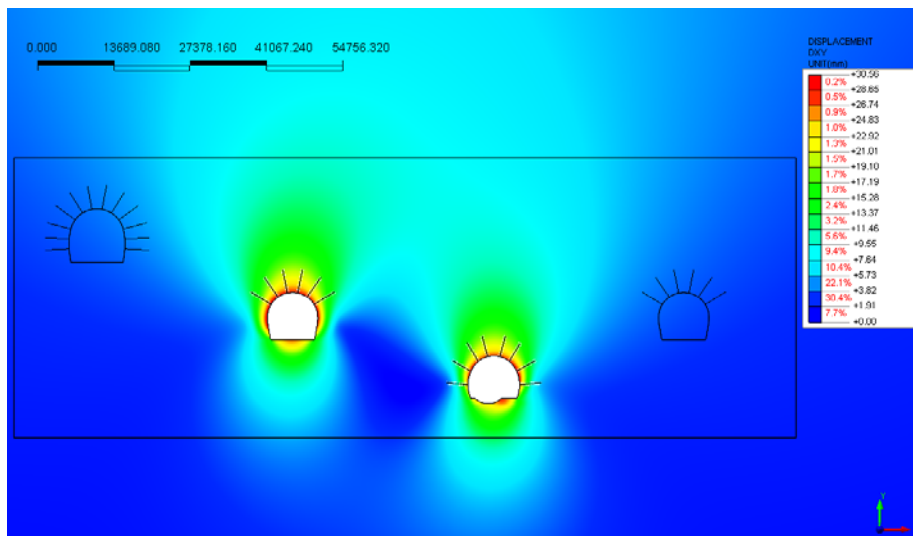


Abbildung 5: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 5: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL-T3 Ovest

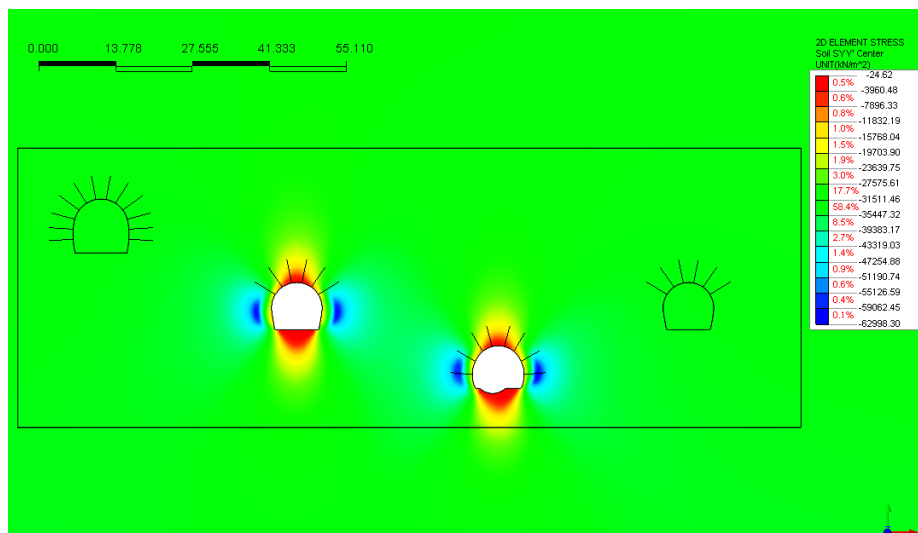


Abbildung 6: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 6: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Ovest

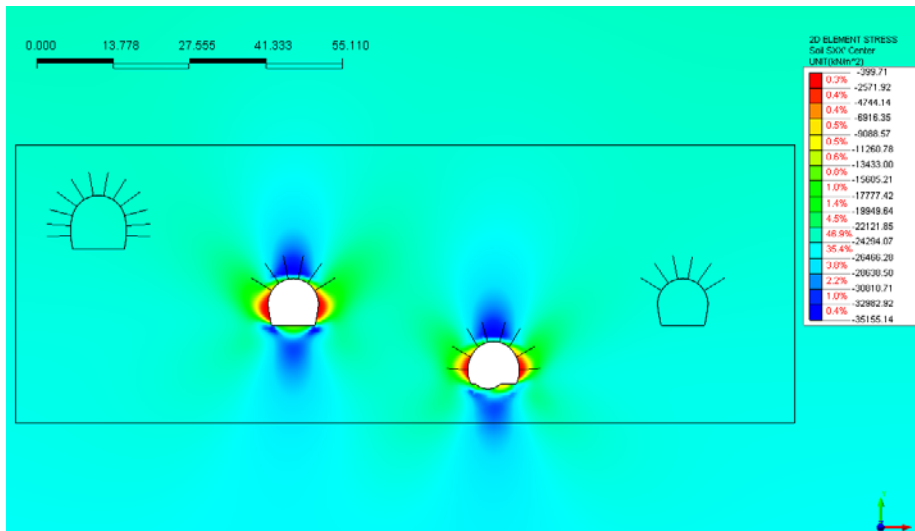


Abbildung 7: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 7: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Ovest

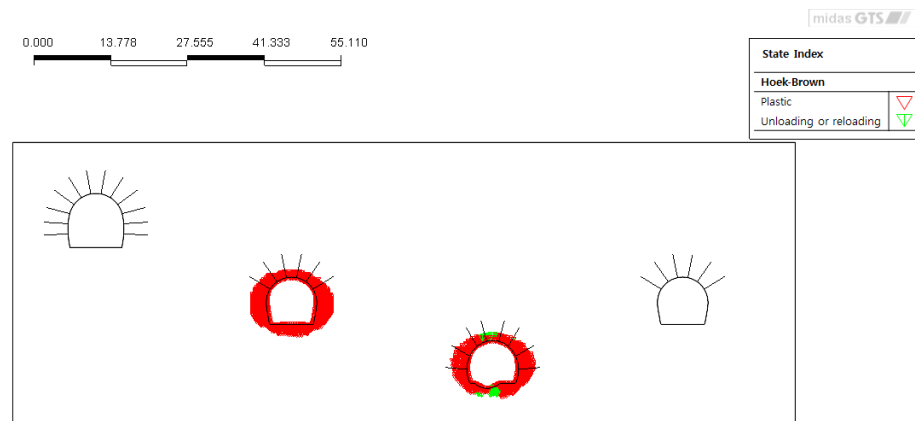


Abbildung 8: Plastifizierung am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 8: Plasticizzazioni - fine scavo GL-T3 Ovest

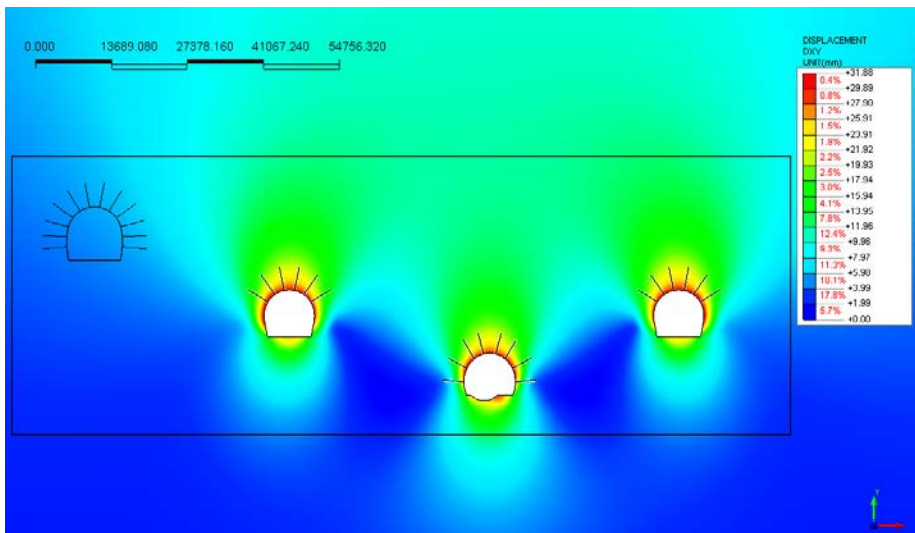


Abbildung 9: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 9: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL-T3 Est

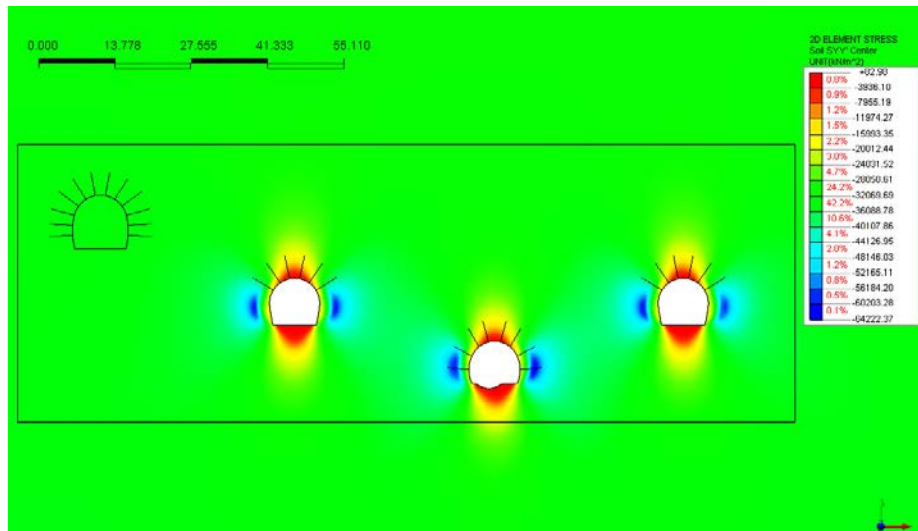


Abbildung 10: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 10: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Est

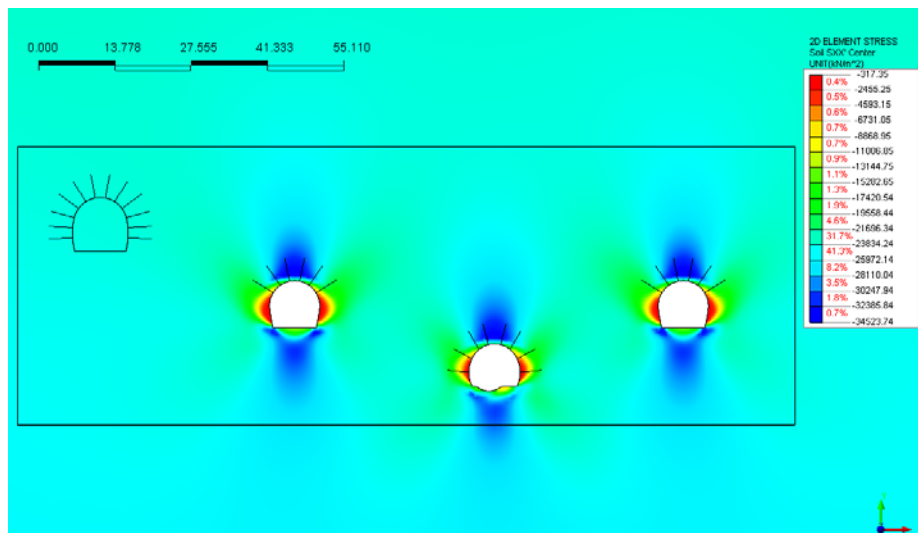


Abbildung 11: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 11: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Est

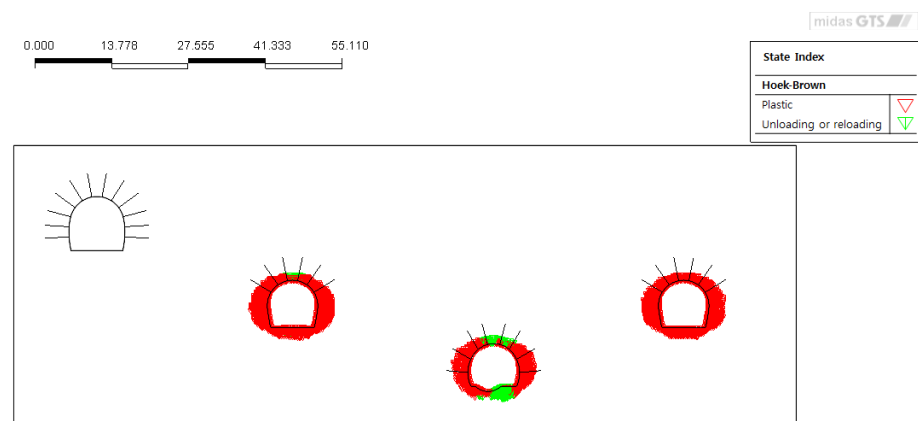


Abbildung 12: Plastifizierung am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 12: Plasticizzazioni - fine scavo GL-T3 Est

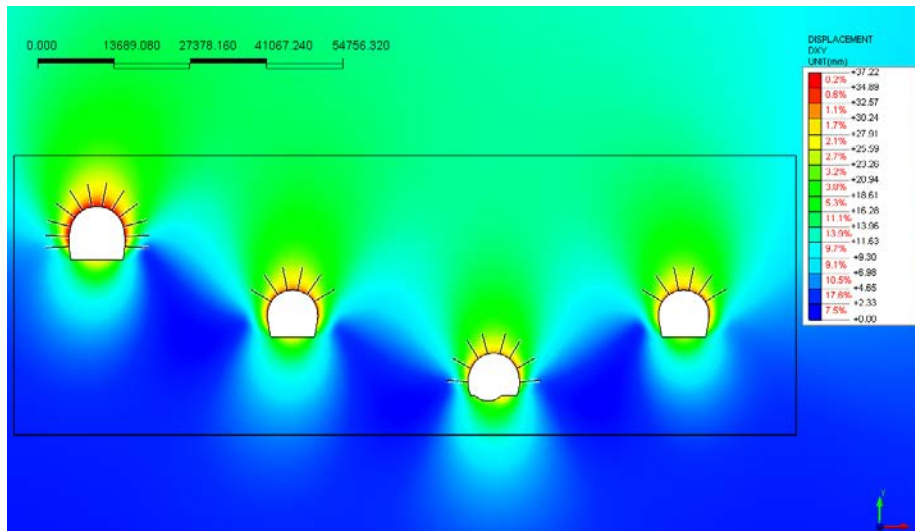


Abbildung 13: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs GA-T3 Illustrazione 13: Spostamenti xy [mm] fine scavo GA-T3

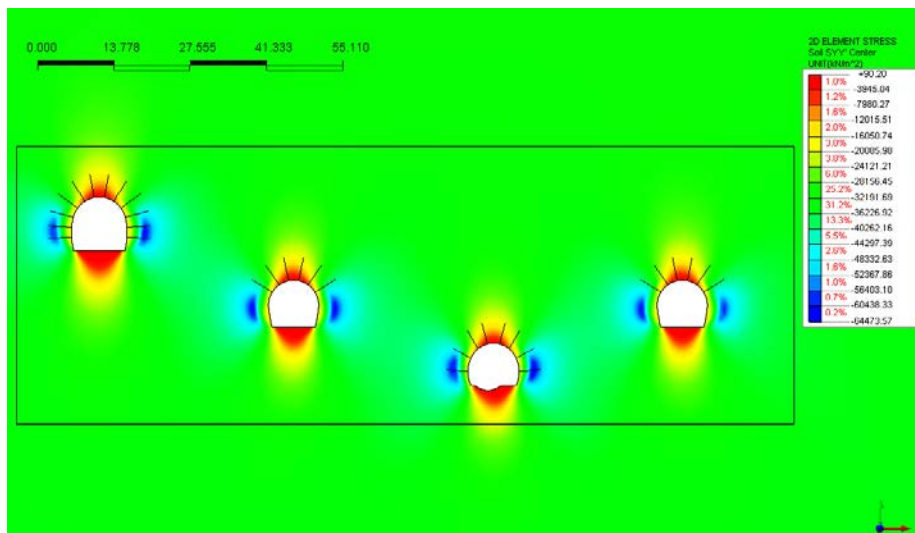


Abbildung 14: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GA-T3 Illustrazione 14: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo GA-T3

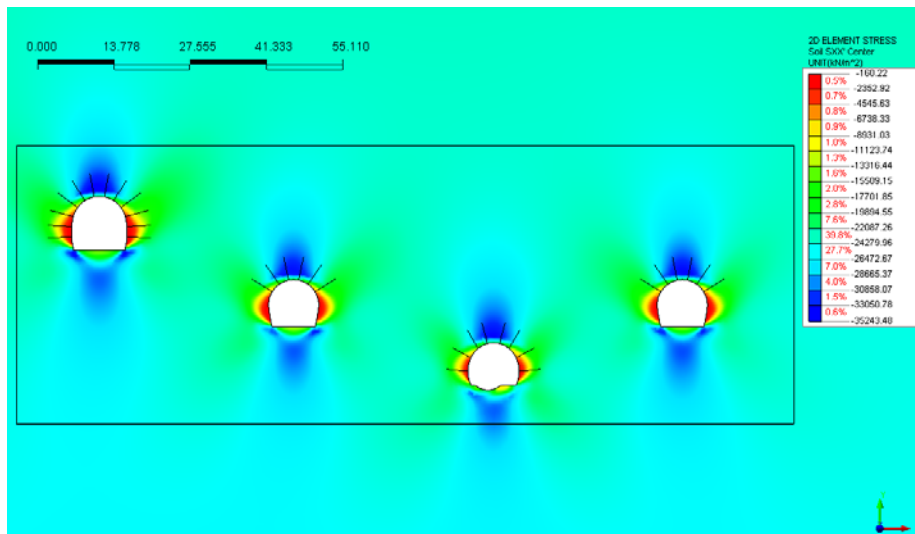


Abbildung 15: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GA-T3 Illustrazione 15: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo GA-T3

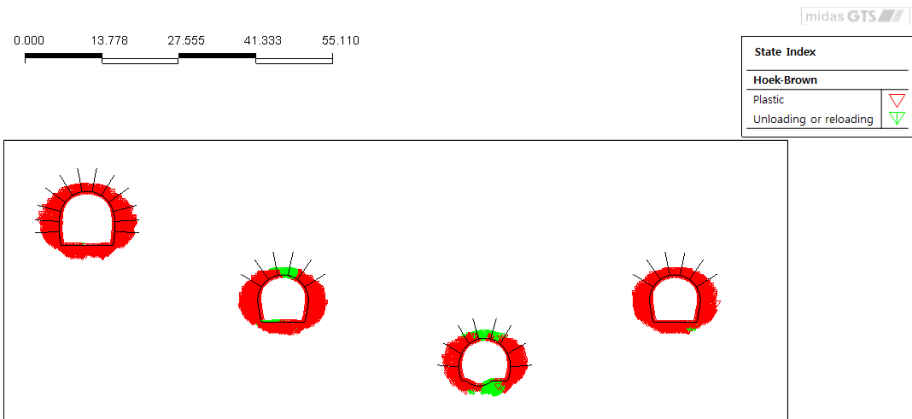
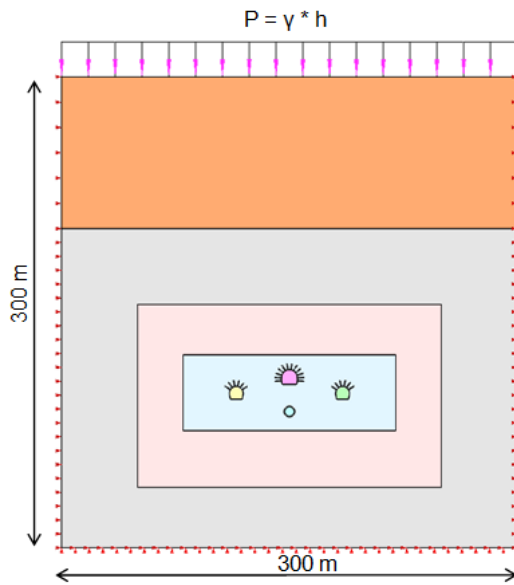


Abbildung 16: Plastifizierung am Ende des Aushubs GA-T3

Illustrazione 16: Plasticizzazioni - fine scavo GA-T3

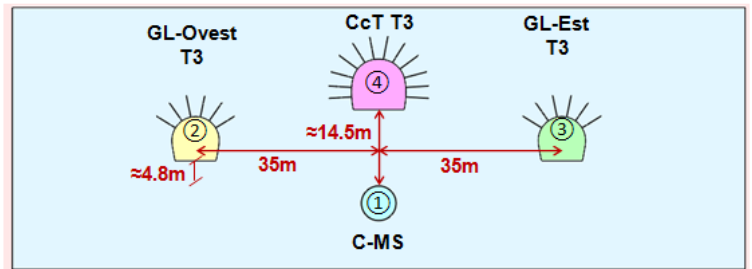
ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+150

Diese Anlage führt die wichtigsten Outputs der FEM-Analysen des Schnitts pk 14+150 an, die mit dem Rechenprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.



APPENDICE 3 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+150

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti della sezione pk 14+150 effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.



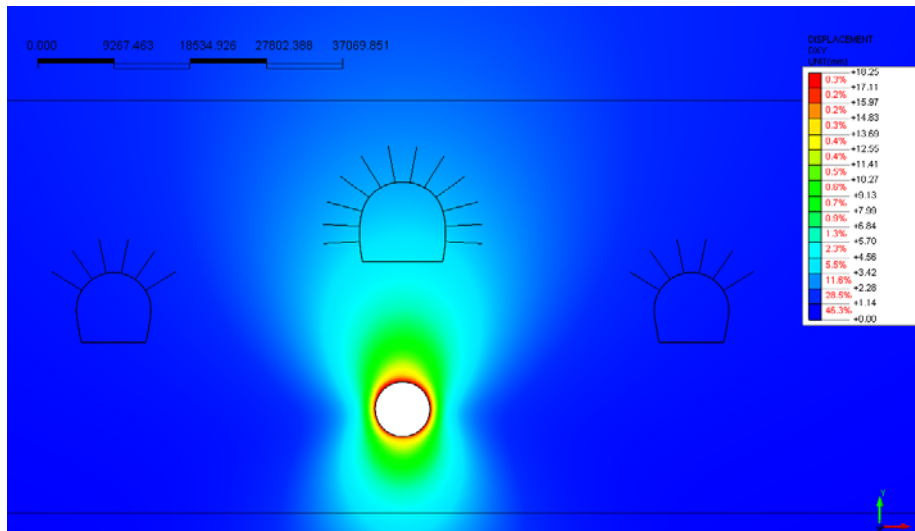


Abbildung 17: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 17: Spostamenti xy [mm] fine scavo C-MS

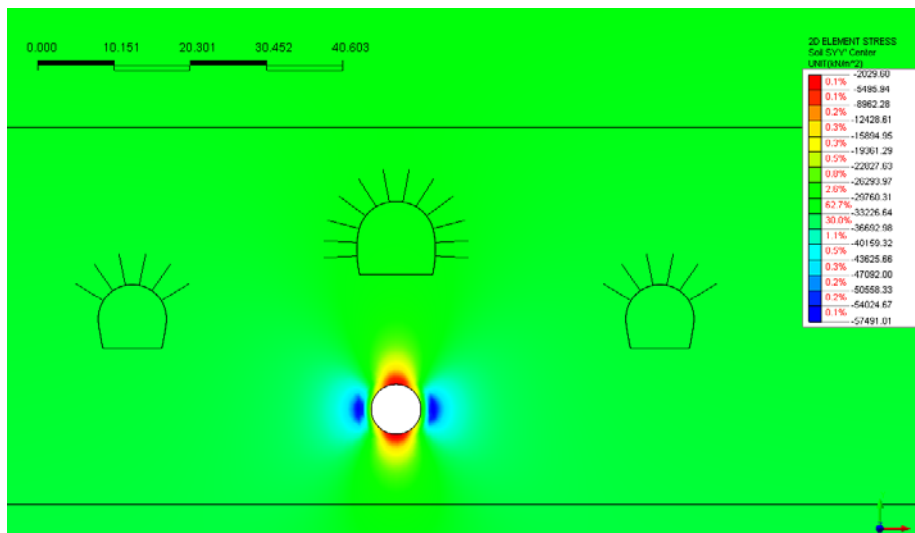


Abbildung 18: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 18: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo C-MS

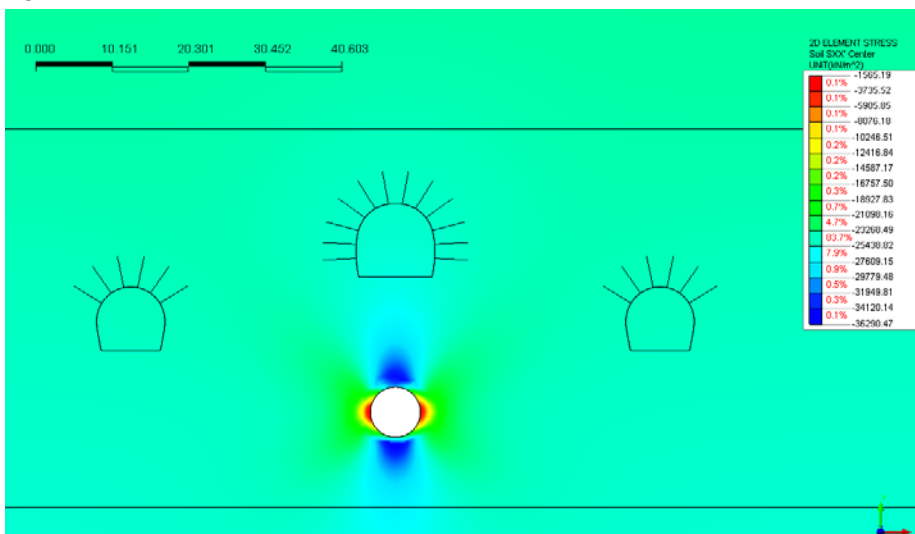


Abbildung 19: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 19: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo C-MS

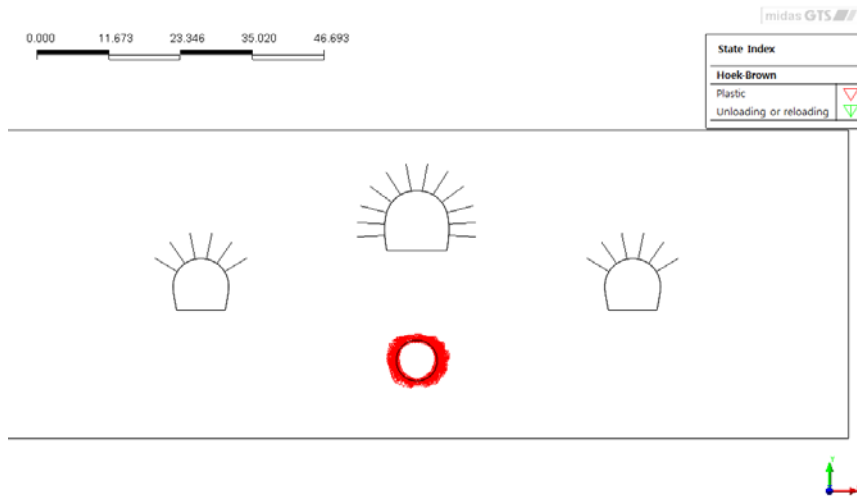


Abbildung 20: Plastifizierung am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 20: Plasticizzazioni fine scavo C-MS

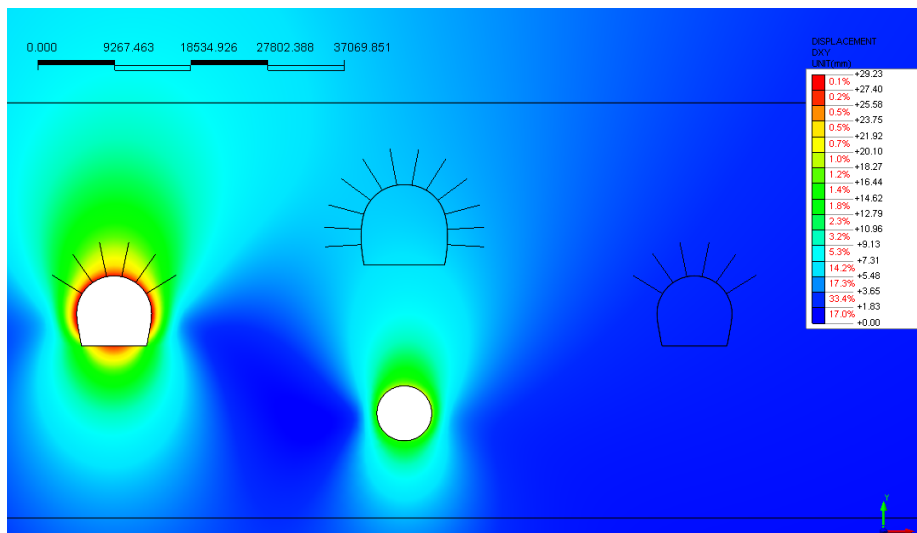


Abbildung 21: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 21: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL-T3 Ovest

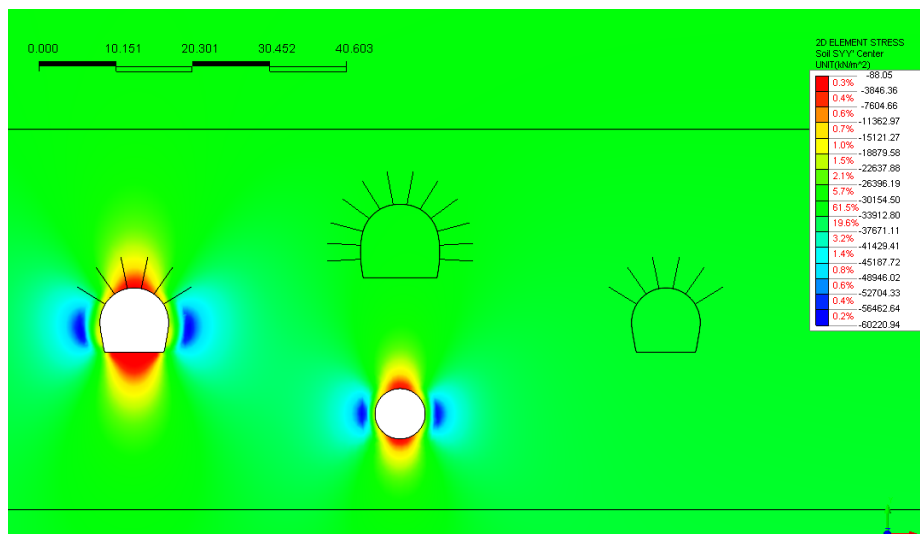


Abbildung 22: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 22: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Ovest

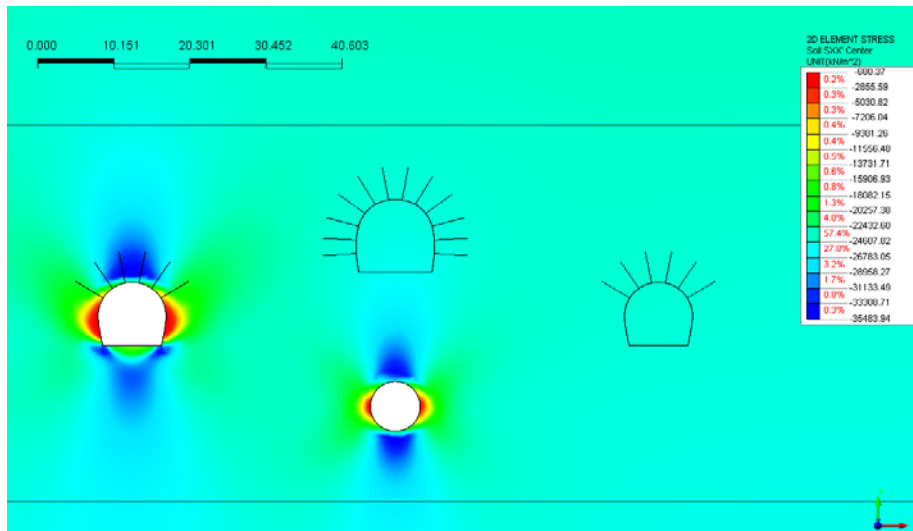


Abbildung 23: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 23: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Ovest

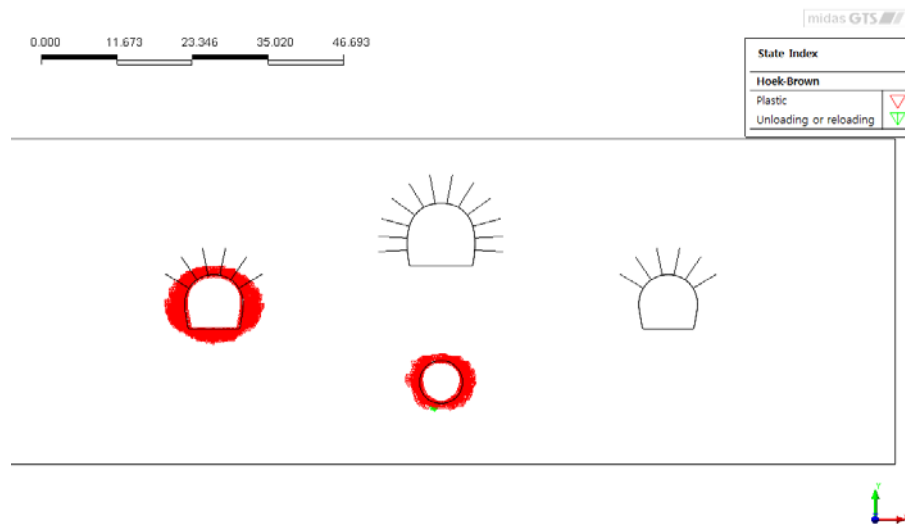


Abbildung 24: Plastifizierung am Ende des Aushubs GL-T3 West

Illustrazione 24: Plasticizzazioni - fine scavo GL-T3 Ovest

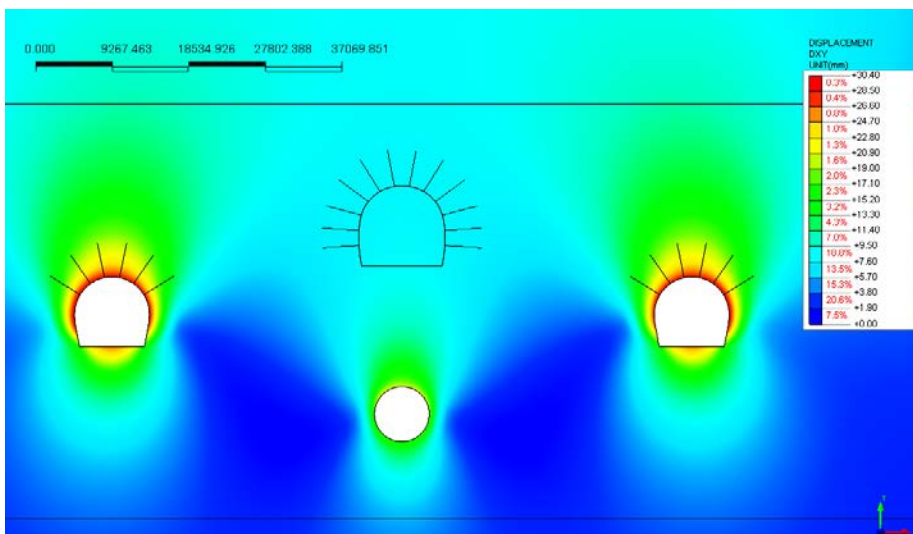


Abbildung 25: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 25: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL-T3 Est

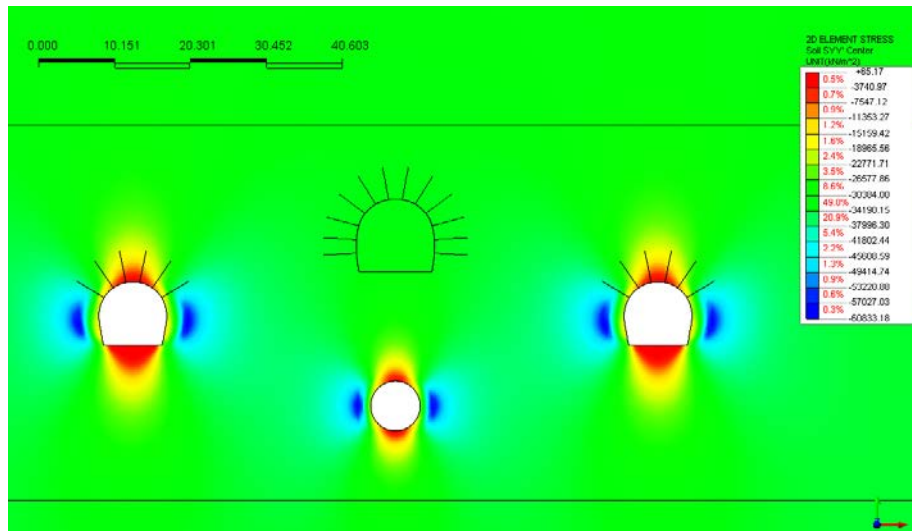


Abbildung 26: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 26: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Est

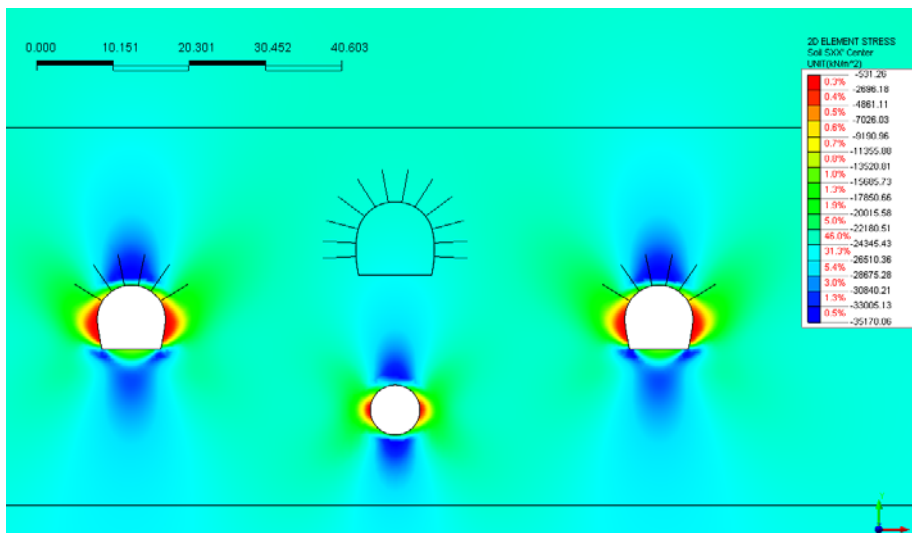


Abbildung 27: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 27: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo GL-T3 Est

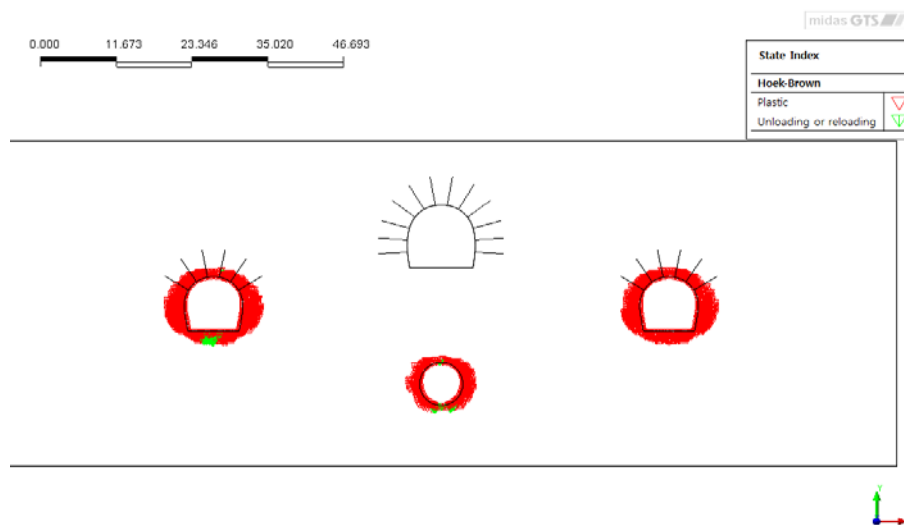


Abbildung 28: Plastifizierung am Ende des Aushubs GL-T3 Ost

Illustrazione 28: Plasticizzazioni - fine scavo GL-T3 Est

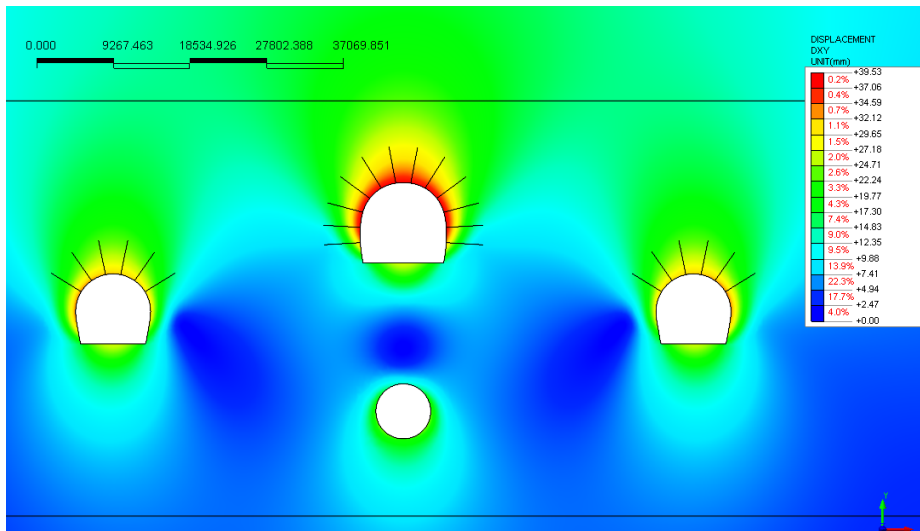


Abbildung 29: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs FdE-CcT-T3

Illustrazione 29: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-CcT-T3

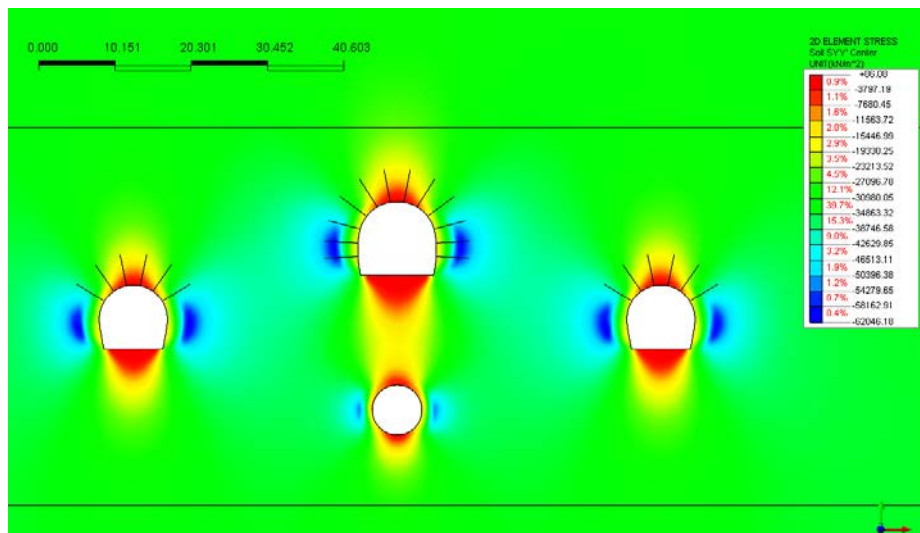


Abbildung 30: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-CcT-T3

Illustrazione 30: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo FdE-CcT-T3

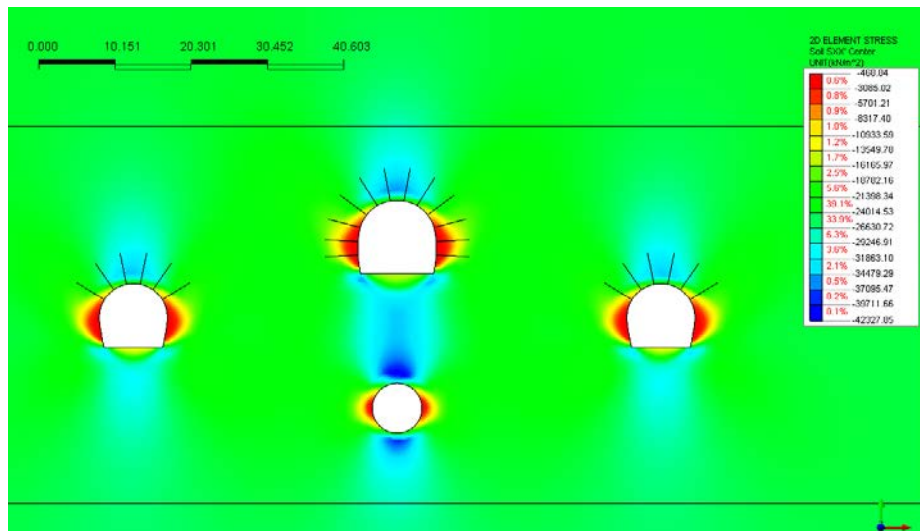


Abbildung 31: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-CcT-T3

Illustrazione 31: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo FdE-CcT-T3

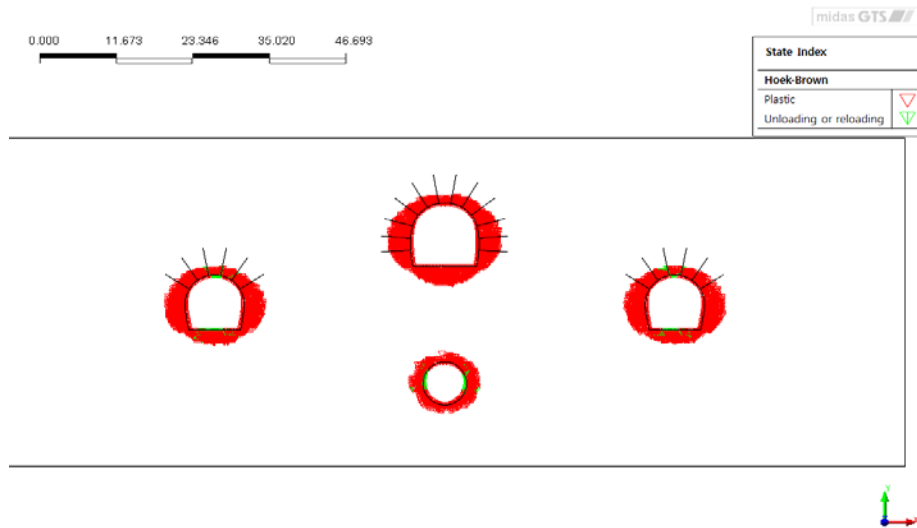
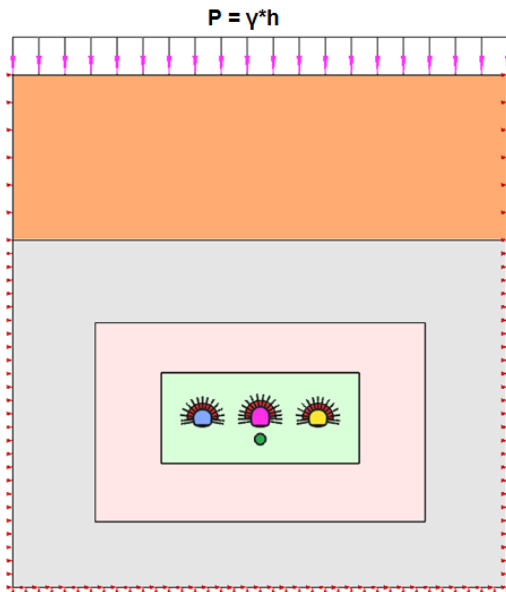


Abbildung 32: Plastifizierung am Ende des Aushubs FdE-CcT-T3

Illustrazione 32: Plasticizzazioni - fine scavo FdE-CcT-T3

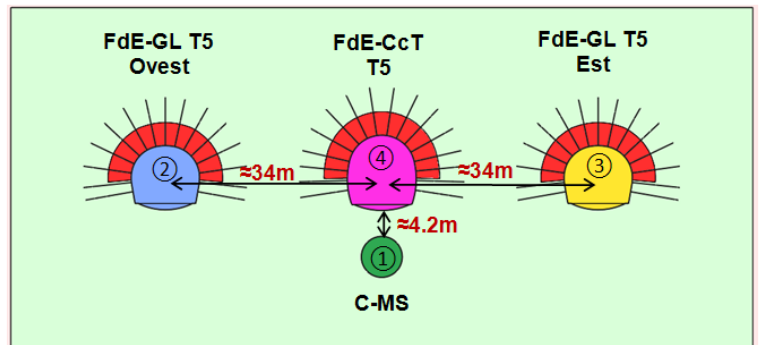
ANHANG 4 - FEM-ANALYSE DER ABSCHNITT KM 14+150

Diese Anlage führt die wichtigsten Outputs der FEM-Analysen des Schnitts pk 14+300 an, die mit dem Rechenprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.



APPENDICE 4 - ANALISI FEM DELLA SEZIONE PK 14+300

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti della sezione pk 14+300 effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.



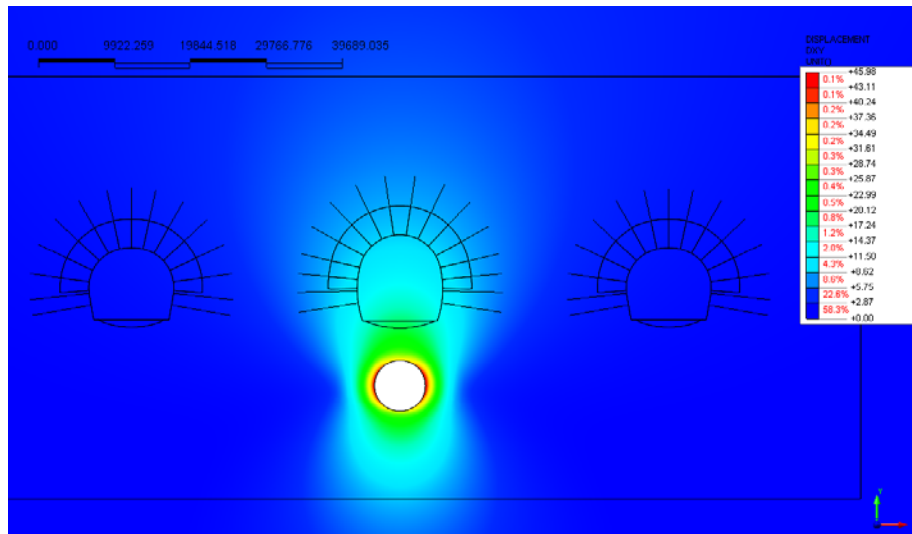


Abbildung 33: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 33: Spostamenti xy [mm] fine scavo C-MS

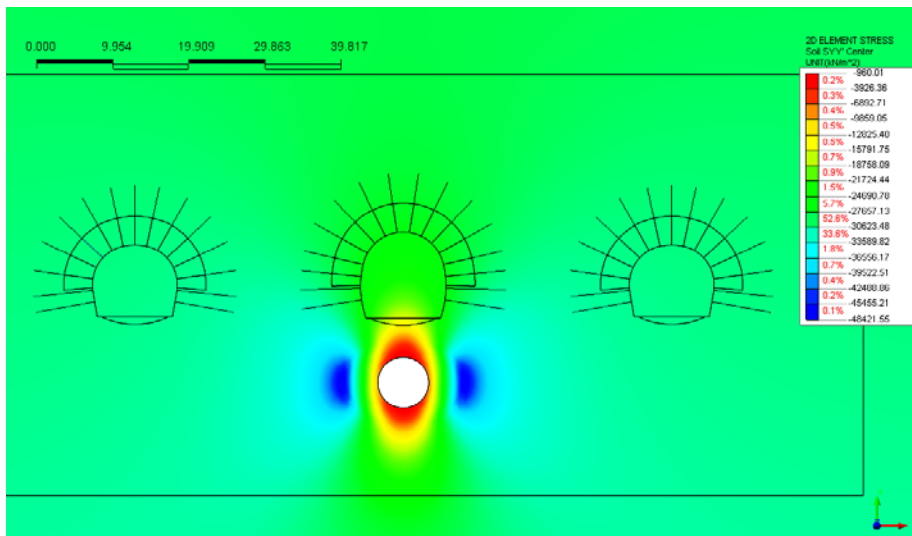


Abbildung 34: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 34: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo C-MS

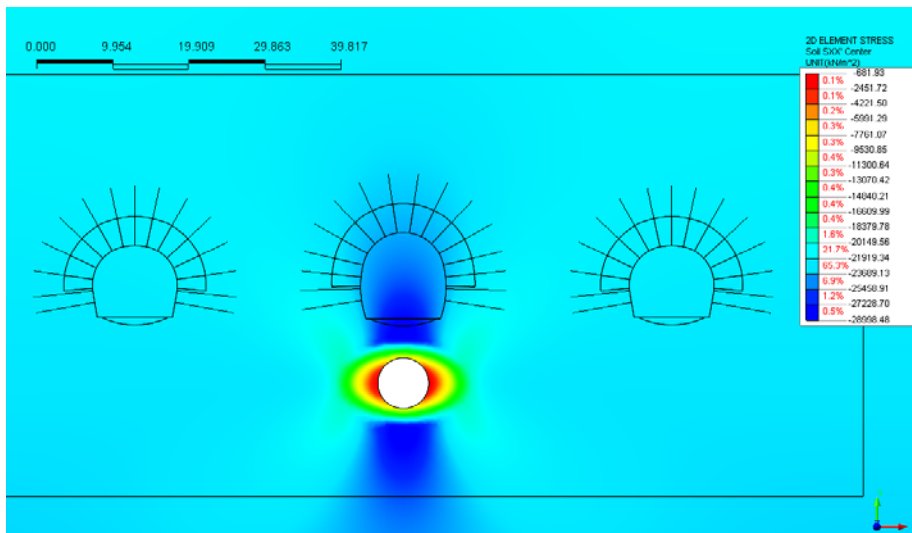


Abbildung 35: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 35: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo C-MS

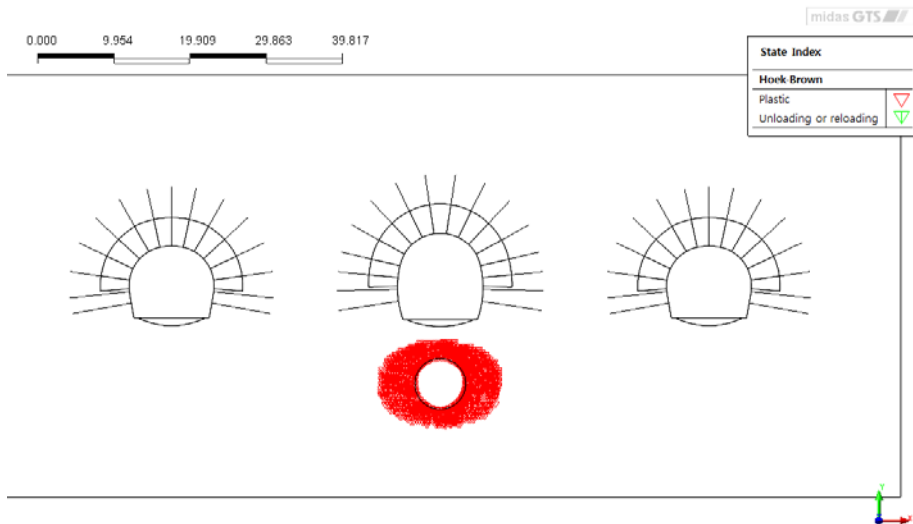


Abbildung 36: Plastifizierung am Ende des Aushubs C-MS

Illustrazione 36: Plasticizzazioni fine scavo C-MS

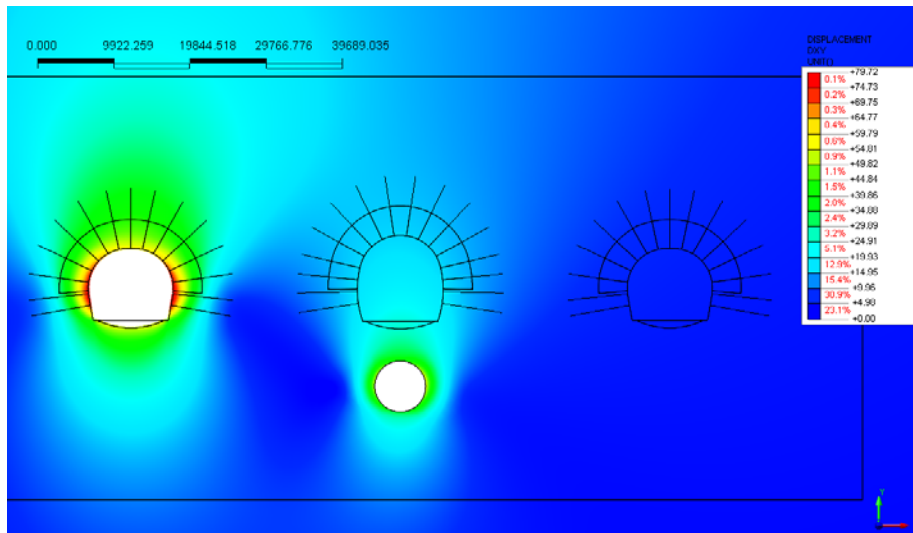


Abbildung 37: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 West

Illustrazione 37: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-GL-T5 Ovest

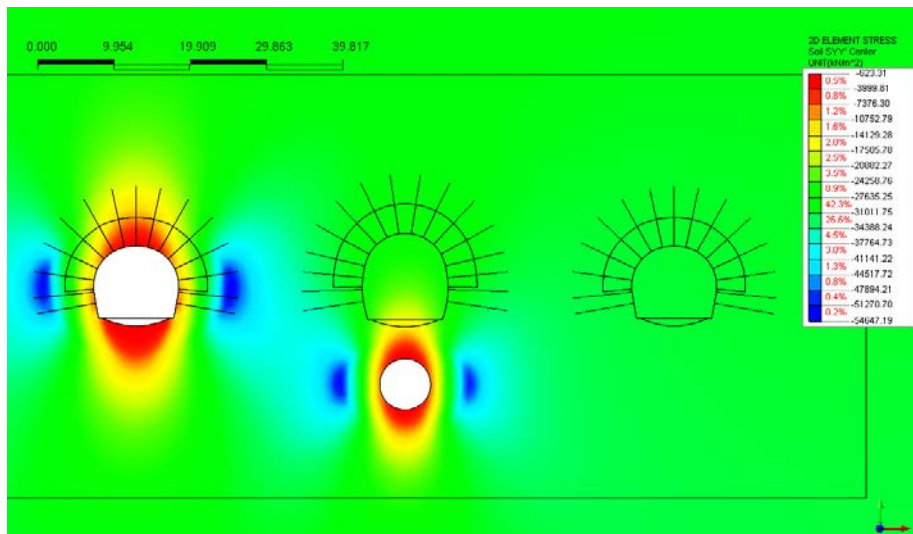


Abbildung 38: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 West

Illustrazione 38: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo FdE-GL-T5 Ovest

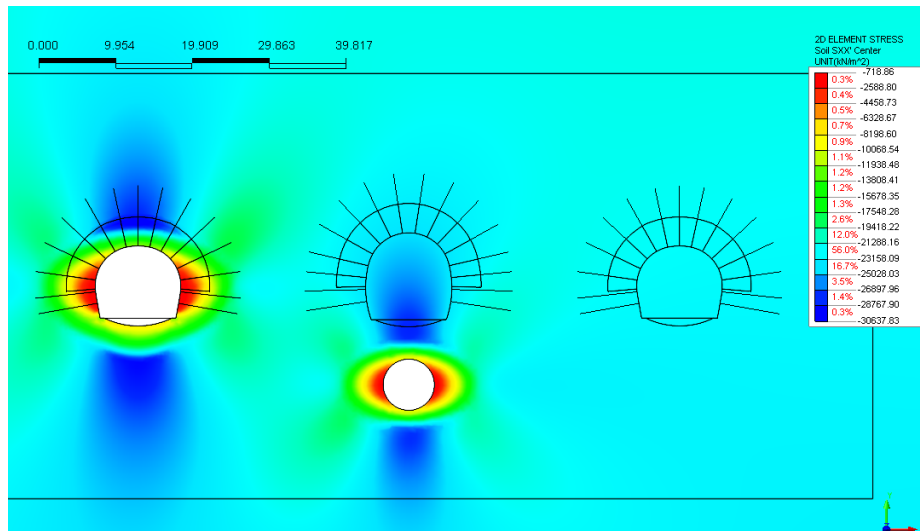


Abbildung 39: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 West

Illustrazione 39: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo FdE-GL-T5 Ovest

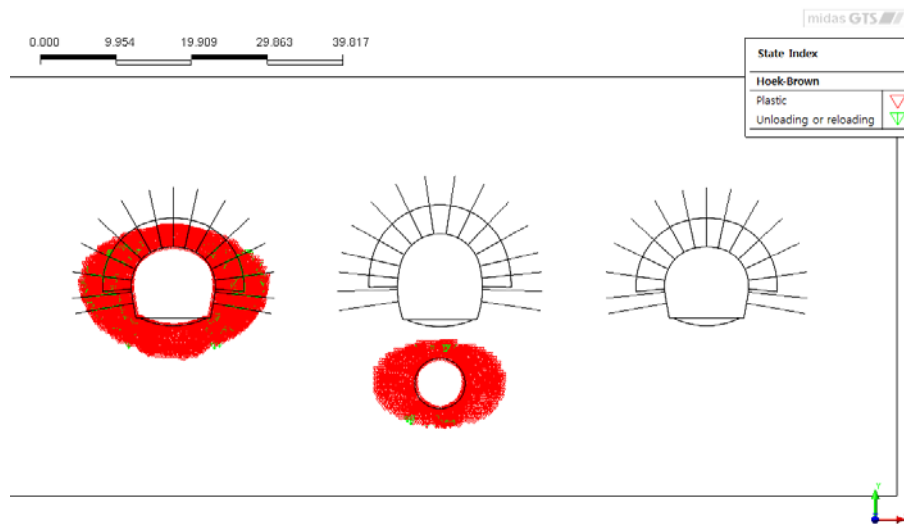


Abbildung 40: Plastifizierung am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 West

Illustrazione 40: Plasticizzazioni - fine scavo FdE-GL-T5 Ovest

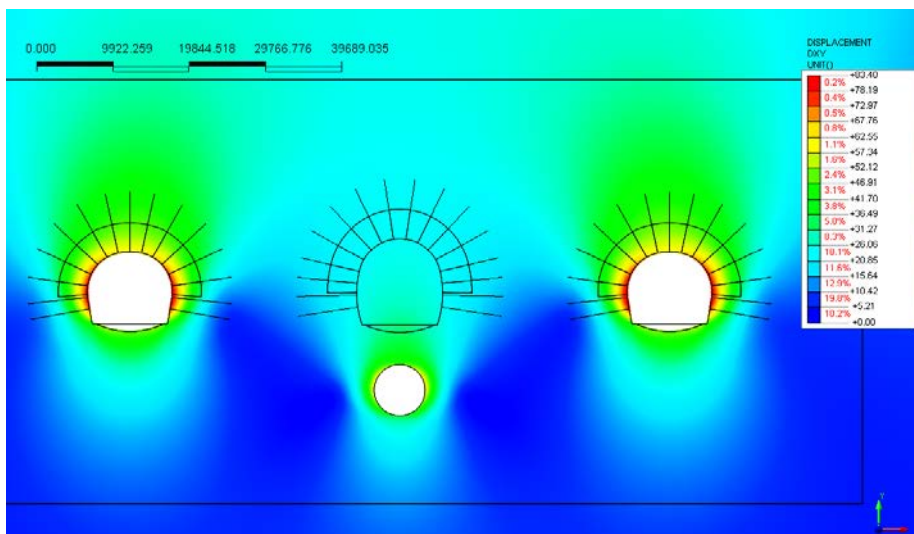


Abbildung 41: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 Ost

Illustrazione 41: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-GL-T5 Est

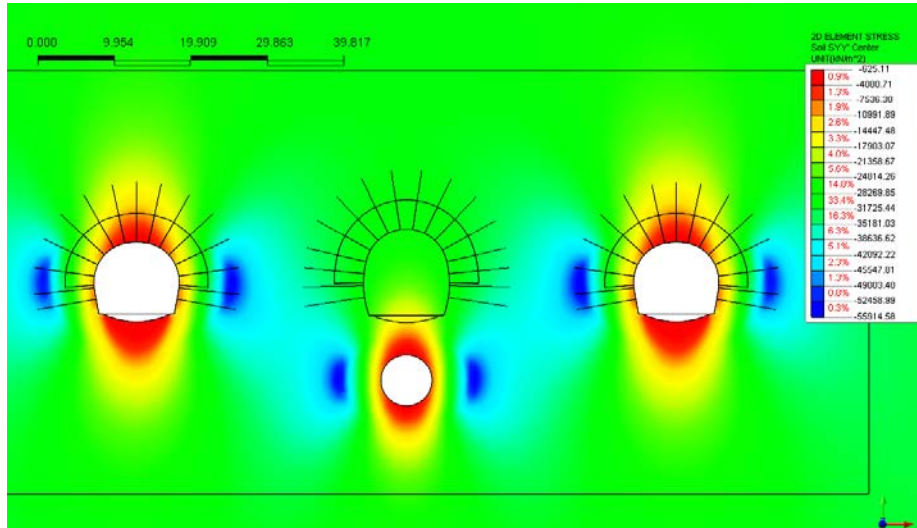


Abbildung 42: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 Ost

Illustrazione 42: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo FdE-GL-T5 Est

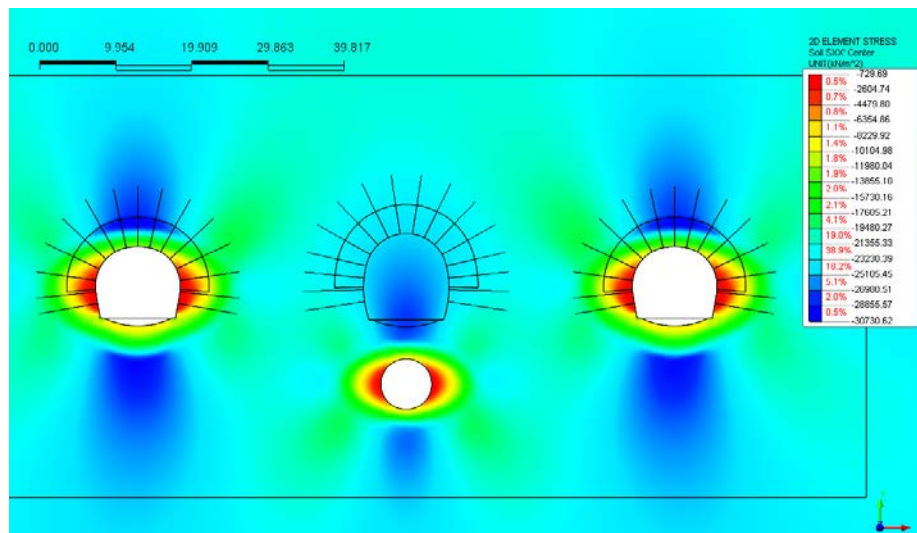


Abbildung 43: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 Ost

Illustrazione 43: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo FdE-GL-T5 Est

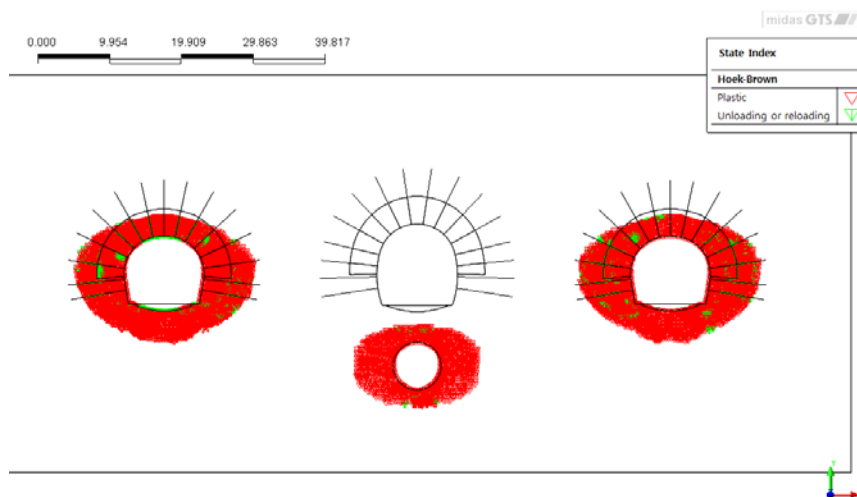


Abbildung 44: Plastifizierung am Ende des Aushubs FdE-GL-T5 Ost

Illustrazione 44: Plasticizzazioni - fine scavo FdE-GL-T5 Est

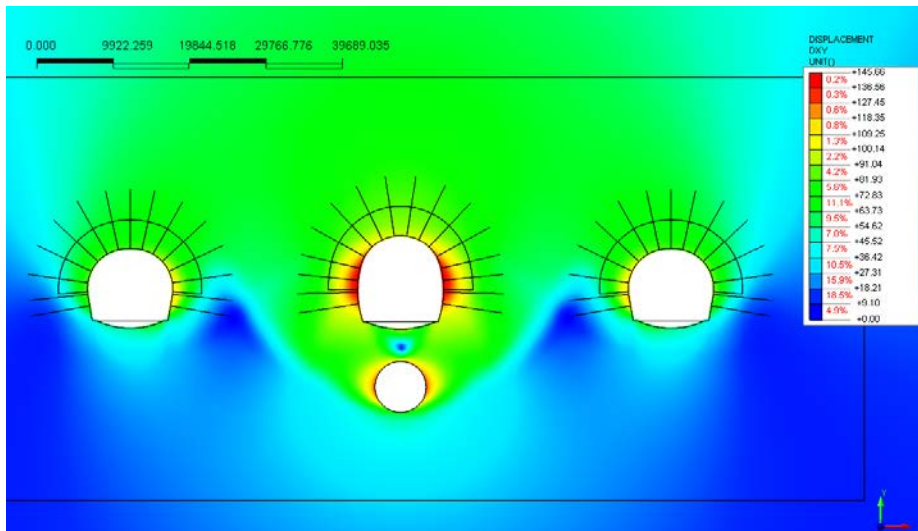


Abbildung 45: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Aushubs FdE-CcT-T5

Illustrazione 45: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-CcT-T5

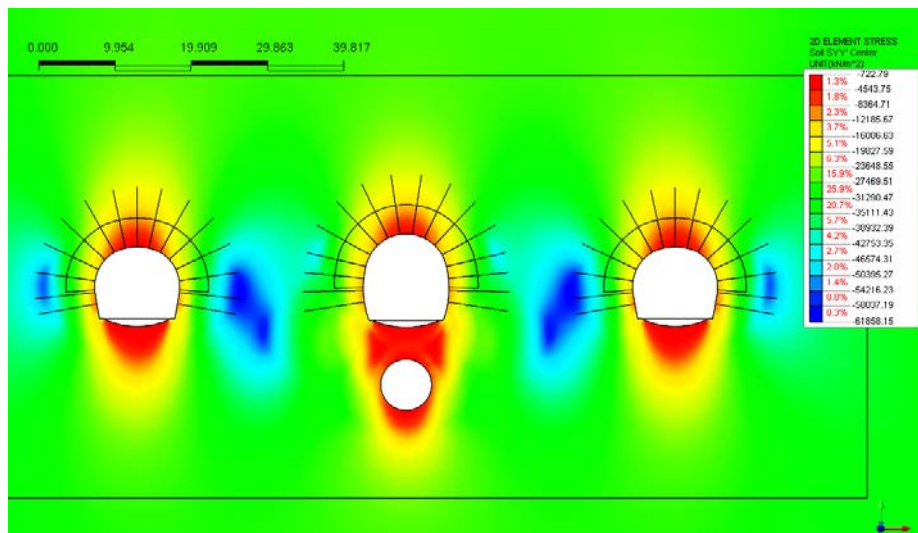


Abbildung 46: Vertikale Spannungen σ_{yy} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-CcT-T5

Illustrazione 46: Tensioni verticali σ_{yy} [kN/m²] - fine scavo FdE-CcT-T5

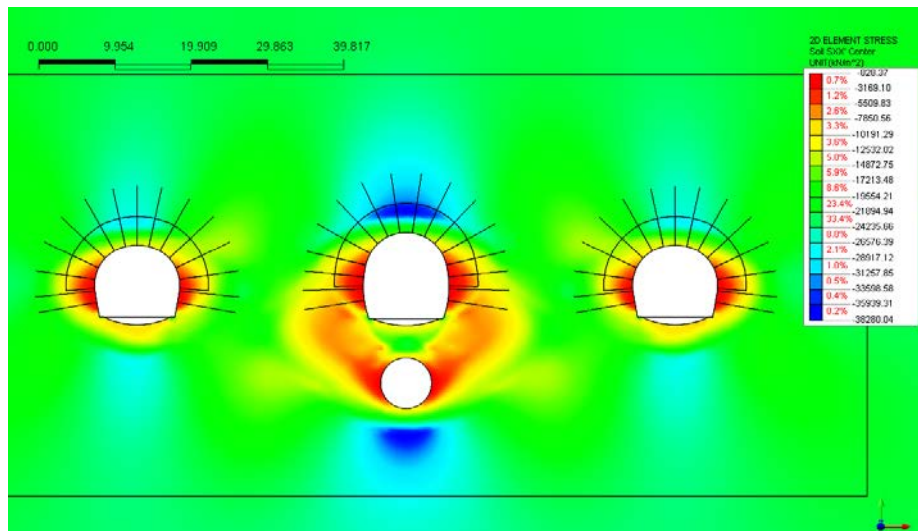


Abbildung 47: Horizontale Spannungen σ_{xx} [kN/m²] - am Ende des Aushubs FdE-CcT-T5

Illustrazione 47: Tensioni orizzontali σ_{xx} [kN/m²] - fine scavo FdE-CcT-T5

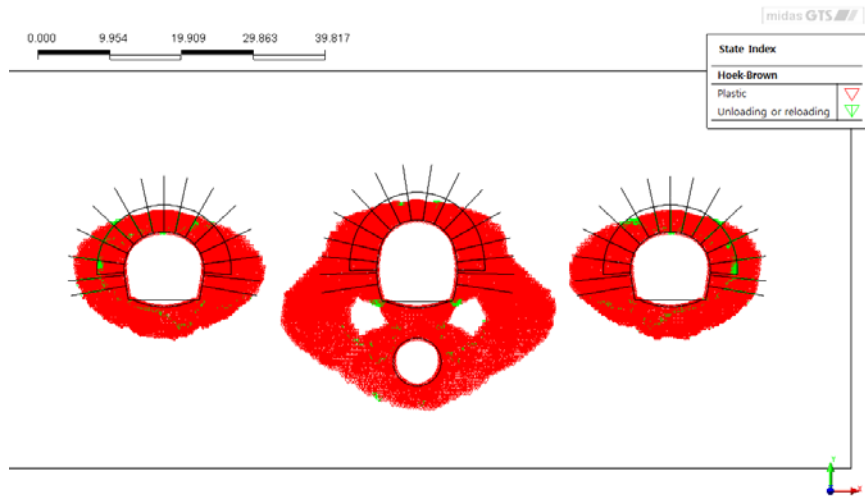


Abbildung 48: Plastifizierung am Ende des Aushubs FdE-CcT-T5

Illustrazione 48: Plasticizzazioni - fine scavo FdE-CcT-T5