



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes 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 Teil 3

WBS

Opere generali Parte 3

Dokumentenart

Technischer Bericht

Tipo Documento

Relazione tecnica

Titel

Statische Berechnung - Querschläge

Titolo

Relazione di calcolo – Cunicoli trasversali



Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P
olo Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sommarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026781911, Fax: +39 0267152612

Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche
Ing. Enrico Maria Pizzarotti
Ord. Ingg. Milano N° A 29470

Mandataria



Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Mandante



Mandante



Mandante



Fachplaner / il progettista specialista

Fachplaner / il progettista specialista
Ing. Rodrigo Correa

Fachplaner / il progettista specialista

Fachplaner / il progettista specialista

Datum / Data

30.01.2015

Name / Nome

Donato / Nater

Gesellschaft / Società

Pöyry

Bearbeitet / Elaborato

Geprüft / Verificato

30.01.2015

Correa

Pöyry



Name / Nome
R. Zurlo

Name / Nome
K. Bergmeister

Projekt-
kilometer /
Chilometro
progetto

von / da 32.0+88

bis / a 54.0+15

bei / al

Bau-
kilometer /
Chilometro
opera

von / da 32.0+88

bis / a 44.1+92

bei / al

Status
Dokument /
Stato
documento

Massstab /
Scala

-

Staat
Stato

02

Los
Lotto

H61

Einheit
Unità

OP

Nummer
Numero

035

Dokumentenart
Tipo Documento

KTB

Vertrag
Contratto

D0700

Nummer
Codice

23056

Revision
Revisione

21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	Nater / Correa	30.01.2015
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Donato / Nater	04.12.2014
11	Revisione Consegna definitiva	Donato / Nater	09.10.2014
10	Consegna Definitiva	Donato / Nater	31.07.2014
00	Consegna preliminare	Donato / Nater	24.03.2014

1	EINFÜHRUNG	
1	INTRODUZIONE	6
2	MATERIALKENNWERTE	
2	MATERIALI	9
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO.....	9
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI.....	9
2.3	BETON	
2.3	CALCESTRUZZO.....	9
2.4	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.4	ACCIAIO DA ARMATURA.....	10
2.5	STAHL FÜR PROFILEN	
2.5	ACCIAIO DA CARPENTERIA.....	10
3	GEOTECHNISCHES MODELL	
3	MODELLO GEOTECNICO	11
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	11
3.2	VORWORT	
3.2	PREMESSA.....	11
3.2.1	Geomechanische Parameter	
3.2.1	Parametri geomeccanici.....	14
3.3	TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG	
3.3	ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ.....	16
3.4	TRENNFLÄCHENPARAMETER	
3.4	PARAMETRI DELLE DISCONTINUITÀ.....	17
4	METHODIK ZUR ERMITTLUNG DER GEBIRGSLAST	
4	COMPORAMENTO DELLA ROCCIA	18
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA.....	18
5	AUßENSCHALE	
5	RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	24
5.1	BLOCKANALYSE	
5.1	ANALISI DEI BLOCCHI.....	24
5.1.1	Gebirgslast bei trennflächendominiertem Gebirgsverhalten	
5.1.1	Carichi dell'ammasso altamente fratturato.....	24
5.1.2	Nachweisverfahren	
5.1.2	Procedura di verifica.....	25
5.1.3	Analysierte Fälle	
5.1.3	Casi analizzati.....	25
5.2	EIGENSCHAFTEN DER AUßENSCHALE	
5.2	CARATTERISTICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE.....	28
5.2.1	Nachweise Spritzbeton	
5.2.1	Verifica del betoncino proiettato.....	28
5.2.2	Nachweis der Stahlprofilen	
5.2.2	Verifica delle centine.....	29
5.2.3	Nachweise Anker	
5.2.3	Verifica degli ancoraggi.....	29

5.3	NACHWEISVERFAHREN	
5.3	PROCEDURA DI VERIFICA	30
5.3.1	Resultate	
5.3.1	Risultati	30
5.4	ANALYSE DER ORTSBRUSTSTANDSICHERHEIT	
5.4	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE.....	31
5.4.1	Nachweisverfahren	
5.4.1	Procedura di verifica	31
5.4.2	Ergebnisse	
5.4.2	Risultati	31
6	INNENSCHALE	
6	RIVESTIMENTO DEFINITIVO	32
6.1	STABWERKSMODELLE	
6.1	METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE.....	32
6.2	ZUSAMMENWIRKUNG BODEN-STRUKTUR	
6.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	32
6.2.1	Radiale Steifigkeit	
6.2.1	Rigidezza radiale	33
6.2.2	Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle	
6.2.2	Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo	34
6.3	EINWIRKUNGEN ANALYSE	
6.3	ANALISI DEI CARICHI	34
6.3.1	Eigengewicht G1	
6.3.1	Peso proprio G1.....	34
6.3.2	Betonauffüllung über der Oberleitung G3	
6.3.2	Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3	34
6.3.3	Wasserdruck G4	
6.3.3	Pressione idraulica G4	34
6.3.4	Gebirgslast G5	
6.3.4	Carico dell'ammasso G5	34
6.3.5	Kriechen und Schwinden des Betons G6	
6.3.5	Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6.....	35
6.3.6	Quelldruck	
6.3.6	Rigonfiamento G7	35
6.3.7	Temperatur Q1	
6.3.7	Temperatura Q1	36
6.3.8	Erdbebeneinwirkung E1	
6.3.8	Azione sismica E1.....	36
6.3.9	Anpralllast A2	
6.3.9	Urto A2.....	37
6.3.10	Brand A3	
6.3.10	Incendio A3	37
6.4	EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN	
6.4	COMBINAZIONI DI CARICO.....	37
6.5	NACHWEISE	
6.5	VERIFICHE	38
6.5.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	
6.5.1	Stati Limite Ultimi (SLU)	38
6.5.1.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.1.1	Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni	38

6.5.1.2	Kombinationsbeiwerte Einwirkungen	
6.5.1.2	Coefficienti di combinazione delle azioni	38
6.5.1.3	Einwirkungskombinationen	
6.5.1.3	Combinazione delle azioni	39
6.5.1.4	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
6.5.1.4	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze	39
6.5.1.5	Bemessung auf Biegung und Längskraft	
6.5.1.5	Verifica a pressoflessione	39
6.5.1.6	Bemessung Querkraft	
6.5.1.6	Verifica a taglio.....	40
6.5.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	
6.5.2	Stati Limite Esercizio (SLE)	41
6.5.2.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.2.1	Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni	41
6.5.2.2	Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen	
6.5.2.2	Coefficienti di combinazione delle azioni	41
6.5.2.3	Einwirkungskombinationen	
6.5.2.3	Combinazioni delle azioni	41
6.5.2.4	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
6.5.2.4	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze	41
6.5.2.5	Ermittlung der Verformungen	
6.5.2.5	Calcolo delle deformazioni.....	41
6.5.2.6	Begrenzung der Rissbreiten	
6.5.2.6	Limitazione dello spessore delle fessure	41
6.6	BAULICHE DURCHBILDUNG	
6.6	STRUTTURA COSTRUTTIVA	42
6.6.1	Expositionsklasse und Mindestbetondeckung	
6.6.1	Classe di esposizione e copriferro minimo	42
6.6.2	Mindestbewehrung	
6.6.2	Armatura minima.....	42
6.7	ERGEBNISSE	
6.7	RISULTATI.....	43
7	VERZEICHNISSE	
7	ELENCHI.....	44
7.2	TABELLENVERZEICHNIS	
7.1	ELENCO DELLE TABELLE	44
7.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
7.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI	45
7.4	ANLAGENVERZEICHNIS	
7.3	ELENCO APPENDICI.....	45
7.5	BIBLIOGRAFIE UND QUELLEN	
7.4	BIBLIOGRAFIA E FONTI.....	45
7.5.1	Dokumente der Ausschreibungsplanung	
7.4.1	Documenti in ingresso.....	45
7.5.2	Normen und Richtlinien	
7.4.2	Normativa.....	46
7.5.3	Literatur	
7.4.3	Letteratura.....	47

ANHANG 1 – TABELLEN DER GEBIRGSARTEN	
APPENDICE 1 – SCHEDE GEOMECCANICHE.....	49
ANHANG 2 – FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE	
APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	60
ANHANG 3 - BLOCKANALYSE	
APPENDICE 3 - ANALISI DEI BLOCCHI.....	74
ANHANG 4 – ANALYSE STAHLPROFILEN	
APPENDICE 4 - ANALISI DELLE CENTINE.....	87

1 EINFÜHRUNG

Der folgende technische Bericht fasst sich mit der Bemessung der Ausbruchsicherung und der Innenschale der Querverbindungen Typ 1 und 2 um. Diese werden entlang der Strecke km 32+090 bis km 44+192 (bez. Ostrohr) mit konventionellem Vortrieb realisiert. [1].

Gemäss folgender Tabelle gibt es entlang dieser Strecke 37 Querverbindungen. 28 davon wurden mit konstanter Ausbruchsfläche von 25.88 m² realisiert (Typ 1) und 7 zeigen eine Ausweitung des Profils bis auf 44.65 m² (Typ 2). Auf km 39+333 findet man die einzige Querverbindung Typ 3, mit einem wie Typ 2 ähnlichen Querschnitt, und auf km 32+090 findet man die einzige Querverbindung Typ 4, mit einem konstanten aufgeweiteten Profil.

Die Querverbindung Typ 2 weist dazu auch eine Nische auf, die zur Verbindung mit dem zum Erkundungsstollen leitenden Schacht dient.

1 INTRODUZIONE

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei rivestimenti, di prima fase e definitivi, dei cunicoli trasversali di tipo 1 e di tipo 2, scavati in tradizionale tra le progr. km 32+090 e 44+192 (Canna Est) [1].

Come si evince dalla seguente tabella, i cunicoli trasversali realizzati all'interno di questa tratta sono 37. Di questi 28 sono scavati con una sezione costante di area 25.88 m² (tipo 1) e 7 presentano un'allargamento della sezione di scavo sino a 44.65 m² (tipo 2). Al km 39+333 si trova l'unico cunicolo trasversale di tipo 3, il quale presenta una sezione simile a quella di tipo 2, ed infine al km 32+090 si trova l'unico cunicolo trasversale di tipo 4, il quale comporta una sezione allargata costante di 44.65 m².

Il cunicolo trasversale di tipo 2 presenta inoltre una nicchia di collegamento col pozzo che lo congiunge al cunicolo esplorativo.

Querverbindung / Cunicolo trasversale	Riferimento Canna Est [km]	L [m]	Tipologia di cunicolo	Sezione galleria di linea
32/2	32+090.0	70	4	GL-MS con concio di base
32/3	32+333.0	70	2	GL-MS con concio di base
32/4	32+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
33/1	33+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
33/2	33+333.0	70	1	GL-MS con concio di base
33/3	33+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
34/1	34+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
34/2	34+333.0	70	2	GL-MS con concio di base
34/3	34+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
35/1	35+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
35/2	35+333.0	70	1	GL-MS con concio di base
35/3	35+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
36/1	36+000.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
36/2	36+333.0	70	2	GL-MS con arco rovescio
36/3	36+667.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
37/1	37+000.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
37/2	37+333.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
37/3	37+667.0	70	2	GL-MS con concio di base
38/1	38+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
38/2	38+333.0	70	1	GL-MS con concio di base
38/3	38+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
39/1	39+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
39/2	39+333.0	70	3	GL-MS con concio di base
39/3	39+667.0	70	2	GL-MS con concio di base
40/1	40+000.0	70	1	GL-MS con concio di base
40/2	40+333.0	70	1	GL-MS con concio di base
40/3	40+667.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
41/1	41+000.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
41/2	41+333.0	70	2	GL-MS con arco rovescio
41/3	41+667.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
42/1	42+000.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
42/2	43+333.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
42/3	42+667.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
43/1	43+000.0	70	1	GL-MS con arco rovescio
43/2	43+333.0	70	2	GL-MS con arco rovescio
43/3	43+667.0	70	1	GL-MS con concio di base
44/1	44+000.0	70	1	GL-MS con concio di base

Tabelle 1: Liste der Querverbindungen entlang der Stecke

Tabella 1: Lista dei cunicoli trasversali lungo la tratta

Die in diesem Dokument betroffene Strecke zieht sich durch verschiedene geologische und geomechanische Verhältnisse, die in den folgenden Rechnungsabschnitten gruppiert sind: Ortogneis des Zentralgneis, gefaltete und geklüftete Einheiten der unteren und oberen Schieferhülle (mit Gips und Anhydrit), Schiefer der Vizzeschicht (obere Schieferhülle), Antiform der Zillertal, Schiefer mit lokalen exotischen Zwischengesteinsvorkommen und schliesslich ostalpines Kristallin und Castel Pietra Störungszone - Mules. Die Überdeckungen variieren von minimal 600 m bis zum maximal 1600 m.

Im Dokument [6] sind die Sicherungsklassen für den mit traditionellem Ausbruch realisierten Querverbindungen gezeigt. Es wird zwischen einem kleinen Querschnitt (CT1) und grossen Querschnitt (CT2) unterschieden. Die Sicherungsklassen gehen von T2 bis T5, ihr Einsatz hängt von den in [1] und [2] enthaltenen geologischen Auffindungen und eventuell vom Ausbruchsergebnis ab.

Die Klasse II bedingt eine Verankerung aus SuperSwellex Pm16, mit einer Länge von 3 m und einer Verteilung – ausgehend vom Firstpunkt – von 90° dem Gewölbe entlang, Abstand 1.8 m radial und 1.5 m longitudinal. Die Stärke des C30/37 Spritzbetons ist 20 cm entlang dem Gewölbe und 5 cm an der Ortsbrust.

Bei der Klasse III ist eine Verankerung auf 120° erweitert. Für das Ausbruchsprofil CT2 werden SuperSwellex Pm24 der Länge 4.5 m verwendet.

Wegen der komplizierten Geologie bilden in einigen Zonen Ablösungen (Bruchkörper) aus (Anhang 3, Blockanalyse). Die Sicherung dieser Bruchkörper / Blöcke wird in der Sicherungsklasse T3bis definiert, welche eine dichtere Anordnung von Ankern im Gewölbebereich vorsieht.

Die Klassen IV und V werden in Anwesenheit von Quelldruck benutzt. Tatsächlich weisen diese nicht nur ein ausgerundetes Ausbruchsprofil im Sohlbereich auf, sie sind auch durch die Anwendung von Stahlprofilen gekennzeichnet. In Klasse IV werden HEB200 Profile eingesetzt, in Klasse V stattdessen verformbare TH 44 Profile.

In der Strecken mit einer Überlagerung grösser als 1000 m ist die Sicherungsklasse TRb vorgesehen, wobei die 3m lang Pm16 das Gewölbe entlang bis zur Sohle gebracht werden. Die maximale Abschlagslänge ist 1.5 m. Diese Klasse dient zur Steuerung eventueller Rockburstphänomene.

Die Innenschale besteht aus Stahlbeton C30/37, das Gewölbe ist 35 cm stark und die Sohle 35 cm für die Klassen II und III und für die Klassen IV und V ist die Sohle 100 cm stark – (alle Werte haben netto Toleranzen).

La tratta oggetto del presente documento si sviluppa attraverso differenti caratteristiche geologiche e geomeccaniche, riassunte nei seguenti settori di calcolo: ortogneiss dello Gneiss Centrale, unità piegate e a scaglie della Schieferhülle inferiore e superiore (con gessi e anidriti), calcescisti della Falda di Vizzate (Schieferhülle superiore), antiforme dello Zillertal, calcescisti con locali intercalazioni di rocce esotiche ed infine cristallino austroalpino e zona di faglia Castel Pietra - Mules. Le coperture variano da un minimo di 600 m ad un massimo di 1600 m.

Nel documento [7] sono illustrate le classi di sicurezza per i cunicoli, scavati in tradizionale lungo la tratta interessata. Viene distinto tra sezione piccola (CT1) e sezione allargata (CT2). Le classi di sicurezza vanno da T2 fino a T5, la loro applicazione dipende dai rilevamenti geologici riportati in [2] ed in [3] e dall'eventuale riscontro durante lo scavo.

La classe II prevede una chiodatura, estesa su 90° in calotta, costituita da SuperSwellex Pm16, lunghezza 3.0 m, con passo trasversale 1.8 m e longitudinale 1.5 m. Lo spessore di betoncino proiettato C30/37 è di 20 cm lungo tutta la volta e di 5 cm al fronte.

In classe III la chiodatura si estende anche sui paramenti, andando a coprire un'ampiezza di 120°. Per la sezione di scavo allargata CT2 si applicano SuperSwellex Pm24 dalla lunghezza di 4.5 m.

A causa della conformazione geologica, i blocchi che si vanno a formare in alcune zone, come ripercorribile in Appendice 3, necessitano un'infittimento della chiodatura in volta. In questo ambito si definisce un'ulteriore classe, denominata T3 bis.

Le classi IV e V sono da applicare in presenza di pressione di rigonfiamento. Esse infatti, oltre a presentare uno scavo con arco rovescio, implicano l'utilizzo di centine in acciaio. In classe IV vengono usate centine rigide HEB200, mentre in classe V vengono usate centine deformabili TH 44.

Nelle tratte con coperture maggiori di 1000 m è prevista una sezione di scavo (TRb) rinforzata con chiodature tipo Pm16, lunghezza 3.0 m, anche sui piedritti e con campi di lunghezza massima pari ad uno sfondo (1.5 m). Tale sezione consente di limitare i possibili fenomeni di rockburst.

Il rivestimento definitivo è costituito da calcestruzzo C30/37 con spessori, al netto delle tolleranze, di 35 cm in calotta e variabili in platea a dipendenza delle classi di sicurezza: 35 cm per il rivestimento definitivo in classe II e III e 100 cm per

quello in classe IV e V.

Im vorliegenden Dokument ist die Bemessung der Ausbruchsicherung und der Innenschale der Querverbindungen für die Profile CT1-T2, CT1-T3, CT1-T3-bis, CT1-T4, CT1-T5 und CT2-T2, CT2-T3, CT2-T3-bis, CT2-T4, CT2-T5. verfasst.

Für Querverbindungen Typ 3 und 4 gelten die Resultate von CT2.

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento delle sezioni CT1-T2, CT1-T3, CT1-T3-bis, CT1-T4, CT1-T5 e delle sezioni CT2-T2, CT2-T3, CT2-T3-bis, CT2-T4, CT2-T5.

Per il cunicolo di tipo 3 e di tipo 4 valgono i risultati del CT2.

2 MATERIALKENNWERTE

2.1 SPRITZBETON

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

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

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

Wobei:

- E_{cm} = Mittelwert Sekanten Modul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit des Spritzbetons nach 28 Tagen.

2 MATERIALI

2.1 BETONCINO PROIETTATO

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

Dove:

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

2.2 ANKER

Es ist die Verwendung von Ankern des Typs Superswellex Pm16 vorgesehen, die folgende Eigenschaften haben:

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

$$N_y = 140 \text{ kN (Pm16)}$$

$$N_y = 200 \text{ kN (Pm24)}$$

Wobei:

- E_s = Elastizitätsmodul
- N_y = Streckgrenze.

2.2 ANCORAGGI

Si prevede l'utilizzo di ancoraggi tipo Superswellex Pm16 e Pm24 aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- N_y è il carico di snervamento .

2.3 BETON

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

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

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

Wobei:

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

2.3 CALCESTRUZZO

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

2.4 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Bemessung der Außenschale ist Stahl des Typs B450C heranzuziehen:

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

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

Wobei:

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

2.4 ACCIAIO DA ARMATURA

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

Dove:

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

2.5 STAHL FÜR PROFILEN

Für die Bemessung der Außenschale ist Stahl des Typs S355J0 heranzuziehen:

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

$$f_{yk} = 355 \text{ MN/m}^2$$

Wobei:

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

2.5 ACCIAIO DA CARPENTERIA

Per il dimensionamento dell'anello si utilizza l'acciaio tipo S355J0:

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento acciaio per cemento armato.

3 GEOTECHNISCHES MODELL

3.1 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK

Die mit traditionellem Vortrieb realisierten Querverbindungen ziehen sich zwischen km 32+090 und km 44+192 durch verschiedene geologische und geomechanische Verhältnisse, die in den folgenden Dokumenten beschrieben sind:

- Voraussicht Geomechanische- und Projektierungsprofile [3].
- Geomechanischer Bericht – Allgemein [1].

Entlang der Strecke befinden sich unterschiedliche geomechanische Grundeinheiten, die „Gebirgsarten“ genannt sind, aufgrund derer die Definition der Homogenbereiche basiert [2].

3.2 VORWORT

Die geomechanische Einheit dieses Projekts ist durch die „Gebirgsart“ festgelegt, die aus einer oder mehreren Lithologien zusammengestellt ist.

Anhand der Anwesenheit und der geomechanischen Analogien der Gebirgsarten werden Homogenbereichen definiert, wie in [2] dargestellt.

Kilometrierung, Überdeckungen und lithologische Zusammensetzungen der Homogenbereichen sind in der folgenden Tabelle gezeigt.

3 MODELLO GEOTECNICO

3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

I Cunicoli Trasversali, scavati interamente in tradizionale, si sviluppano ogni 333 m tra il km 32+090 ed il km 44+192 (rif. Canna Est) attraverso differenti caratteristiche geologiche e geomeccaniche, descritte nei seguenti documenti:

- Profili geomeccanici di Progetto Esecutivo [3].
- Relazione geomeccanica generale [1].

Lungo la tratta si riscontrano varie unità geomeccaniche omogenee di base chiamate “tipo di ammasso roccioso”, sulle quali è basata la definizione dei domini geomeccanici omogenei [2].

3.2 PREMESSA

Il “tipo di ammasso roccioso”, che è formato da una o più litologie, costituisce l'unità geomeccanica di base.

In funzione della presenza dei tipi di ammasso roccioso e della loro analogia geomeccanica si identificano delle zone omogenee, chiamate “domini geomeccanici omogenei”, come introdotto in [2].

Il chilometraggio e le coperture relativi ai domini geomeccanici omogenei, così come la loro composizione litologica sono riportati nella seguente tabella.

Domini omogenei	Tipo di ammasso roccioso	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length	Zone max overburden	Zone min overburden	Composizione litologica
		[km]	[km]	[m]	[m]	[m]	[%]
1	GA-ZG-G-1z	32	34.9	2845	1715	1384	95
	GA-ZG-S-1z						5
2	GA-ZG-G-1b	34.9	36	1089	1502	941	85
	GA-ZG-G-1z						10
	GA-ZG-A-1b						5
3	GA-UST-PH-2b	36	36.3	295	1015	937	45
	GA-UST-H-2b						30
	GA-UST-Q-2b						0-5
	GA-UST-R-2b						0-5
4	GA-T-H-2b	36.3	37.3	1035	1006.5	753	40
	GA-T-PH-2b						25
	GA-T-M-2b						20
	GA-T-A-2b						5-10
	GA-T-R-2b						5-10
5	GA-BS-KS-4b	37.3	38.3	925	886	611.5	55
	GA-BS-GM-4b						20
	GA-BS-KPH-4b						15
	GA-BS-PR-4b						10
6	GA-BS-KS-4c	38.3	39.1	880	864	619.5	50
	GA-BS-GM-4c						25
	GA-BS-KPH-4c						15
	GA-BS-PR-4c						10
7	GA-BS-GM-5c	39.1	41	1845	1251	864	35
	GA-BS-KS-5c						35
	GA-BS-KPH-5c						20
	GA-BS-PR-5c						8
	GA-BS-KQ-5c						2
8	GA-T-PH-6	41	42	990	1512	1187	38
	GA-US-PH-6						35
	GA-US-Q-6						25
	GA-T-A-6						1-2
	GA-T-R-6						0-1
9	GA-T-PH-6a	42	42.9	860	1605.5	1506.5	35
	GA-US-Q-6a						30
	GA-US-GM-6a						25
	GA-T-PH-6a						8
	GA-T-A-6a						0-2
	GA-T-R-6a						0-2
10	GA-BST-KS-8e	42.9	43.8	940	1579	1016	50
	GA-BST-KPH-8e						20
	GA-BST-M-8e						3
	GA-T-A-8e						0-2
	GA-T-R-8e						0-2
	GA-BS-GM-8e						25
11	GA-BST-KS-8f	43.8	44.7	921	1069	905	100
12	GA-BST-KPH-8f	44.7	44.8	75	1078	1060	87
	GA-T-R-8f						0-13
	GA-T-A-8f						0-13
13	GA-BST-KS-8f	44.8	45.1	346	1111.5	1023	100
14	GA-BCA-A-10g	45.1	45.5	390	1199.5	1092	85
	GA-BCA-GS-10g						15
15	GA-BCA-GS-10g	45.5	47	1540	1134	590.5	90
	GA-BCA-A-10g						10

Tabelle 2: Kilometrierung, Überdeckung und lithologische Zusammensetzungen der Homogenbereichen

Tabella 2: Chilometraggio, copertura e composizione litologica dei domini geomeccanici omogenei

Im detaillierten geomechanischen Bericht [2] sind die Parameter der Gebirgstypen auf der Basis der vorhandenen Parameter, die im generellen geomechanischen Bericht [1] dargestellt sind, weiter verarbeitet worden.

Dabei wird eine statistische Verteilung von den Ausgangswerten RMR und GSI erlaubt, um mehrere geomechanische Klassen zu simulieren. Die Werte von γ_k , $\sigma_{c,k}$, $E_{i,k}$ und $m_{i,k}$ sind also konservativer angesetzt, im Vergleich mit den gemittelten geomechanischen Basisparametern.

Von diesen Resultaten hängt die Zuteilung der geomechanischen Klassen innerhalb der verschiedenen Gebirgstypen ab.

Der intensive Rückzug der tektonischen Einheiten und der Lithologien verursacht die Wiederholung einiger Gebirgsarten, welche sehr ähnliche Charakteristika zeigen.

Folglich werden die Homogenbereiche aus Projektierungszwecken in Bemessungsschnitte weiter eingeteilt.

Nella relazione geomeccanica di dettaglio [2] vengono rielaborati i parametri dei tipi di ammasso roccioso partendo dai parametri geomeccanici di base riportati nella Relazione geomeccanica generale [1]

In questa sede i valori di RMR e GSI di base vengono ridistribuiti in modo statistico al fine di simulare più classi geomeccaniche, e fornendo per γ_k , $\sigma_{c,k}$, $E_{i,k}$ ed $m_{i,k}$ dei valori più conservativi rispetto al valor medio dei parametri geomeccanici di base.

Da questi risultati dipende l'assegnazione delle classi geomeccaniche all'interno dei diversi ammassi.

Il ripetersi delle unità tettoniche e delle litologie correlate lungo il tracciato fa sì che alcuni domini omogenei presentino caratteristiche molto simili.

Di conseguenza, ai fini della progettazione, i domini geomeccanici omogenei vengono ulteriormente raggruppati in sei settori di calcolo.

Bemessungsschnitte / Settori di calcolo	Kilometrierung Oströhre von (km) / Progressiva Galleria principale canna est - (km)	Bis (km) /a (km)	Schnittlänge (km) / Lunghezza tratta (km)	Tektonische Einheiten / Unità tettoniche
OB-6-ZG	32+000	35+990	3+990	Subpennisches Basament (Zentralgneis und altes Dach). / Basamento Subpennidico
OB-5-UST	35+990	37+320	1+330	Untere Schieferhülle / Schieferhülle inf.
OB-4-BS	37+320	40+970	3+650	Obere Schieferhülle (Pfitscherdecke) / Schieferhülle sup. (Falda di Vizze)
OB-3-US	40+970	43+200	2+230	Untere Schieferhülle - Obere Schieferhülle (Pfitscherdecke und basis Glocknerdecke) / Schieferhülle inf.- Schieferhülle sup. (Falda di Vizze e base falda del Glockner)
OB-2-BST	43+200	45+105	1+905	Obere Schieferhülle (Glocknerdecke) / Schieferhülle superiore (Falda del Glockner)
OB-1-BCA	45+105	47+025	1+920	Ostalpin / Austroalpino

Tabelle 3: Einteilung der Bemessungsschnitte

Tabella 3: Caratterizzazione dei settori di calcolo

Für jeden Bemessungsschnitt werden die massgebenden Parameter anhand des Gebirgstyps mit den ungünstigsten Verhältnissen und der maximalen Überdeckung definiert. Von dieser Definition sind Rauhacken, Kreide und Störungszonen ausgeschlossen.

Die Anwendung der Lithologien mit Rauhacken, Kreide und Störungszonen für die Definition der massgebenden Parameter wäre im Ansatz viel zu konservativ und nicht repräsentativ für den ganzen Bemessungsabschnitt. Die Durchquerungen sind separat im Bericht für Störzonenbewältigung beschrieben.

Auf der Basis dieser Wahl werden die charakteristischen Widerstands- und Verformungsparameter der Gebirgstypen für die entsprechenden Bemessungsschnitte bestimmt. Diese Parameter werden in der Folge für die Gebirgsanalyse (Kapitel 4), für die Analyse der Ausbruchsicherung (Kapitel 5) und für die Analyse der Innenschale (Kapitel 6) angewendet.

Per ogni settore di calcolo vengono stabiliti i parametri rappresentativi prendendo come riferimento il tipo di ammasso con caratteristiche geomeccaniche meno favorevoli, escludendo carniole, gessi e faglie, ed in base alle coperture ivi presenti.

L'attraversamento delle litologie con carniole, gessi e le zone di faglia, che imporrebbero l'uso di parametri non rappresentativi e troppo conservativi lungo le tratte, viene descritto separatamente nella relazione interventi speciali.

In base a questa scelta verranno quindi adottati i valori caratteristici dei parametri di resistenza e deformabilità dei corrispettivi tipi di ammasso roccioso per le analisi dell'ammasso roccioso (capitolo 4), del rivestimento di prima fase (capitolo 5) e del rivestimento definitivo (capitolo 6).

settori di calcolo	chilometraggio	peculiarità
OB6	34.3	granito, copertura massima, tratta omogenea
OB5	36	scisti di anidrite, pressione di rigonfiamento
OB4	40.2	complesso dei calcescisti, convergenze elevate
OB3	42	scisti di anidrite, pressione di rigonfiamento
OB2	44	complesso dei calcescisti, tratta omogenea

Tabelle 4: Massgebende Kilometrierung und Besonderheiten der Bemessungsschnitte

Tabella 4: Chilometraggi rappresentativi dei settori di calcolo e loro peculiarità

Die Gebirgsanalysen bei den massgebenden Kilometrierungen sind entscheidend für die Definition der Regelprofile und der Sondermassnahmen entlang der Projektierungsstrecke.

Le analisi eseguite ai chilometri rappresentativi dei settori di calcolo si rivelano decisive per la determinazione delle sezioni tipo applicate e delle misure di consolidamento da usare lungo le tratte d'interesse.

Die Wichtigkeit der Charakterisierung der Bemessungsschnitte liegt in der Lokalisierung der kritischen Zonen, bei welchen Sondermassnahmen angewendet werden müssen, .

L'importanza della caratterizzazione dei settori di calcolo si rivela anche nella localizzazione delle zone critiche

3.2.1 Geomechanische Parameter

Geologische Werte und Klasseneinteilung der Gebirgstypen entsprechend der massgebenden Kilometrierung, sind in der folgenden Tabelle gezeigt [2].

Diese Werte werden für die Analyse des Gebirgsverhaltens (Kapitel 4), der Ausbruchsicherung (Kapitel 5) und der Innenschale (Kapitel 6) angewendet.

3.2.1 Parametri geomeccanici

I valori geologici e la suddivisione in classi dei tipi di ammasso roccioso corrispondenti ai chilometraggi rappresentativi dei settori di calcolo sono riportati nella seguente tabella [2].

Questi valori verranno applicati per le analisi del comportamento dell'ammasso roccioso (capitolo 4), del rivestimento di prima fase (capitolo 5) e del rivestimento definitivo (capitolo 6).

Settori di calcolo	Zone Number	Rock mass name	Class [-]	GSI	σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [GPa]	γ [kN/m ³]
6	1	GA-ZG-G-1z	II	70	218	30	50	25.3
	2	GA-ZG-G-1b	III	70	115	23	46	26.3
5	3	GA-UST-PH-2b	IV	35	71	8	43.4	27
	4	GA-T-M-2b	III	55	60	14	40	27
4	5	GA-BS-KS-4b	III	50	98	13	40.5	26.9
	6	GA-BS-KS-4c	III	50	98	13	40.5	26.9
	7	GA-BS-GM-5c	III	-	-	-	-	-
3	8	GA-T-PH-6	III	40	90	11	39.2	27.4
	9	GA-T-PH-6a	IV	35	71	8	43.4	27
2	10	GA-BST-KS-8e	III	50	41	12	43	26.6
	11	GA-BST-KS-8f	III	50	41	12	43	26.6
	12	-	-	-	-	-	-	-
	13	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Charakterisierung der Gesteinsarten für jeden Homogenbereich und deren prozentuelle Verteilung [1]

Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi [2]

Settori di calcolo	Zone Number	Rock mass name	Class [-]	Zone max overburden [m]	γ [kN/m ³]	ϕ_{picco} [°]	ϕ_{res} [°]	C_{picco} [MPa]	C_{res} [MPa]	E_{rm} [GPa]	ψ [°]
6	1	GA-ZG-G-1z	II	1715	25.3	48.96	40.15	8.22	5.03	20.3	7.96
	2	GA-ZG-G-1b	III	1502	26.3	21.77	16.93	2.2	1.46	3.93	2.72
5	3	GA-UST-PH-2b	IV	1015	27	11.98	10.73	0.6	0.49	0.21	0
	4	GA-T-M-2b	III	1006.5	27	29.55	25.11	2.2	1.6	4.41	3.69
4	5	GA-BS-KS-4b	III	886	26.9	33.6	28.98	2.28	1.67	4.4	4.2
	6	GA-BS-KS-4c	III	864	26.9	38.07	30.38	16.54	1.79	11.1	4.76
	7	GA-BS-GM-5c	III	1251	-	-	-	-	-	-	-
3	8	GA-T-PH-6	III	1512	27.4	27.73	22.83	3.04	2.13	5.8	3.47
	9	GA-T-PH-6a	IV	1605.5	27	10.15	9.12	0.78	0.64	0.2	0
2	10	GA-BST-KS-8e	III	1579	26.6	25.14	19.04	2.71	1.72	11.4	3.14
	11	GA-BST-KS-8f	III	1069	26.6	28.07	21.47	2.13	1.35	11.1	3.51
	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 6: Charakteristische Gebirgsparameter für die verschiedenen Zonen und Klassen [2]

Tabella 6: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi [2]

Wobei:

- Φ_{picco} ist der vornehmliche Reibungswinkel
- Φ_{res} ist der restliche Reibungswinkel
- C_{picco} ist die vornehmliche Kohäsion
- C_{res} ist die restliche Kohäsion
- E_{rm} ist das Elastizitätsmodul des Gebirges
- ψ ist die Dilatanz.

Dove:

- Φ_{picco} è la resistenza al taglio di picco
- Φ_{res} è la resistenza al taglio residua
- C_{picco} è la coesione di picco
- C_{res} è la coesione residua
- E_{rm} è il modulo d'ammasso
- ψ è la dilatanza.

3.3 TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG

Auf der Basis der in der Regelplanung verfügbaren Daten wurden die folgenden Trennflächen berücksichtigt [2]

3.3 ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ

Sulla base dei dati disponibili dalla progettazione di sistema [2] sono state considerate le discontinuità riportate di seguito.

Famiglie di discontinuità	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Persistenza max. [m]
GA-BST-KS-8e, GA-BST-KPH-8e			
S	350	70	3-10
J1	180	70	<1
J2	85	80	1-3
J3	320	80	1-3
J4	220	80	1-3
GA-BST-KS-8f			
S	355	60	3-10
J1	285	85	<1
J2	110	75	1<
J3	50	65	3-10

Tabelle 7: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB2

Tabella 7: Giacitura delle discontinuità nel settore OB2

Famiglie di discontinuità	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Persistenza max. [m]
GA-T-PH-6, GA-US-PH-6			
S	310	25	3-10
J1	180	85	1-3
J2	80	85	<1
J3	265	70	<1
J4	50	80	1-3
GA-T-PH-6a, GA-US-Q-6a			
S	350	80	3-10
J1	180	85	1-3
J2	80	85	<1
J3	235	70	<1
J4	50	80	1-3

Tabelle 8: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB3

Tabella 8: Giacitura delle discontinuità nel settore OB3

Famiglie di discontinuità	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Persistenza max. [m]
<u>GA-BS-KS-4b, GA-BS-GM-4b</u>			
S	170	85	1-3
J1	185	60	1-3
J2	80	85	1-3
J3	100	40	1-3
J4	50	75	1-3
J5	265	20	3-10
<u>GA-BS-KS-4c, GA-BS-GM-4c</u>			
S	345	60	3-10
J1	350	80	1-3
J2	85	80	1-3
J3	250	75	1-3
J4	345	5	<1
<u>GA-BS-GM-5c, GA-BS-KS-5c</u>			
S	350	40	1-3
J1	10	80	1-3
J2	260	70	1-3
J3	90	70	1-3
J4	230	80	3-10
J5	30	0	<1

Tabelle 9: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB4

Tabella 9: Giacitura delle discontinuità nel settore OB4

Famiglie di discontinuità	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Persistenza max. [m]
<u>GA-UST-PH-2b, GA-T-PH-2b</u>			
S	175	80	1-3
J1	360	80	1-3
J2	90	85	3-10
J3	325	70	<1
J4	215	85	<1
<u>GA-UST-H-2b, GA-T-H-2b</u>			
nessun dato/keine Angaben			

Tabelle 10: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB5

Tabella 10: Giacitura delle discontinuità nel settore OB5

Famiglie di discontinuità	Immersione [°]	Inclinazione [°]	Persistenza max. [m]
<u>GA-ZG-G-1z</u>			
S	160	80	1-3
J1	85	85	1-3
J2	325	70	1-3
J3	50	80	1-3
<u>GA-ZG-G-1b</u>			
S	180	80	1-3
J1	160	80	1-3
J2	85	85	1-3
J3	325	70	1-3
J4	50	80	1-3

Tabelle 11: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB6

Tabella 11: Giacitura delle discontinuità nel settore OB6

3.4 TRENFLÄCHENPARAMETER

Analog zum Bericht [2], werden auf der sicheren Seite die folgenden Scherparameter auf Trennflächen berücksichtigt, die auch die ungünstigsten Trennflächenbedingungen in Betrachtung nehmen (ebenen glatten Harnischflächen, Chloritisierung, tonige Füllungen mit Präsenz von Wasser, usw.):

- $\Phi = 20^\circ$
- $c = 0 \text{ MPa}$

3.4 PARAMETRI DELLE DISCONTINUITÀ

Analogamente al Rapporto [2], si adottano parametri conservativi per tenere in considerazione eventuali condizioni sfavorevoli delle discontinuità (superfici planari e lisce, riempimenti argillosi e presenza d'acqua, ecc.):

- $\Phi_k = 20^\circ$
- $c_k = 0 \text{ MPa}$

4 METHODIK ZUR ERMITTLUNG DER GEBIRGSLAST

Die Ermittlung der Gebirgslast sowie die Ermittlung der Lastableitung von der Außen- auf die Innenschale erfolgt in Abhängigkeit des Gebirgsverhaltens:

- Bei spannungsdominiertem Gebirgsverhalten werden die Gebirgslasten durch die numerische Modellierung der Interaktion zwischen Gebirge und Ausbau ermittelt.
- Bei trennflächendominiertem Gebirgsverhalten ermitteln sich die Gebirgslasten in erster Linie aus Blockanalysen.

Sofern seitens BBT SE keine konkreten Vorgaben vorliegen, wird empfohlen, zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens und zur Differenzierung zwischen den beiden Gebirgsverhalten eine Einschätzung der Druckhaftigkeit nach dem Kennlinienverfahren anzuwenden.

4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS

Das geomechanische Gebirgsverhalten wurde mithilfe einer Spannungs-Dehnungsanalyse untersucht. Die angewendete Methode ist die Kennlinie-Analyse.

Die Kennlinienanalyse beschreibt das Verhältnis zwischen: Dem auf das Ausbruchprofil, wegen dem darüberliegenden Gebirge einwirkenden Radialdruck, und der entsprechenden radialen Verformung (Konvergenz).

Hierfür wurden die Kennlinien unter Annahme eines elasto-plastischen konstitutiven Modell mit Softening und nicht-assoziierter Materialfluss, gemäß Mohr-Coulomb bestimmt. Die Formulierung der Kennlinien wird vom Ribacchi vorgeschlagen [20].

Die für die Bestimmung des Gebirgsverhaltens analysierten Kennlinien sind:

- Radiale Spannung – Konvergenz
- Konvergenz – Abstand vom Ortsbrust
- Radiale Spannung – Ausdehnung der plastischen Zone hinter der Ortsbrustfront
- Abstand von der Ortsbrust – Ausdehnung der plastischen Zone hinter der Ortsbrustfront

Die Linie „Konvergenz – Abstand von der Ortsbrust“ wurde unter Benutzung von einem vereinfachten analytischen Verfahren ermittelt, das die folgenden Beziehungen nutzt (Nguyen, Minh et al. e [21]):

4 COMPORAMENTO DELLA ROCCIA

Il calcolo del carico dell'ammasso e il calcolo del trasferimento del carico dal rivestimento esterno al rivestimento definitivo dipendono dal comportamento dell'ammasso:

- in caso di comportamenti dell'ammasso di tipo spingente, i carichi si calcolano tramite modellazione numerica dell'interazione fra ammasso e rivestimento;
- in caso di ammasso altamente fratturato, i carichi si calcolano mediante l'analisi dei blocchi.

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso e per la differenziazione tra i due comportamenti si utilizza il metodo delle curve caratteristiche.

4.1 VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA

Il metodo utilizzato per la valutazione del comportamento dell'ammasso è il metodo delle linee caratteristiche.

Nelle Linee Caratteristiche viene definito il legame reciproco tra pressione radiale sul contorno del cavo p e spostamento radiale u_r (detto nel seguito convergenza) sul contorno stesso.

In questa sede tali linee sono state tracciate assumendo un modello costitutivo elasto-plastico con softening e flusso non associato del materiale roccia secondo Mohr-Coulomb, nella loro formulazione proposta da Ribacchi [20].

Le curve analizzate per la determinazione del comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo sono:

- 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.

La curva “Convergenza – Distanza dal fronte” è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le seguenti relazioni (si vedano Nguyen, Minh et al. e [21]):

$$u_f = 0.3 \cdot u_{inf}$$

$$\frac{c(x)}{c_{inf}} = 1 - \left[\frac{1}{1 + x / (0.84 \cdot R_{inf})} \right]^2$$

Wobei:

- u_f ist die Konvergenz an der Ortsbrust
- u_{inf} ist die absolute langfristige Konvergenz
- $c(x) = c_r$ ist die relative Konvergenz
- c_{inf} ist die relative langfristige Konvergenz
- x ist der Abstand von der Ortsbrust
- R_{inf} ist der plastische totale Radius (langfristig).

Dove:

- u_f è la convergenza al fronte
- u_{inf} è la convergenza assoluta all'infinito
- $c(x) = c_r$ è la convergenza relativa
- c_{inf} è la convergenza relativa all'infinito
- x è la distanza dal fronte
- R_{inf} è il raggio plastico totale (all'infinito).

Die Linie „Abstand von der Ortsbrust – Ausdehnung der plasischen Zone hinter der Ortsbrustfront“ wird durch Extrapolation aus der Vorherigen hergeleitet.

Per quanto riguarda la curva “Distanza dal fronte - Fascia Plastica” essa è derivata dalle altre tre per estrapolazione.

Die folgende Tabelle zeigt das Kriterium auf, um das Verhalten der Ortsbrust in Bezug auf die Analyse der Kennlinien (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung der plasischen Zone an der Ortsbrustfront).

Nella seguente tabella si riporta un criterio [22] [23] 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).

Fronte stabile	Fronte stabile a breve termine	Tendenza all'instabilità del fronte	Fronte instabile
$c_f < 1\% R_{scavo}$	$1\% R_{scavo} < c_f < 2\% R_{scavo}$	$2\% R_{scavo} < c_f < 3\% R_{scavo}$	$c_f > 3\% R_{scavo}$
$F_{pl f} \ll R_{scavo}$	$F_{pl f} < R_{scavo}$	$F_{pl f} \geq R_{scavo}$	$F_{pl f} \gg R_{scavo}$

Tabelle 12: Stabilitätskriterien gemäss [22] [23]

Tabella 12: Criteri di stabilità proposti in [22] [23]

Wobei:

- c_f = Konvergenz an der Ortsbrust
- $F_{pl f}$ = Ausdehnung der plasischen Zone an der Ortsbrustfront
- $R_{scavo} = r_{eq}$ = äquivalenter Ausbruchsradius.

Dove:

- c_f = convergenza al fronte
- $F_{pl f}$ = estensione della fascia plastica al fronte
- $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.

Die Analyse der Kennlinien ist mit einem äquivalenten Ausbruchsradius von 4.86 m durchgeführt worden. Dieser entspricht dem Ausbruchsradius der Querverbindung Typ 2. Wie in konservativer Weise und auch in der Blockanalyse im nächsten Kapitel bestätigt wird, eignet sich dieser Wert auch für die Querverbindungen vom Typ 1, deren Radius 2.9 m ist.

Le analisi delle Linee Caratteristiche sono state eseguite considerando un raggio di scavo equivalente di 4.86 m. Questo corrisponde allo scavo della sezione allargata del cunicolo trasversale di tipo 2. In via cautelativa e come verrà poi confermato dall'analisi dei blocchi nel capitolo successivo, questi risultati vengono adottati anche per il cunicolo trasversale di tipo 1, il quale raggio di scavo è uguale a 2.9 m. Di seguito sono riportati i principali risultati e l'interpretazione dei possibili rischi derivanti dallo scavo nelle zone dell'ammasso:

Im Folgenden sind die Resultate und die Deutung der möglichen Risiken, die beim Ausbrechen auftreten können, dargestellt:

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]	[%]	[-]	[%]	[-]
01	GA-ZG-G-1z	I	1715	0.23	0.78	0.55	0.00	0.24	0.05%	0.00	0.11%	0.05
		II		0.56	1.87	1.31	0.00	0.91	0.12%	0.00	0.27%	0.19
		III		69.09	230.30	161.21	23.53	45.34	14.22%	4.84	33.17%	9.33
02	GA-ZG-S-1b	II	1505	0.72	2.40	1.68	0.00	2.28	0.15%	0.00	0.35%	0.47
		III		44.76	149.20	104.44	19.25	37.63	9.21%	3.96	21.49%	7.74
		II		0.65	2.15	1.51	0.00	0.88	0.13%	0.00	0.31%	0.18
03	GA-UST-PH-2b	III	1015	15.33	51.09	35.76	6.85	15.29	3.15%	1.41	7.36%	3.15
		III		1.01	3.36	2.35	0.73	4.11	0.21%	0.15	0.48%	0.85
		II		0.84	2.79	1.95	0.00	2.58	0.17%	0.00	0.40%	0.53
		III		2.46	8.20	5.74	4.76	11.20	0.51%	0.98	1.18%	2.30
		IV		86174	287247	201073	283	521	177	58	414	107
04	GA-T-M-2b	II	1010	1.94	6.47	4.53	2.11	6.57	0.40%	0.43	0.93%	1.35
		III		7.48	24.94	17.46	3.18	8.61	1.54%	0.65	3.59%	1.77
		II		0.89	2.98	2.08	0.46	3.64	0.18%	0.09	0.43%	0.75
		II		0.76	2.55	1.78	0.48	3.58	0.16%	0.10	0.37%	0.74
		IV		83970	279899	195930	279	515	173	57	403	106
05	GA-BS-KS-4b	II	890	0.83	2.75	1.93	0.28	3.31	0.17%	0.06	0.40%	0.68
		III		3.76	12.55	8.78	1.25	5.12	0.77%	0.26	1.81%	1.05
		II		0.61	2.04	1.43	0.21	3.19	0.13%	0.04	0.29%	0.66
		III		2.77	9.23	6.46	1.14	4.94	0.57%	0.23	1.33%	1.02
		III		15.79	52.63	36.84	7.67	16.77	3.25%	1.58	7.58%	3.45
06	GA-BS-PR-4b	III	865	0.67	2.24	1.57	0.00	2.21	0.14%	0.00	0.32%	0.46
		III		1.14	3.81	2.67	0.41	3.64	0.24%	0.08	0.55%	0.75
		II		0.58	1.93	1.35	0.15	3.10	0.12%	0.03	0.28%	0.64
		III		2.63	8.76	6.13	1.07	4.80	0.54%	0.22	1.26%	0.99
		III		14.67	48.91	34.24	7.37	16.23	3.02%	1.52	7.05%	3.34
07	GA-BS-KS-4c	III	1255	0.68	2.26	1.58	0.00	2.15	0.14%	0.00	0.33%	0.44
		II		1.17	3.90	2.73	0.99	4.56	0.24%	0.20	0.56%	0.94
		III		5.41	18.03	12.62	2.21	6.85	1.11%	0.45	2.60%	1.41
		III		2.32	7.73	5.41	1.34	5.29	0.48%	0.28	1.11%	1.09
		III		30.31	101.03	70.72	11.61	23.90	6.24%	2.39	14.55%	4.92
08	GA-BS-PR-5c	II	1515	1.21	4.04	2.83	0.15	3.09	0.25%	0.03	0.58%	0.64
		III		5.35	17.82	12.48	0.98	4.66	1.10%	0.20	2.57%	0.96
		III		3.07	10.24	7.17	2.61	7.48	0.63%	0.54	1.48%	1.54
		III		12.95	43.17	30.22	4.98	11.89	2.66%	1.02	6.22%	2.45
		III		44.71	149.05	104.33	11.89	24.40	9.20%	2.45	21.47%	5.02
09	GA-T-A-6	II	1610	1.62	5.41	3.79	0.57	3.82	0.33%	0.12	0.78%	0.79
		III		7.32	24.39	17.07	1.58	5.72	1.51%	0.32	3.51%	1.18
		III		1.72	5.74	4.02	1.57	5.50	0.35%	0.32	0.83%	1.13
		IV		840601	2802004	1961403	776	1440	1730	160	4036	296
		III		59.16	197.21	138.05	12.95	26.31	12.17%	2.66	28.40%	5.41
10	GA-US-Q-6a	II	1580	1.82	6.07	4.25	0.71	4.06	0.37%	0.15	0.87%	0.84
		III		8.24	27.45	19.22	1.77	6.06	1.69%	0.36	3.95%	1.25
		II		1.94	6.46	4.52	1.74	5.89	0.40%	0.36	0.93%	1.21
		III		9.11	30.38	21.27	3.25	8.74	1.88%	0.67	4.38%	1.80
		III		14.99	49.95	34.97	5.42	12.69	3.08%	1.12	7.19%	2.61
		III		1.96	6.53	4.57	1.77	5.86	0.40%	0.36	0.94%	1.21
		IV		1227378	4091260	2863882	919	1708	2525	189	5893	351
11	GA-US-PH-6a	III	1060	17.35	57.85	40.49	10.83	22.46	3.57%	2.23	8.33%	4.62
		III		76.90	256.33	179.43	17.04	33.68	15.82%	3.51	36.92%	6.93
		IV		892.55	2975.16	2082.61	45.92	87.77	183.65%	9.45	428.52%	18.06
		III		7.35	24.49	17.15	4.78	11.51	1.51%	0.98	3.53%	2.37
		III		1.29	4.29	3.00	1.33	4.86	0.26%	0.27	0.62%	1.00
		IV		1090717	3635722	2545005	872	1620	2244	179	5237	333
		II		1.88	6.28	4.39	1.63	5.59	0.39%	0.34	0.90%	1.15
12	GA-BS-GM-6a	III	1080	7.35	24.51	17.16	2.88	8.08	1.51%	0.59	3.53%	1.66
		III		6.06	20.20	14.14	6.12	13.95	1.25%	1.26	2.91%	2.87
		III		17.56	58.53	40.97	8.82	18.84	3.61%	1.81	8.43%	3.88
13	GA-T-R-8f	IV	1115	119863	399543	279680	328	603	247	67	575	124
		III		2.06	6.87	4.81	3.57	9.07	0.42%	0.73	0.99%	1.87
		III		6.68	22.26	15.58	6.58	14.79	1.37%	1.35	3.21%	3.04
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
		III		1.39	4.62	3.23	0.96	4.61	0.29%	0.20	0.67%	0.95
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	1.25	4.16	2.91	0.82	4.36	0.26%	0.17	0.60%	0.90
		II		0.61	2.02	1.41	0.00	2.25	0.12%	0.00	0.29%	0.46

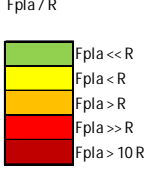
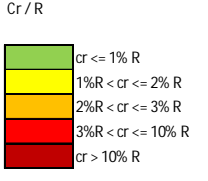
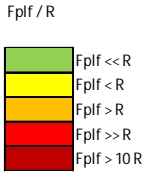
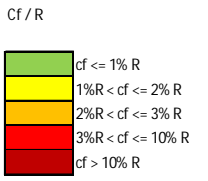


Tabelle 13: Risultati der Kennlinien

Tabella 13: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche

Wobei:

- c_f = Konvergenz an der Ortsbrust
- c_a = absolute Konvergenz am Gleichgewicht
- c_r = relative Konvergenz am Gleichgewicht
- F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust
- F_{pla} = plastische Zone am Gleichgewicht
- R = Ausbruchsradius (Annahme 4.86m).

Dove:

- 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).

Settori di calcolo	Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing	Face stability	Rock burst	
6	01	GA-ZG-G-1z	I	1715	-	-	XX	
			II		XX	-	-	
			III		XXX	XXX	-	
	02	GA-ZG-G-1b	II	1505	XX	XXX	XX	
		GA-ZG-S-1b	III		XXX	XXX	-	
		GA-ZG-A-1b	II		XX	X	-	
		III	XX		XXX	-		
5	03	GA-UST-PH-2b	III	1015	X	X	-	
			III		XX	X	XX	
		GA-UST-Q-2b	II		XXX	XX	-	
		GA-UST-A-2b	III		XXX	XXX	-	
		GA-UST-R-2b	IV		XXX	XX	-	
	04	GA-T-M-2b	II	1010	XXX	XX	-	
		GA-T-PH-2b	III		XXX	XXX	-	
		GA-T-Q-2b	II		X	X	-	
		GA-T-A-2b	II		X	X	-	
		GA-T-R-2b	IV		XXX	XXX	-	
	4	05	GA-BS-KS-4b	II	890	X	X	-
				III		X	X	-
GA-BS-GM-4b			II	XX		X	-	
			III	X		X	-	
GA-BS-KPH-4b			III	XXX		XXX	-	
GA-BS-PR-4b			III	XX		X	-	
06		GA-BS-KS-4c	III	865	X	X	-	
		GA-BS-GM-4c	II		XX	X	-	
			III		X	X	-	
		GA-BS-KPH-4c	III		XXX	XXX	-	
		GA-BS-PR-4c	III		XX	X	-	
			III		X	X	-	
07		GA-BS-GM-5c	II	1255	XXX	XXX	-	
			III		X	X	-	
		GA-BS-KS-5c	III		XXX	XXX	-	
		GA-BS-KPH-5c	III		X	X	-	
		GA-BS-PR-5c	III		X	X	-	
		GA-BS-KQ-5c	III		XXX	XX	-	
3	08	GA-T-PH-6	III	1515	XXX	XXX	-	
		GA-US-PH-6	III		XXX	XXX	-	
		GA-US-Q-6	II		X	X	XXX	
			III		XXX	XX	-	
		GA-T-A-6	III		X	X	-	
		GA-T-R-6	IV		XXX	XXX	-	
	09	GA-US-PH-6a	III	1610	XXX	XXX	-	
		GA-US-Q-6a	II		X	X	XXX	
			III		XXX	XX	-	
		GA-BS-GM-6a	II		X	X	-	
			III		XXX	XXX	-	
		GA-T-PH-6a	III		XXX	XXX	-	
2	10	GA-T-A-6a	III	1580	X	X	-	
		GA-T-R-6a	IV		XXX	XXX	-	
		GA-BST-KS-8e	III		XXX	XXX	-	
		GA-BST-KPH-8e	III		XXX	XXX	-	
			IV		XXX	XXX	-	
		GA-BST-M-8e	III		XXX	XXX	-	
		GA-T-A-8e	III		XXX	XXX	-	
	11	GA-T-R-8e	IV	1060	X	X	-	
		GA-BS-GM-8e	II		XXX	XXX	-	
			III		X	X	-	
	12	GA-BST-KS-8f	III	1080	XXX	XXX	-	
		GA-BST-KPH-8f	III		XXX	XXX	-	
		GA-T-R-8f	IV		XXX	XXX	-	
	13	GA-T-A-8f	III	1115	XXX	XXX	-	
		GA-BST-KS-8f	III		XXX	XX	-	

-	No risk
X	Low risk
XX	Medium risk
XXX	High risk

Tabelle 14: Bewertung der, wegen hohen Verformungen (*squeezing*), Ortsbrustinstabilität und sprödem Versagen (*Rockburst*), möglichen Risiken für jeden Gebirgstyp [2].

Tabella 14: Valutazione, per ogni ammasso, dei possibili rischi legati a elevate deformazioni (*squeezing*), instabilità del fronte e fenomeni di rottura fragile (*rock burst*) [2].

Aus der Analyse resultiert eine erhöhte Heterogenität, nicht nur bezüglich auf die Gebirgszusammensetzung, sondern auch auf das Gebirgsverhalten hinter dem Ausbruch.

Die Verformungs- und Instabilitätsproblematik sind überall von niedrig bis sehr hoch, insbesondere in den Zonen OB2, OB3 und OB5. Die Zonen OB3 und OB5 zeigen in der Tat ein Auftreten von Quelldruck, die Zone OB2 weist eine Überdeckung von über 1500 m auf.

Folglich ist auch das dort erwartete Profilverhalten variabel. In den restlichen Zonen ist das Verhalten grundsätzlich stabil, mit einer Konvergenz kleiner als 1% des Ausbruchsradiuses.

Aus den vorherigen Resultaten ist also deutlich, dass die verschiedenen Gebirgstypen angepasste Sicherheitsmassnahmen benötigen, die zum Teil schon in den Sicherheitsklassen beinhaltet sind. Die Kennlinien zusammen mit der Blockanalyse stellen die Basis für die Definition der Sicherheitsklassen dar, die in der Folge beschrieben werden.

L'analisi evidenzia un'elevata eterogenità, non solo nella composizione dell'ammasso ma anche nel suo comportamento a tergo dello scavo.

Le problematiche deformative e di stabilità sono ovunque da basso a molto elevate, in particolare nelle zone corrispondenti alle sezioni di calcolo OB2, 3 e 5. Le sezioni di calcolo OB3 e OB5 infatti presentano fenomeni di rigonfiamento dell'ammasso roccioso, mentre in OB2 la copertura supera i 1500 m.

Conseguentemente anche il comportamento del cavo ivi atteso è risultato variabile. Nelle restanti zone si presenta un comportamento sostanzialmente stabile con una convergenza inferiore all'1% del raggio di scavo.

Dai risultati esposti nelle tabelle precedenti è quindi chiaro che i diversi ammassi necessitano di interventi di sicurezza più o meno ingenti, in parte contenuti nelle classi di sicurezza. L'analisi delle Linee Caratteristiche, in combinazione con l'analisi dei blocchi, costituisce la base per la definizione delle classi di sicurezza in seguito descritte.

5 AUßENSCHALE

5.1 BLOCKANALYSE

5.1.1 Gebirgslast bei trennflächendominiertem Gebirgsverhalten

Aus der Analyse der charakteristischen Linien entnimmt man, dass das Gebirgsverhalten in Klasse II und III sich im elastischen Feld mit sehr reduzierten relativen Konvergenzen hält. Folglich wird die Gebirgslast in diesen Klassen auch durch die Blockanalyse abgeschätzt.

Die Block Dimension bestimmt die zu berücksichtigenden Lasten auch für die darauffolgende Dimensionierung der Innenschale. Folgende Abbildung zeigt das Beispiel einer Transposition der zu applizierenden Last auf einem statischen Modell der, auf ein Federbett aufgelegten, Innenschale.

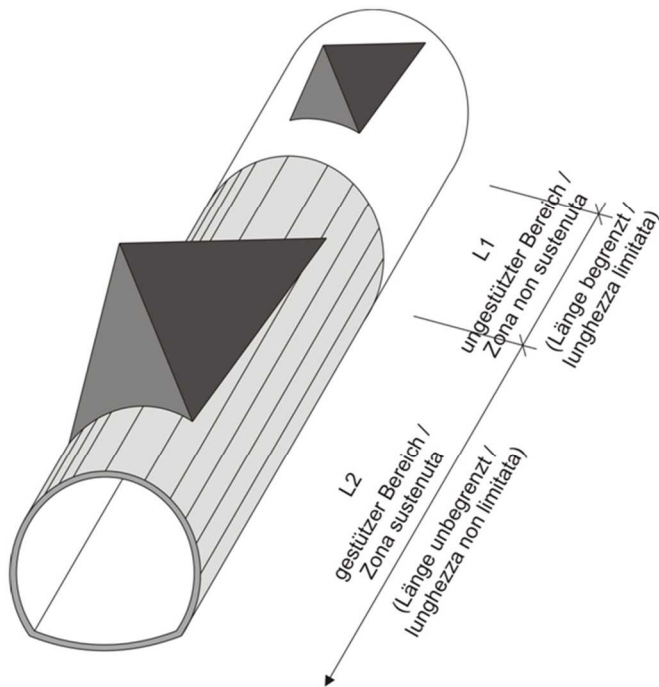


Abbildung 1: Qualitative Darstellung der Einwirkung aus dem Gebirge auf die Schale bei Trennflächendominiertem Gebirgsverhalten

5 RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

5.1 ANALISI DEI BLOCCHI

5.1.1 Carichi dell'ammasso altamente fratturato

Dall'analisi delle linee caratteristiche si evince che il comportamento dell'ammasso in classe II e III si mantiene pressoché in campo elastico con convergenze relative abbastanza ridotte. Conseguentemente, il carico dell'ammasso in queste classi è valutato anche attraverso l'analisi a blocchi.

Le dimensioni dei blocchi definiscono i carichi da considerare anche per il successivo dimensionamento del rivestimento definitivo. La seguente figura illustra l'esempio di una trasposizione del carico da applicare al modello statico del rivestimento definitivo appoggiato su un letto di molle.

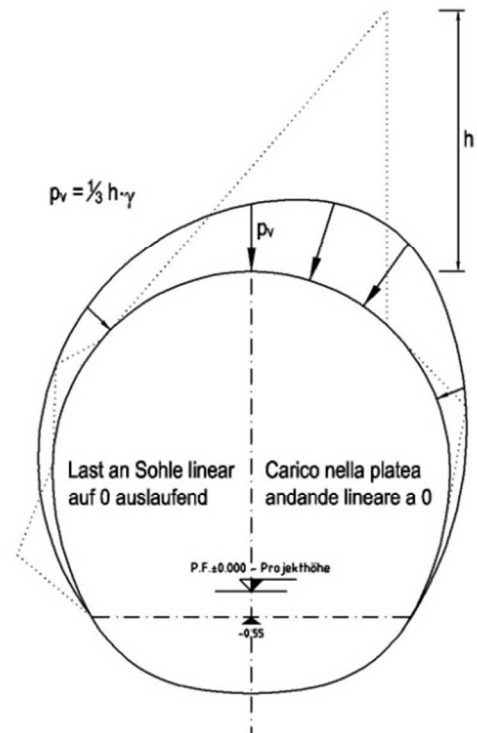


Figura 1: Rappresentazione qualitativa degli effetti dell'ammasso sul rivestimento, in caso di ammasso altamente fratturato

5.1.2 Nachweisverfahren

Gemäß NTC 2008 ist das Teilsicherheitskonzept zu berücksichtigen. Demnach ist die Einwirkungsseite mit $\gamma_G = 1,30$ zu erhöhen und die Widerstandseite mit $\gamma_c = 1,50$ bzw. $\gamma_s = 1,15$ zu reduzieren. Der typische Reibungswert zwischen Einlage und Gebirge ist mit dem Beiwert 1.3 festgelegt.

Die Trennflächen Parameter c' und $\tan\phi'$ werden um den Beiwert 1.25 reduziert, laut §6.2.3.1.2 der N.T.C.2008.

Für den Nachweis mittels Blockanalyse ist folgendes Sicherheitskonzept zu berücksichtigen.

$$E_d \leq R_d$$

Wobei:

- R_d = Bemessungswiderstandwert
- E_d = Bemessungswert der Einwirkungen.

5.1.3 Analysierte Fälle

Die Analysen sind mit dem Berechnungsprogramm UNWEDGE 3.0 durchgeführt worden, in Hinblick auf den Nietenwirkungsgrad, abhängig von deren Neigung zum Blockrutschen, und in Hinblick auf Reibungsfestigkeit der Einlagen.

Die Analysen sind für beide Querschnitte CT1 und CT2 wiederholt worden, beidemal unter Berücksichtigung der häufigsten Gebirgstypen gemäss Kapitel 3. Daraus sind die notwendigen Sicherheitsmassnahmen berechnet worden.

Es unterscheiden sich zwei Analysetypen:

- Sektor L1: Betrachtung einer Strecke gleich 1 Abschlagslänge (4.5 m für Klasse II und 3 m für Klasse III). Damit die Stabilität der Blöcke beim CT1 gewährleistet wird, ist die Verankerung mit SuperSwellex Pm16, 3 m lang, mit radialem Abstand gleich 1.8 m und longitudinalem Abstand gleich 1.5 m, Gewölbeweite 90° bzw. 120° (Klasse II bzw. III) vorzusehen. Für CT2 bleibt alles unverändert wie beim CT1, ausser den Ankern für Klasse III: Diese sind SuperSwellex Pm24, 4.5 m lang.
- Sektor L2: Betrachtung einer unendlich langen Strecke, mit minimal 10 cm starker Spritzbetonschicht und den gleichen Verankerungen wie in L1.

Aus der Blockanalyse fällt die Notwendigkeit einer zusätzlichen Sicherheitsklasse auf, die T3 bis genannt wird. Der Grund dafür ist die Entstehung steiler und grosser Blöcke, hauptsächlich beim GA-BST-KS-8e.

5.1.2 Procedura di verifica

In conformità alle NTC 2008 sono stati considerati i fattori parziali di sicurezza secondo i quali le azioni vengono aumentate di $\gamma_G = 1,30$ e le resistenze ridotte di $\gamma_c = 1,50$ ovvero $\gamma_s = 1,15$. Il valore caratteristico di aderenza tra incluso e ammasso è stato fattorizzato per il coefficiente 1.3.

I parametri di discontinuità c' e $\tan\phi'$ vengono ridotti del coefficiente 1.25 in accordo con il §6.2.3.1.2 delle N.T.C.2008.

Per la verifica basata sull'analisi dei blocchi deve essere considerato il seguente criterio di sicurezza.

Dove:

- R_d = Valore della resistenza di progetto
- E_d = Valore di progetto dell'effetto delle azioni.

5.1.3 Casi analizzati

Le analisi sono state effettuate con il programma di calcolo UNWEDGE 3.0 considerando l'efficacia dei chiodi in funzione della loro inclinazione rispetto al direzione di scivolamento del blocco e considerando la resistenza a taglio degli inclusi.

Le analisi sono state ripetute sia per la sezione CT1 che per la sezione a scavo allargato CT2, in entrambi i casi esaminando i tipi di ammasso più ricorrenti come descritto nel capitolo 3, e determinandone l'esigenza in quanto a misure di sicurezza.

Vengono eseguite due tipologie di analisi:

- settore L1: lunghezza di analisi pari 1 campo (4.5 m in classe II e 3 m in classe III). Per garantire la stabilità dei cunei rocciosi si prevede una rete di ancoraggi SuperSwellex Pm16 di lunghezza 3 m su 90 e 120° rispettivamente in classe II e III, con maglia 1.80 m (longitudinale) x 1.50 m (trasversale) per il CT1. Per il profilo allargato CT2 la distribuzione degli ancoraggi resta invariata, mentre in classe III vengono utilizzati SuperSwellex Pm24 di lunghezza 4.5 metri.
- settore L2: lunghezza di analisi illimitata con presenza di uno strato di betoncino proiettato di 10 cm minimi e i medesimi ancoraggi presenti nella tratta L1.

Dall'analisi dei blocchi si denota la necessità di un'ulteriore classe, denominata T3 bis, a causa dell'inclinazione e delle misure dei blocchi in calotta, in particolare per l'ammasso GA-BST-KS-8e.

Alle Nachweise für die Anker waren mit einem Sicherheitsfaktor $Y_G > 1.3$ überall erfüllt.

Die maximal aufgetretene Blockhöhe (Zone GA-BST-KS-8e) ist gleich 3.42 m beim CT1 und 3.8 m für CT2. Diese entsprechen einer Blocklast von

$$P_v = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot h = 30.8kPa$$

beziehungsweise

$$P_v = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot h = 34.2kPa.$$

Tutte le verifiche hanno dimostrato che le chiodature sono in grado di garantire sempre un fattore di sicurezza maggiore di 1.3, uguale a Y_G .

L'altezza massima di un distacco gravitativo si presenta nella zona GA-BST-KS-8e, con un'altezza pari a 3.42 m per il CT1 e di 3.8 m per il CT2. Il distacco del blocco si traduce in un carico sul rivestimento di entità pari a

$$P_v = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot h = 30.8kPa$$

rispettivamente

$$P_v = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot h = 34.2kPa.$$

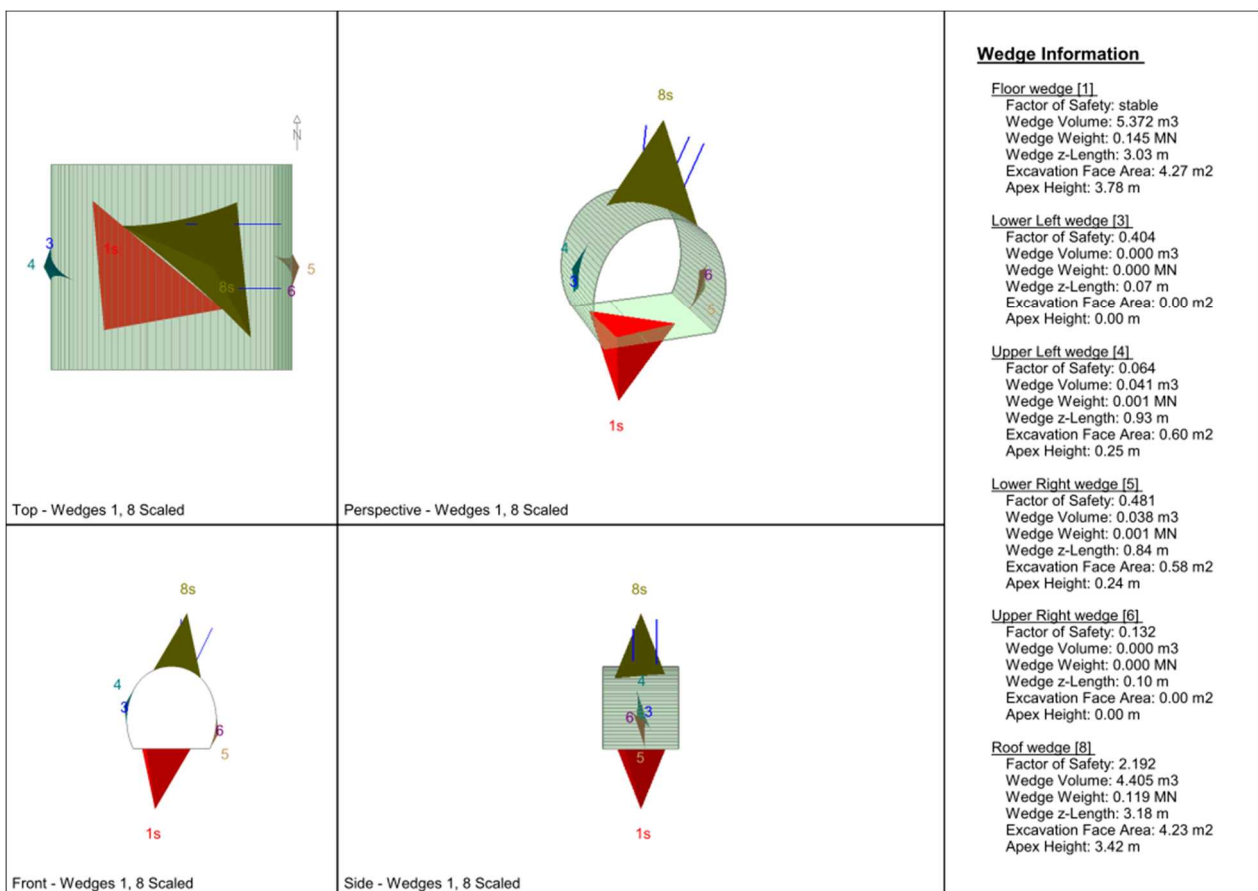


Abbildung 2: Qualitative Darstellung des grössten Blockes für CT1 (Homogenbereich GA-BST-KS-8e)

Figura 2: Rappresentazione qualitativa del blocco di dimensioni maggiori per il CT1 (tratta omogenea GA-BST-KS-8e)

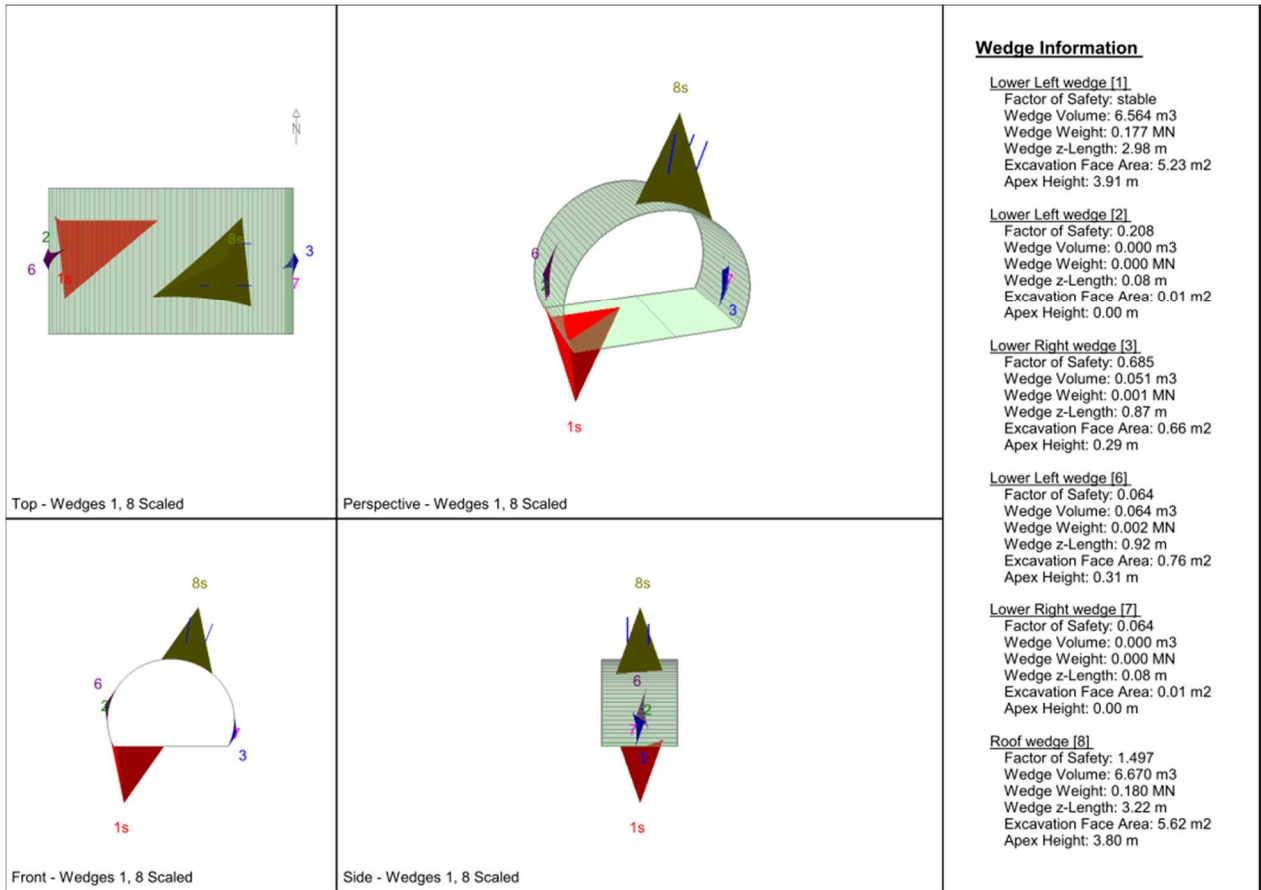


Abbildung 3: Qualitative Darstellung des grössten Blockes für C2 (Homogenbereich GA-BST-KS-8e)

Figura 3: Rappresentazione qualitativa del blocco di dimensioni maggiori per il CT2 (tratta omogenea GA-BST-KS-8e)

5.2 EIGENSCHAFTEN DER AUSSENSCHALE

Die folgende Tabelle zeigt die Charakteristiken der Aussenschale für die Sicherheitsklassen II und III.

		Chiodature					Betoncino	
CT	Tipo	Ny	L	Passo long.	Passo trasv.	n°	Sp. Nominale	Sp. Minimo
		[kN]	[m]	[m]	[m]	[-]	[cm]	[cm]
CT1-T2	Pm16	140	3	1.5	1.8	3+4	20	15
CT1-T3	Pm16	140	3	1.5	1.8	5+6	20	15
CT2-T2	Pm16	140	3	1.5	1.8	4+5	20	15
CT2-T3	Pm24	200	4.5	1.5	1.8	5+6	20	15

Tabelle 15: Definition der Sicherheitsklassen II und III für die Profile CT1 und CT2

5.2 CARATTERISTICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

La seguente tabella riporta le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase in classe II e III delle sezioni analizzate.

		Chiodature					Betoncino		
CT	Tipo	Ny	L	Passo long.	Passo trasv. Calotta	Passo trasv. Paramenti	n°	Sp. Nominale	Sp. Minimo
		[kN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[cm]	[cm]
CT1-T3 bis	Pm16	140	3	1.5	1	1.8	5+6	20	15
CT2-T3 bis	Pm24	200	4.5	1.5	1	1.8	5+6	20	15

Tabelle 16: Definition der Sicherheitsklasse T3 bis für die Profile CT1 und CT2

Tabella 16: Definizione della classe di sicurezza T3 bis per le sezioni CT1 e CT2

Bei den Sicherheitsklassen IV und V ist den Einsatz von Stahlprofilen vorgesehen, damit der Quelldruck aufgenommen werden kann.

In classe IV e V è previsto l'utilizzo di centine di acciaio per fronteggiare le elevate azioni dovute a pressione di rigonfiamento.

		Chiodature					Centine metalliche		Betoncino	
CT	Tipo	Ny	L	Passo long.	Passo trasv.	n°	Tipo	Passo long.	Sp. Nominale	Sp. Minimo
		[kN]	[m]	[m]	[m]	[-]		[m]	[cm]	[cm]
CT1-T4	Pm24	200	5.5	3	0.75	9	HEB200	0.75-1.5	35	30
CT1-T5	Pm24	200	5.5	3	0.75	9	TH 44	0.75-1.5	35	30
CT2-T4	Pm24	200	5.5	3	0.75	11	HEB200	0.75-1.5	40	35
CT2-T5	Pm24	200	5.5	3	0.75	11	TH 44	0.75-1.5	40	35

Tabelle 17: Definition der Sicherheitsklassen IV und V für die Profile CT1 und CT2

Tabella 17: Definizione delle classi IV e V per le sezioni CT1 e CT2

Die Stahlprofile sind steif für Klasse IV, und erlauben eine maximale 10 cm Verformung bei Klasse V.

In classe IV le centine sono presupposte rigide, mentre in classe V esse consentono una massima deformazione di 10 cm.

Die Nachweise für die Profilwahlen sind im Anhang 4 zu sehen.

Le verifiche giustificative per la scelta delle centine si possono seguire in Appendice 4.

5.2.1 Nachweise Spritzbeton

Der Spritzbeton in der Ausbruchsicherung dient lediglich der Auskleidung der Querverbindungen und zum sofortigen Schutz vor Steinschlag, kleineren Blöcken und Bergschlagphänomenen.

5.2.1 Verifica del betoncino proiettato

Il rivestimento di prima fase in betoncino proiettato durante lo scavo dei cunicoli trasversali serve principalmente alla messa in sicurezza dell'ammasso roccioso dallo stacco di piccoli blocchi.

Dort wo der Gebirgsdruck dimensionierungsrelevant wird, ist für die Querverbindungen der Einbau von Stahlbogen bei ausgerundeter Sohle vorgesehen.

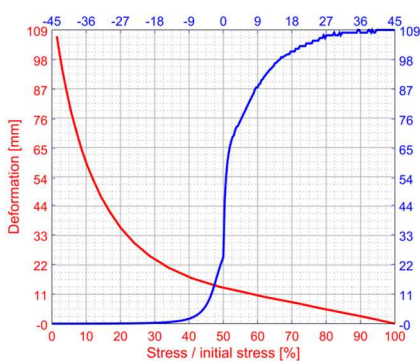
Nelle zone in cui le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso sono sfavorevoli, è previsto la messa in sicurezza dello scavo con centine e arco rovescio.

5.2.2 Nachweis der Stahlprofilen

Für die Stahlprofile der Sicherheitsklassen IV und V ist die Bemessung im Anhang 4 gezeigt.

Die Auswirkungen auf die Stahlprofile sind mit dem FEM Programm STATIK-6 berechnet worden. Das Berechnungsverfahren und die Rechenannahmen wurden gemäss Kapitel 6 angewendet.

Der Gebirgsdruck auf die Stahlprofile wurde mit einer vertieften Kennlinien-Analyse bestimmt.



K36

Abbildung 4: Resultate der Kennlinien-Analyse

Der Gebirgsdruck auf der Aussenschale wurde von maximal 1.5% der Anfangsspannung angenommen worden.

Die entsprechende Gebirgs Spannung wird im FEM Modell eingegeben

5.2.3 Nachweise Anker

Die Anker wurden im Programm UNWEDGE 3.0 gemäss der Gegebenheiten aus der folgenden Tabelle eingegeben. Für die Anordnung gilt das vorherig Erwähnte.

	Ny	E	A	Dorig	Sorig	Dperf	τchiodo-roccia	Qb	Nyd	Sbond	Kbond
	[kN]	[MPa]	[mm²]	[mm]	[mm]	[mm]	[kPa]	[-]	[kN]	[kN/m]	[kN/m/m]
Superswellex Pm16	140	210000	327	54	2	48	950	0.7	122	100	1.00E+07
Superswellex Pm24	200	210000	481	54	3	48	950	0.7	174	100	1.00E+07

Tabelle 18: Input für den Anker

Wobei:

- N_{yk} = Streckgrenze
- E = elastisches Stahlmodul
- A = Abschnittfläche

5.2.2 Verifica delle centine

Per le centine in classe IV e V il calcolo delle resistenze è illustrato in Appendice 4.

Le sollecitazioni sulle centine sono state calcolate mediante il programma di calcolo informatico STATIK-6, basato sul Metodo degli Elementi Finiti (FEM). La procedura e le ipotesi di calcolo applicate equivalgono a quelle descritte nel capitolo 6.

Per determinare il carico dell'ammasso esercitato sulle centine si è condotta un'analisi più approfondita delle Linee caratteristiche.



K39.1

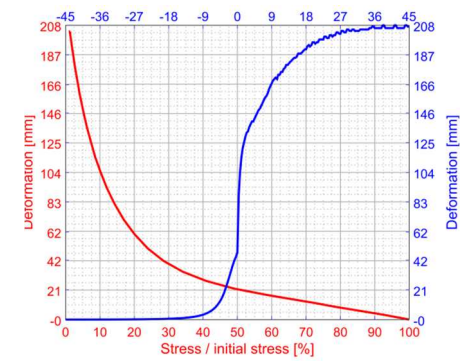
Figura 4: Risultati delle Linee Caratteristiche

Il carico trasferito dall'ammasso al rivestimento di prima fase è stato valutato, anche in virtù dei giochi di accoppiamento tra il rivestimento di prima fase e l'ammasso, pari all' 1.5% della pressione geostatica iniziale.

La risultante pressione dell'ammasso è stata inserita nel modello FEM.

5.2.3 Verifica degli ancoraggi

Gli ancoraggi vengono inseriti nel programma UNWEDGE 3.0 secondo i parametri elencati nella tabella successiva e secondo la disposizione precedentemente definita.



K42

Tabella 18: Input delle chiodature

Dove:

- N_{yk} è il carico di snervamento
- E è il modulo elastico dell'acciaio
- A è l'area della sezione

- D_{orig} = ursprünglicher Einlagedurchmesser
- S_{orig} = ursprüngliche Einlagestärke
- D_{perf} = Bohrungsdurchmesser
- $T_{chiodo-roccia}$ = Reibung zwischen Niete und Gebirge
- N_{yd} = Planungslast.
- D_{orig} è il diametro originale dell'incluso
- S_{orig} è lo spessore originale dell'incluso
- D_{perf} è il diametro di perforazione
- $T_{chiodo-roccia}$ è l'aderenza tra il chiodo e l'ammasso
- N_{yd} è il carico di progetto.

Die für die Sicherungsklassen definierten Anker erfüllen immer die Nachweise.

Gli ancoraggi definiti per le classi di sicurezza soddisfano sempre le verifiche.

5.3 NACHWEISVERFAHREN

Gemäß den NTC 2000 sind die vom FDM Modell entnommenen Handlungen über der Außenschale um $Y_G = 1,30$ erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um $Y_c = 1,50$ reduziert, das heißt $Y_s = 1,15$.

Die Nachweise ergeben sich als befriedigend wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Wobei:

- R_d = Planungswiderstandswert
- E_d = Planungswert der Handlungswirkung.

5.3.1 Resultate

In der folgenden Tabelle sind nochmals die Eigenschaften der Sicherheitsklassen für CT1 und CT2 zusammengefasst:

	Chiodature							Betoncino		Centine metalliche	
	Tipo	N_y [kN]	L [m]	Passo long. [m]	Passo trasv. Calotta [m]	Passo trasv. Paramenti [m]	n° [-]	Sp. Nominale [cm]	Sp. Minimo [cm]	Tipo	Passo long. [m]
CT1-T2	Pm16	140	3	1.5	1.8		3+4	20	15		
CT1-T3	Pm16	140	3	1.5	1.8		5+6	20	15		
CT1-T3 bis	Pm16	140	3	1.5	1	1.8	5+6	20	15		
CT1-T4	Pm24	200	5.5	3	0.75		9	35	30	HEB200	0.75-1.5
CT1-T5	Pm24	200	5.5	3	0.75		9	35	30	TH 44	0.75-1.5

Tabelle 19: Sicherheitsklassen für CT1

5.3 PROCEDURA DI VERIFICA

In conformità alle NTC 2008 le azioni ricavate dal modello FDM sul rivestimento di prima fase sono aumentate di $Y_G = 1,30$ e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di $Y_c = 1,50$ ovvero $Y_s = 1,15$.

Le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

Dove:

- R_d = Valore della resistenza di progetto
- E_d = Valore di progetto dell'effetto delle azioni.

5.3.1 Risultati

Nella seguente tabella si trovano riassunte le caratteristiche delle classi di sicurezza per le sezioni CT1 e CT2:

	Chiodature							Betoncino		Centine metalliche	
	Tipo	N_y [kN]	L [m]	Passo long. [m]	Passo trasv. Calotta [m]	Passo trasv. Murette [m]	n° [-]	Sp. Nominale [cm]	Sp. Minimo [cm]	Tipo	Passo long. [m]
CT2-T2	Pm16	140	3	1.5	1.8		4+5	20	15		
CT2-T3	Pm24	200	4.5	1.5	1.8		5+6	20	15		
CT2-T3 bis	Pm24	200	4.5	1.5	1	1.8	5+6	20	15		
CT2-T4	Pm24	200	5.5	3	0.75		11	40	35	HEB200	0.75-1.5
CT2-T5	Pm24	200	5.5	3	0.75		11	40	35	TH 44	0.75-1.5

Tabella 19: Classi di sicurezza per la sezione CT1

Tabelle 20: Sicherheitsklassen für CT2

Tabella 20: Classi di sicurezza per la sezione CT2

Aus der Analysen folgt die in der nächsten Tabelle gezeigte

Dalle analisi è risultata la seguente ripartizione da applicarsi

Profilanwendung für die gegebene Geologie:

per le date tratte geologiche e sezioni di scavo:

da km	a km	Tipologia	Classe di sicurezza			
			T2	T3 / T3bis / TRb	T4	T5
32+090		CT4		x		
32+333		CT2		x		
32+667	34+000	CT1		x		
34+333		CT2		x		
34+667	35+667	CT1		x		
36+000		CT1			x	
36+333		CT2			x	
36+667	37+333	CT1			x	
37+667		CT2		x		
38+000	39+000	CT1		x		
39+333		CT3		x		
39+667		CT2		x		
40+000	40+333	CT1		x		
40+667	41+000	CT1				x
41+333		CT2				x
41+667	43+000	CT1				x
43+333		CT2		x		
43+667	44+000	CT1		x		

Tabelle 21: Wahl der Ausbruchsquerschnitten

Tabella 21: Applicazione sezioni di scavo

5.4 ANALYSE DER ORTSBRUSTSTANDSICHERHEIT

5.4 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

5.4.1 Nachweisverfahren

5.4.1 Procedura di verifica

Zur Durchführung der Stabilitätsberechnungen der Ortsbrust werden die charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter angewandt und mit folgenden Faktoren reduziert:

Per l'esecuzione dei calcoli di stabilità del fronte vengono applicati i valori caratteristici dei parametri geotecnici ridotti con i seguenti fattori:

Parameter / Parametri	Symbol / Simbolo	Faktor / Fattore
Effektiver Reibungswinkel / Angolo di attrito effettivo ^a	$\gamma_{\phi'}$	1.25
effektive Kohäsion / Coesione effettiva	γ_c'	1.25
undrainierte Scherfestigkeit / Resistenza a taglio non drenata	γ_{cu}	1.4
einaxiale Druckfestigkeit / Resistenza a compressione monoassiale	γ_{qu}	1.6
Wichte / Peso specifico	γ_γ	1
^a Dieser Faktor wird auf $\tan \phi'$ angewendet / valore applicato alla tangente dell'angolo		

Tabelle 22: Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Ortsbruststabilität

Tabella 22: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo

5.4.2 Ergebnisse

5.4.2 Risultati

Die Ergebnisse der charakteristischen Linien schließen Instabilitätsphänomene der Ortsbrust aus, wie im Anhang 3 gezeigt ist.

I risultati del programma UNWEDGE 3.0 escludono fenomeni di instabilità del fronte di scavo, come illustrato in Appendice 3.

6 INNENSCHALE

6.1 STABWERKSMODELLE

Die Belastungen in der Innenschale sind durch den Kodex Statik-6 (basiert auf die Finite-Elemente-Methode) mit den Stabwerksmodellen berechnet worden.

Die FEM Analyse wird mit folgenden Kriterien durchgeführt.

Man betrachtet einen Bruchstein eines Tunnels von einheitlicher Tiefe (1m) und man legt ein Modell der Struktur fest, mittels ebenen Finite-Elemente des Typs Träger. Die Tunnelschale ist durch Elemente, kürzer als 0.5 m schematisiert, welche die reellen Stärken des berücksichtigten strukturellen Elements besitzen (Kappe, Widerlager, Gegenbogen/Grundplatte).

Die strukturelle Steifigkeit der Trägerelemente wird berechnet mit $E'_c \times I_g$. Das Trägheitsmoment I_g wird angesichts von der Abschnittachse in Beton berechnet, indem die Präsenz des Stahls wo vorhanden übergangen wird. Das elastische Modul E'_c bei ebener Verformungslage ist:

$$E'_c = \frac{E_c}{1 - \nu^2}$$

Wobei:

- E_c = Modul der Betonelelastizität
- ν = Poisson Verhältnis (0.2).

Zur Modellierung des unbewährten Betons wird ein formendes Modell des elastisch-linearen Materials verwendet. Infolge des Verlusts an Abschnittssteifigkeit, verursacht durch die Öffnung von Spalten dort wo die Betonzugfestigkeit überwunden wird (Ausformung von plastischen Scharnieren), wird die Neuverteilung der Belastungen berechnet, laut Absatz 12.5 des EC2. Die Modellierung der plastischen Scharniere erfolgt durch den Einsatz von Torsionsfedern deren Steifigkeit iterativ berechnet wird, mit der Pöttler-Methode [28][29].

6.2 ZUSAMMENWIRKUNG BODEN-STRUKTUR

Die Zusammenwirkung Boden-Struktur wird mittels Einsatz von Link Elementen simuliert, die in Höhe der Modellknoten gesetzt werden und die, nur bei Komprimierung, in der Lage sind der Struktur eine Reaktion zu übertragen die dem Annäherungsdruck Boden-Struktur entspricht.

Die Steifigkeit der Pleuel wird mit Berücksichtigung des Reaktionsmoduls des Bodens k und der Schnittstelle bestimmt.

6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

6.1 METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE

Le sollecitazioni nel rivestimento definitivo sono state calcolate tramite il programma Statik-6 (basato sul Metodo degli Elementi Finiti) con il metodo delle reazioni iperstatiche.

L'analisi FEM è svolta secondo i seguenti criteri.

Si considera un concio di galleria di profondità unitaria (1m) e si definisce un modello della struttura mediante elementi finiti piani di tipo trave (beam). Il rivestimento della galleria è schematizzato con elementi di lunghezza inferiore a 0.5 m aventi gli spessori reali dell'elemento strutturale considerato (calotta, piedritto, arco rovescio/platea).

La rigidezza strutturale degli elementi trave è calcolata come $E'_c \times I_g$. Il momento d'inerzia I_g è calcolato rispetto all'asse della sezione in calcestruzzo trascurando la presenza dell'acciaio ove presente. Il modulo elastico E'_c , in condizioni di deformazioni piane, vale:

Dove:

- E_c = modulo di elasticità del calcestruzzo
- ν = rapporto di Poisson (0.2).

Per la modellazione del calcestruzzo non armato si utilizza un modello costitutivo del materiale elastico-lineare. Viene presa in considerazione la ridistribuzione delle sollecitazioni in seguito alla perdita di rigidezza sezionale causata dall'apertura di fessure laddove venga superata la resistenza a trazione del calcestruzzo (formazione di cerniere plastiche), in accordo con il paragrafo 12.5 dell'EC2. La modellazione delle cerniere plastiche avviene mediante l'inserimento di molle torsionali la cui rigidezza è calcolata iterativamente mediante il metodo di Pöttler [28] [29].

6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

L'interazione terreno-struttura viene simulata mediante l'utilizzo di elementi link, posti in corrispondenza dei nodi del modello, e in grado di trasmettere alla struttura, solo se compressi, una reazione pari alla pressione di contatto terreno-struttura.

La rigidezza delle bielle è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno k e dell'interfaccia.

La prima è definita secondo le relazioni di seguito descritte,

Die erste wird gemäß den späterhin beschriebenen Verhältnissen bestimmt, respektive für gekrümmte und gradlinige Oberflächen. Die zweite ist, den Eigenschaften des Abdichtungsstreifens zufolge, mit $60'000\text{kN/m}^3$ angenommen worden. Letztere hat eine Verschiebungswertigkeit unter 0.5cm . Wenn diese Verschiebungen überwunden sind, wird die Schnittstellensteifigkeit die des Gebirges.

Die tangenziale Steifigkeit wurde übergangen.

rispettivamente per superfici curve e rettilinee. La seconda è stata assunta pari a $60'000\text{kN/m}^3$ in virtù delle caratteristiche del pacchetto di impermeabilizzazione. Quest'ultima ha valenza per spostamenti inferiori a 0.5cm . Superati tali spostamenti, la rigidezza dell'interfaccia diventa quella dell'ammasso.

La rigidezza tangenziale è stata trascurata.

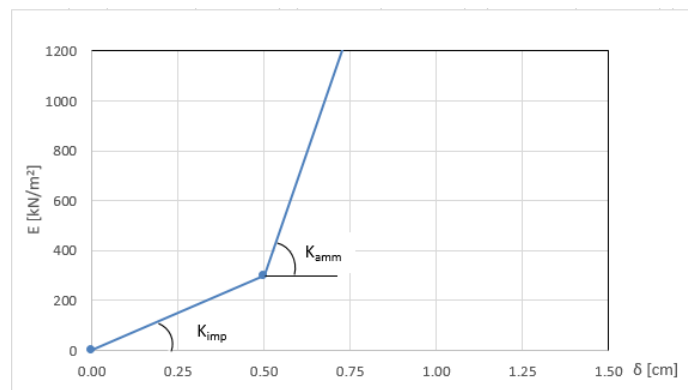


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Schnittstelle

Figura 5: Schematizzazione dell'interfaccia

6.2.1 Radiale Steifigkeit

Die radiale Bettung der Innenschale im Gebirge/Boden ermittelt sich in der Regel unter Berücksichtigung des Elastizitätsmoduls E und des Poisson Beiwert ν des Gebirges/Bodens sowie des Innenschalenradius R des Tunnels.

6.2.1 Rigidezza radiale

Per la definizione della rigidezza del letto di molle radiali in materiale sciolto, si tiene conto del modulo elastico E , del coefficiente di Poisson ν dell'ammasso roccioso e del raggio interno R della galleria.

$$K_R = E \times \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2 \times \nu) \times R} = \frac{E_S}{R}$$

Wobei:

- K_R = Steifigkeit der radialen Bettung Innenschale – Gebirge [MN/m^3]
- E = Elastizitätsmodul des umliegenden Bodens/Gebirges
- E_S = Steife-modul des umliegenden Bodens/Gebirges
- ν = Poisson Beiwert des Bodens/Gebirges
- R = Tunnelradius – Systemlinie.

Dove:

- K_R = rigidezza del letto di molle radiali a contatto con l'anello interno [MN/m^3]
- E = modulo elastico dell'ammasso roccioso
- E_S = modulo edometrico dell'ammasso roccioso
- ν = coeff. di Poisson dell'ammasso roccioso
- R = raggio della galleria – linea di riferimento.

6.2.2 Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle

Das Widerlager der Konstruktion mit Sohlplatte bzw. offener Sohle (Querschläge) wird durch Federn mit zugehöriger Steifigkeit in Abhängigkeit der dazugehörigen Einflussbreite „b“ modelliert. Die Federkonstanten sind wie folgt zu ermitteln:

Federkonstante c_v – vertikal

- $c_v = E_{\text{Geb.}} \cdot 0,5 \cdot b$

Federkonstante c_h – horizontal

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

6.3 EINWIRKUNGEN ANALYSE

Im Folgenden werden folgende Kürzel für die Einwirkungen herangezogen:

- G = ständige Einwirkungen
- Q = vorübergehende Einwirkungen
- A = außergewöhnliche Einwirkungen (z.B. Brand, Anprall, Explosion)
- E = Erdbeben

6.3.1 Eigengewicht G1

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

Das spezifische Eigengewicht des Stahlbetons ist mit $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ zu berücksichtigen.

6.3.2 Betonauffüllung über der Oberleitung G3

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

Das spezifische Gewicht des unbewehrten Betons wird mit $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ angenommen.

Das spezifische Gewicht des Stahlbetons wird mit $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ angenommen.

Im behandelten Abschnitt ist keine Betonauffüllung vorhanden.

6.3.3 Wasserdruck G4

Der Wasserdruck ist nicht berücksichtigt worden da der Abschnitt dräniert ist.

6.3.4 Gebirgslast G5

Der auf die Innenschale einwirkende Gebirgsdruck wird aus der Relaxation im Anfangszustand abgeleitet.

6.2.2 Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo

L'appoggio della costruzione con platea oppure con fondo aperto viene modellato con molla con rigidità relativa all'area di influenza della singola molla "b". La costante della molla si calcola come segue:

Costante della molla c_v – verticale

- $c_v = E_{\text{Geb.}} \cdot 0,5 \cdot b$

Costante della molla c_h – orizzontale

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

6.3 ANALISI DEI CARICHI

Per le azioni si utilizzano le seguenti abbreviazioni:

G = Azioni permanenti

Q = Azioni variabili

A = Azioni eccezionali (per es. incendio, urto, esplosione)

E = Azioni sismiche

6.3.1 Peso proprio G1

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Il peso specifico del calcestruzzo viene assunto pari a $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

6.3.2 Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Il peso specifico del calcestruzzo non armato viene assunto pari a $\gamma_{c,na} = 24 \text{ kN/m}^3$.

Il peso specifico del calcestruzzo armato viene assunto pari a $\gamma_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Nella sezione in oggetto non è presente un riempimento in cls.

6.3.3 Pressione idraulica G4

Il carico idraulico non è stato considerato in quanto la sezione è drenata.

6.3.4 Carico dell'ammasso G5

Il carico d'ammasso che agisce sul rivestimento definitivo prende in considerazione il carico d'allentamento della massa circostante.

Die Gebirgslast wird konservativ mit einem Maximalwert von 1.5% des anfänglichen Gebirgsdrucks berechnet, unter Berücksichtigung einer fiktiven Überdeckung von 1000 m..

Das Resultat ist also maximal $400kPa$. Der Wert des Gebirgsdruckes ist immer massgebend, im Vergleich mit der durch die Blöcke verursachten Auswirkungen.

Die Berechnung für die Gebirgslast kann im Anhang 2 nachverfolgt werden.

Der Gebirgsdruck wirkt entlang der Gewölbe, bis zum Anschluss mit der Sohle. Im Fall der Gewölbe ohne Sohlstein wird seine Einwirkung auf das ganze Ringprofil erweitert.

6.3.5 Kriechen und Schwinden des Betons G6

Das Schwindmaß des Betons wird gemäß Kap. 11.2.10.6 des NTC 2008 ermittelt.

Die Kriechzahl ϕ wird gemäß dem NTC 2008, Kap. 11.2.10.7, unter Berücksichtigung des Spannungszustandes aus einer Einwirkungskombination ständiger Lasten (G1 (Eigengewicht) + G2 (Oberleitung) + G5 (Gebirge)) ermittelt.

Kriechen und Schwinden des Betons bewirkt eine Längenänderung Δl . Diese Längenänderung (Endschwindmaß) ist, in Form einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung, der Rechnung zu Grunde zu legen.

Für alle Abschnitte die höher als 25 cm und aus Beton C30/37 sind ergibt sich eine Durchschnittsverformung per autogenes zeitlich unendliches Schwinden von 0.27‰. Bei der Dimensionierung ist, gemäß Regelung, 50% des Schwindens übernommen worden, was durch eine gleichmäßige Temperaturabkühlung von -13.4 C° simulierbar ist. Diese Abkühlung muss, z.B., mittels Einsatz eines funktionstüchtigen Superverflüssigungsmittels (Typ MasterGlenium von BASF), nicht-kalkhaltigen Zuschlagstoffen und Zugabe eines Expansionsmittels (Typ MasterLife SRA100 von BASF) herbeigeführt werden. Das angewendete System muss auf der Baustelle mit präventiven Proben geprüft werden.

Bei der Modellierung der Innenschale, insbesondere bezüglich Absatz 4.1.1.1 des NTC08, verfährt man mit einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung von -6.7° C an den GZT und von -8.9° C an den GZG.

6.3.6 Quelldruck

Zwischen km 35+900-37+500 und 40+800-43+800 kommt im Gebirge Quelldruck vor.

In via cautelativa, per il dimensionamento del rivestimento definitivo è stata assunta una pressione pari ad un massimo dell'1.5% di quella iniziale, considerando una copertura fittizia di 1000 m.

Ne consegue una risultante nell'ordine dei $400kPa$. Il valore di questa grandezza è sempre decisivo, se paragonato al carico dei blocchi.

Il calcolo del carico dell'ammasso può essere seguito in Appendice 2.

La pressione dell'ammasso viene inserita lungo la volta e le murette fino all'asse dei centri nel caso di rivestimento definitivo con concio di base, mentre invece viene applicata lungo tutta la circonferenza di scavo nel caso di rivestimento definitivo con arco rovescio.

6.3.5 Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6

La deformazione dovuta al ritiro del calcestruzzo si calcola in base al paragrafo 11.2.10.6 delle NTC 2008.

Il valore di viscosità ϕ si calcola secondo le NTC 2008, capitolo 11.2.10.7.

Il coefficiente di viscosità ϕ si calcola ai sensi delle NTC 2008 par. 11.2.10.7, considerando la condizione tensionale derivante dalla combinazione di azioni permanenti (G1 (peso proprio) + G2 (catenaria) + G5 (Carico dell'ammasso)).

Viscosità e ritiro del calcestruzzo comportano un cambiamento in lunghezza Δl (valore finale del ritiro), su cui deve essere basato il calcolo, in forma di diminuzione uniforme della temperatura.

Per tutte le sezioni con altezza maggiore di 25 cm e calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 risulta una deformazione media per ritiro autogeno a tempo infinito pari a 0.27‰. Nel dimensionamento si è assunto il 50% del ritiro imposto dalla Normativa, simulabile mediante l'applicazione di un abbassamento uniforme della temperatura di -13.4 C° . Tale riduzione dovrà essere ottenuta, ad esempio, mediante l'utilizzo di un superfluidificante performante (tipo MasterGlenium della BASF), di inerti non calcarei e tramite l'aggiunta di un espansivo (tipo MasterLife SRA100 della BASF). Il sistema adottato dovrà essere verificato con prove preventive in cantiere.

Nella modellazione del rivestimento definitivo, con particolare riferimento al paragrafo 4.1.1.1 dell'NTC08, si procede applicando un abbassamento uniforme della temperatura di -6.7° C agli SLU e di -8.9° C agli SLE.

6.3.6 Rigonfiamento G7

Dalla progressiva km 35+900 sino a km 37+500 e km 40+800 sino a km 43+800 si presenta un'inclinazione al rigonfiamento delle rocce dovuto alla mutazione delle scisti anidritiche in seguito a

venute d'acqua.

Gemäss den Angaben der Bauherrschaft wird für die Dimensionierung ein Quelldruck von 0.3 MPa angenommen. Dieser Quelldruck wurde für die Dimensionierung der Innenschale im Endzustand berücksichtigt.

Die vom Profil mit Sohlgewölbe maximal ertragbare Quelldruck ist gleich 1.8 MPa.

6.3.7 Temperatur Q1

Zur Dimensionierung der Innenschalen berücksichtigt man die thermischen Einwirkungen gemäss der Tabelle 18. Die Distanz zum Portal ist immer > 3km.

Conformemente alle direttive del Committente, per il dimensionamento viene considerata una pressione di rigonfiamento pari a 0.3 MPa agente in corrispondenza dei profili CT1-T4-T5 e CT2-T4-T5 [6].

La massima spinta di rigonfiamento sopportata è pari ad 1.8 MPa.

6.3.7 Temperatura Q1

Per il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si considerano azioni termiche, in conformità alla seguente tabella, secondo la distanza dell'imbocco, sempre maggiore di 3 km.

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	< 3,0		3,0 - 10,0		>10,0	
Temperaturgradient/ gradiente della temperatura ΔT [°C]	5		2		2	
ΔT_{eff} [°C]	Winter/ inverno	Sommer/ estate	Winter/ inverno	Sommer/ estate	Winter/ inverno	Sommer/ estate
	-16	16	-10	10	-6	6

Tabelle 23: Thermische Schwankung

Tabella 23: Variazione termica

Der Temperaturgradient zeigt die Temperaturdifferenz innerhalb des Bauteils.

Il gradiente della temperatura indica la differenza di temperatura tra le superfici interna ed esterna del rivestimento.

Die von der Temperatur ausgehenden Einwirkungen in Folge eines Brands sind Gegenstand des Absatzes 6.3.9.

Le azioni derivanti dalle alte temperatura a seguito di incendio sono oggetto del paragrafo 6.3.9.

6.3.8 Erdbebeneinwirkung E1

Die Erdbebeneinwirkung wird in bergmännisch aufgefahrenen Tunneln oft vernachlässigt, da sie schlecht erfasst werden kann. Der Tunnel schwingt bei einem Erdbebenereignis mit dem umliegenden Gebirge. Allfällige Ovalisierungen sind aufgezwungene Verformungen, welche den Tunnel belasten. Bei massiven Gebirgsverformungen in Tunnelquerrichtung können Scherbrüche nicht verhindert werden.

6.3.8 Azione sismica E1

Il carico sismico rappresenta una condizione poco influente rispetto alle altre combinazioni di carico e pertanto non viene considerata.

6.3.9 Anpralllast A2

Die Einwirkung Anprall Schienenfahrzeuge ist nur in den Verzweigungsbauwerken und Portalen zu berücksichtigen, welche in dem vorliegenden Abschnitt der Hauptröhre nicht vorkommen. Die Anpralllasten können somit in den Berechnungen vernachlässigt werden.

6.3.10 Brand A3

Wie im spezifischen Bericht [9] beschrieben, werden die Querstollen nicht durch die Kurve Temperatur/Zeitraum RWS der UNI 11076 überprüft, wie es für alle Haupttunnels gemacht wurde, weil dies Kurve einem Brand entspricht der eine Hitze von einigen MW erreicht, welche für diese Bauwerke unrealistisch ist.

Hier begrenzt man sich mit der Beobachtung, dass, einvernehmlich mit der Tabelle D.6.3 del D.M. 16.02.2007 "Klassifizierung der Feuerbeständigkeit der Bauprodukte und -elemente für Bauwerke", ausreichende Bedingungen zur Gewährleistung der REI 120 Klasse sind:

- Stärke 's' der Strukturelemente größer als 160mm;
- Betondeckung 'a' (Achsenabstand der Bewehrung von der ausgesetzten Oberfläche) größer als 35mm.

Beide Voraussetzungen sind befriedigt.

6.4 EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen sind gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten ψ zu berücksichtigen.

Die maßgebenden Einwirkungskombinationen für die Dimensionierung der Innenschale sind nachfolgend aufgezeigt:

6.3.9 Urto A2

Il carico da urto è da considerare solo nelle caverne di diramazione e ai portali. Nella zona in oggetto non è pertanto considerato.

6.3.10 Incendio A3

Come descritto nella relazione specifica [9], i cunicoli trasversali non vengono verificati secondo la curva Temperatura/Tempo RWS delle UNI 11076, come fatto per tutte le opere principali, in quanto tale curva è relativa ad un incendio che sviluppa un potenza termica dell'ordine di alcune centinaia di MW, irrealistica per le opere in oggetto.

In questa sede ci si limita ad osservare che in accordo alla tabella D.6.3 del D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione" condizioni sufficienti affinché la classe di resistenza REI 120 sia garantita sono:

- spessore 's' degli elementi strutturali maggiore di 160mm;
- copriferro 'a' (distanza dell'asse delle armature dalla superficie esposta) maggiore di 35mm.

Entrambi i requisiti sono soddisfatti.

6.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione ψ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento dell'anello sono di seguito riportate:

Lastfall / Caso di carico	ständig / permanenti							vorübergehend / variabili			aussergewöhnlich / eccezionali				
	Eigengewicht	Oberleitung	Sohlbeton	Wasserdruck	Gebirgslast ohne Auftrieb	Kriechen und Schwinden	Quell-Druck	Temperatur (Sommer)	Temperatur (Winter)	Verkehrslast (Zugfahrt)	Erdbeben	Anprall	Brand	Druck infolge Zugfahrt	Sog infolge Zugfahrt
	Peso proprio	Catenaria	Carichi permanenti sull'arco rovescio	Carico idraulico	Carichi della roccia in condizioni asciutte	Ritiro e rilassamento	Swelling-Squeezing	Temperatura (Estate)	Temperatura (Inverno)	Carico ferroviario	Sisma	Impatto	Fuoco	Carico aerodinamico (pressione)	Carico aerodinamico (aspirazione)
Einwirkungskombination / Combinazioni	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	E1	A2	A3	A1	A1
druckentlastet/ sistema drenato	1	1.35						1.50							
		1.00						1.00							
	2	1.35					1.00		1.50						
		1.00					1.00		1.00						
	3	1.35	1.35	1.00					1.50						
		1.00	1.00	1.00					1.00						
	4	1.35	1.35	1.00			1.00		1.50						
		1.00	1.00	1.00			1.00		1.00						
	5	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35			1.50						
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00						
	6	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00		1.50						
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00						
	7	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35		1.35	1.50						
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00						
	8	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00	1.35	1.50						
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
11	1.00	1.00	1.00					0.60						1.00	
12	1.00	1.00	1.00			1.00		0.60						1.00	
13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60			1.00				
14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		0.60			1.00				
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.60			1.00				
16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60			1.00				

Tabelle 24: Einwirkungskombinationen (rosa GZT und weiss GZG)

Tabella 24: Combinazioni di carico (in rosa le combinazioni SLU e in bianco le combinazioni SLE)

6.5 NACHWEISE

Für den Nachweis des Grenzzustandes und der Grenzgebrauchstauglichkeit der Innenschale sind die Wirkungskombinationen gemäß Vorgaben des NTC2008, Abs. 2.5.3 berücksichtigt worden.

6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Die zu berücksichtigenden Teilsicherheitsfaktoren variieren in Abhängigkeit der Einwirkungskombinationen und -typen. Folgende Teilsicherheitsfaktoren sind gemäß EC 7 bzw. NTC2008 für ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen zu berücksichtigen:

$$\gamma_{Gj,inf} \text{ günstig/favorevole} = 1,00 / 1,00 / 1,00$$

$$\gamma_{Gj,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} = 1,35 / 1,20 / 1,00$$

$$\gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ günstig/favorevole} = 0,00 / 0,00 / 0,00$$

$$\gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} = 1,50 / 1,30 / 1,00$$

Werden die Einwirkungen aus dem Schwinden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt, ist gemäß EC2, Teil 1, Abs. 2.4.2.1 der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{SH} = 1,0$ zu berücksichtigen.

6.5.1.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Gemäß EN 1990 bzw. NTC2008 müssen folgende Kombinationsbeiwerte benutzt werden:

6.5 VERIFICHE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio dell'anello sono state considerate le combinazioni delle azioni in conformità delle prescrizioni del paragrafo 2.5.3 delle NTC2008.

6.5.1 Stati Limite Ultimi (SLU)

6.5.1.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni

I coefficienti parziali di sicurezza da considerare variano in funzione delle combinazioni e del tipo di azioni. In conformità alle NTC2008, per le situazioni di dimensionamento standard, temporanee ed eccezionali sono da considerarsi i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Considerando le azioni derivanti dal ritiro, per la verifica allo stato limite ultimo, si è considerato, in conformità all'EC2, parte 1, paragrafo 2.4.2.1 il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_{SH} = 1,0$.

6.5.1.2 Coefficienti di combinazione delle azioni

In conformità alla EN 1990 ovvero alla NTC2008 devono essere utilizzati i seguenti coefficienti di combinazione:

Einwirkung /	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Druck / Sog infolge Zugfahrt A1 / Pressione aerodinamica A1	0,8	0,5	0,0
Temperatur Q1 / Forze termiche Q1	0,6	0,6	0,5

Tabelle 25: Reduktionsbeiwerte

Tabella 25: Coefficienti di combinazione

6.5.1.3 Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen sind gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten ψ zu berücksichtigen.

Die für die Dimensionierung der Innenschale entsprechenden maßgebenden Einwirkungskombinationen sind hinsichtlich den vor Ort vorherrschenden Randbedingungen auszuwählen.

6.5.1.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

Die Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände bei einer ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation sind, wie mit BBT SE vereinbart, unter Berücksichtigung einer Bauwerklebensdauer von 200 Jahren, wie folgt zu betrachten:

Stahlbeton

- Teilsicherheitsbeiwert für den Betonwiderstand $Y_c = 1,60$
- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit: $\alpha_{cc} = 0,85$
- Teilsicherheitsbeiwert für Stahlwiderstand $Y_s = 1,20$

Unbewehrter Beton

- Teilsicherheitsbeiwert für den Betonwiderstand $Y_c = 1,60$
- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruck- bzw. Zugfestigkeit: $\alpha_{cc,pl.}/\alpha_{ct,pl.} = 0,80$

Für die Nachweise der außergewöhnlichen Bemessungssituation sind die Teilsicherheitsfaktoren mit $Y_c = 1,20$ und $Y_s = 1,00$ zu berücksichtigen. Der Minderungsbeiwert der Betondruckfestigkeit α bleibt unverändert.

6.5.1.5 Bemessung auf Biegung und Längskraft

Die Bemessung des Stahlbetons erfolgt gemäß den Vorgaben des NTC2008, Abs. 4.1.2.1.2.

Der Biegung-Längskraft-Nachweis des unbewehrten Betons, vorwiegend nicht komprimiert, erfolgt gemäß dem NTC2008, bei Prüfung folgender Ungleichung:

6.5.1.3 Combinazione delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione ψ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento dell'anello devono essere scelte in funzione delle effettive condizioni al contorno in situ.

6.5.1.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

I coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze in fase permanente e temporanea vanno considerati, come concordato con BBT SE, come segue tenendo conto della vita utile dell'opera di 200 anni:

Calcestruzzo armato

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo $Y_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione del calcestruzzo di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0,85$
- Coefficiente parziale di sicurezza Y_s per la resistenza dell'acciaio $Y_s = 1,20$

Calcestruzzo non armato

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo $Y_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione e a trazione del calcestruzzo di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0,80$

Per le verifiche nella situazione di dimensionamento eccezionale i fattori parziali di sicurezza devono essere considerati con $Y_c = 1,20$ e $Y_s = 1,00$. Il coefficiente di riduzione della resistenza a compressione del calcestruzzo α resta invariato.

6.5.1.5 Verifica a pressoflessione

Per il calcestruzzo armato il calcolo segue le indicazioni delle NTC2008, par. 4.1.2.1.2.

Nelle sezioni non armate prevalentemente compresse, la verifica a pressoflessione è condotta, in accordo con le N.T.C. 2008, verificando la seguente disuguaglianza:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x$$

$$\text{Con } x = h - 2 \cdot e = h - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Wobei:

- N_{Ed} , M_{Ed} die Planungsbelastungen sind;
- b die Breite des Abschnitts ist (1m);
- h die Höhe des Abschnitts ist;
- x die Höhe des reagierenden Abschnitts ist.

Dove:

- N_{Ed} , M_{Ed} sono le sollecitazioni di progetto;
- b è la larghezza della sezione di riferimento (1m);
- h è l'altezza della sezione;
- x è l'altezza della sezione reagente.

Bei den unbewährten Abschnitten mit hoher Exzentrizität, bei denen die oben ausgeführte Prüfung offenbar nicht befriedigt ist, berücksichtigt man, gemäß EC2 (§12.3.1), die Betonzugfestigkeit bis zum Planungswert f_{ctd} . Die Prüfung ergibt sich als ausreichend wenn:

Nelle sezioni non armate con un'elevata eccentricità, in cui la verifica sopra esposta non è ovviamente soddisfatta, in accordo con l'EC2 (§12.3.1) si considera la resistenza a trazione del calcestruzzo fino al valore di progetto f_{ctd} . La verifica risulta soddisfatta se:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{J} \cdot (h/2) \leq \begin{cases} f_{cd} \\ f_{ctd} \end{cases}$$

Wobei:

- J der Trägheitsmoment des Abschnitts ist.

Dove:

- J è il momento d'inerzia della sezione.

6.5.1.6 Bemessung Querkraft

Die Bemessung des Stahlbetons erfolgt gemäß den Vorgaben des NTC2008, Abs. 4.1.2.1.2.4.

Der Nachweis bei der unbewehrten Innenschale erfolgt gemäß des NTC2008, bei Prüfung folgender Ungleichung:

6.5.1.6 Verifica a taglio

Per il calcestruzzo armato il calcolo segue le indicazioni delle NTC2008, par. 4.1.2.1.3.

Per il rivestimento interno non armato si seguono le NTC 2008, verificando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} \cdot \frac{b \cdot x}{1.5}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_c \cdot f_{ctd}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{c \lim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_c \cdot f_{ctd} - \delta^2/4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{c \lim}$$

$$\delta = \sigma_c - \sigma_{c \lim}$$

$$\sigma_{c \lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + f_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

Bei den überwiegend komprimierten Abschnitten wird die Durchschnittsbelastung der Komprimierung σ_c als Durchschnitt

Nelle sezioni prevalentemente compresse, lo sforzo medio di compressione σ_c è calcolato come media delle compressioni

der Komprimierungen im reagierenden Abschnittteil nella porzione di sezione reagente 'x':
berechnet:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{x} = \frac{N_{Ed}}{h - 2 \cdot e}$$

In den Abschnitten mit hoher Exzentrizität, bei Annahme der Betonzugfestigkeit bis f_{ctd} , wird der Querkraftwiderstand des Abschnitts ausgewertet, indem der ganze Abschnitt als reagierend ($x=h$) betrachtet wird und die Spannung σ_c als Durchschnittsspannung des ganzen Abschnitts, sowohl komprimiert als auch gespannt gewertet wird.

Nelle sezioni con un'elevata eccentricità, coerentemente con l'assunzione di considerare la resistenza a trazione del calcestruzzo fino al valore di f_{ctd} , la resistenza a taglio della sezione viene valutata considerando reagente l'intera sezione ($x=h$) e valutando la tensione σ_c come tensione media nell'intera sezione, sia compressa che tesa.

$$\sigma_c = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

6.5.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

6.5.2.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Einwirkungen mit ihren Kombinationen zu berücksichtigen.

6.5.2.2 Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen

In Tabelle 16 befinden sich die bei Einwirkungskombinationen zu berücksichtigenden Beiwerte. Die Kombinationsbeiwerte sind gemäß Tabelle 24 zu berücksichtigen.

6.5.2.3 Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen sind gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten ψ zu berücksichtigen.

6.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Werte der Widerstände zu berücksichtigen.

6.5.2.5 Ermittlung der Verformungen

Die Ermittlung der Systemverformung erfolgt im GZG unter Berücksichtigung der Kombinationsregeln mit den charakteristischen Einwirkungen sowie den entsprechenden Kombinationsbeiwerten.

6.5.2.6 Begrenzung der Rissbreiten

Im GZG, unter Berücksichtigung des NTC2008, ist die maximale Rissweite für die maßgebenden Einwirkungskombinationen unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren und Minderungsfaktoren ψ laut Tabelle 23 nachzuweisen. Die zulässige Rissbreite für Normalbeton

6.5.2 Stati Limite Esercizio (SLE)

6.5.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni

Nella verifica agli stati limite di esercizio devono essere considerate le azioni caratteristiche con le loro combinazioni.

6.5.2.2 Coefficienti di combinazione delle azioni

In Tabella 23 si trovano i coefficienti da considerare nelle combinazioni delle azioni. I coefficienti di combinazione sono da considerare come in Tabella 24.

6.5.2.3 Combinazioni delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione ψ .

6.5.2.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

Per la verifica agli stati limite di esercizio si devono considerare i valori caratteristici delle resistenze.

6.5.2.5 Calcolo delle deformazioni

Il calcolo delle deformazioni del sistema si esegue allo SLE in considerazione delle regole di combinazione con i carichi caratteristici e dei relativi coefficienti di combinazione.

6.5.2.6 Limitazione dello spessore delle fessure

In considerazione delle NTC2008, si controlla allo SLE lo spessore massimo delle fessure w_{kai} per le combinazioni di carico rilevanti, in considerazione dei fattori parziali di sicurezza e dei coefficienti di riduzione ψ secondo Tabella 23. La larghezza delle fessure ammessa per il cls normale senza

ohne besondere Stärkeanforderung, oder bei Vorliegen der Abdichtung ist auf $w_{kal} \leq 0,3$ mm zu begrenzen.

Bei besonderer Anforderung der Innenschalendichtigkeit oder bei aggressiven oder sehr aggressiven Umweltbedingungen ist die maximale Rissweite auf $w_{kal} \leq 0,2$ mm zu begrenzen.

6.6 BAULICHE DURCHBILDUNG

6.6.1 Expositionsklasse und Mindestbetondeckung

Gemäß UNI 11104 und UNI EN 206-1:2006, ist bei Expositionsklasse XC3/XA1 die Anwendung von Beton C30/37, hingegen bei Expositionsklasse XC4/XA2 Beton C32/40 vorgesehen.

Die Berechnung der Mindestbetondeckung zur Gewährleistung der Bauwerkslebensdauer >100 Jahren ist gemäß N.T.C. 2008 durchgeführt:

	XC3	XC4
Festigkeitsklasse	30/37	32/40
Umweltbedingungen	Normal	Aggressiv
C_{min} [mm]	20	30
Nutzbare Lebenszeit > 100 Jahre [mm]	+10	+10
Bauliche Tolleranz [mm]	+10	+10
C_{nom} [mm]	40	50

Tabelle 26: Mindestüberdeckung

Zur Einheitlichkeit ist eine Betondeckung von 5 cm entlang der ganzen Entwicklung der Tunnels vorgesehen.

6.6.2 Mindestbewehrung

Ist eine bewehrte Innenschale vorgesehen, wird die Mindestbewehrung gemäß NTC 2008, Punkt 4.1.6.1.1 eingesetzt.

Die Querschnittsfläche der Längszugbewehrung darf nicht geringer sein als:

$$A_{S,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d$$

und jedenfalls nicht geringer als $0,0013 \times b \times d$,

wobei:

- b die mittlerer Breite der Zugzone vertritt;

particolari requisiti di spessore o in presenza di impermeabilizzazione è limitata a $w_{kal} \leq 0,3$ mm.

In caso di particolari requisiti di spessore del rivestimento interno o di condizioni ambientali aggressive o molto aggressive la larghezza massima è limitata a $w_{kal} \leq 0,2$ mm.

6.6 STRUTTURA COSTRUTTIVA

6.6.1 Classe di esposizione e copriferro minimo

In accordo alle UNI 11104 e alle UNI EN 206-1:2006, in classe di esposizione XC3/XA1 è previsto l'utilizzo di calcestruzzo C30/37 mentre in classe di esposizione XC4/XA2 è previsto l'utilizzo di calcestruzzo C32/40.

Il calcolo del copriferro minimo al fine di garantire una vita utile dell'opera >100anni è condotto in accordo alle N.T.C. 2008:

	XC3	XC4
Classe di resistenza	30/37	32/40
Cond. ambientali	Normali	Aggressive
C_{min} [mm]	20	30
Vita utile > 100anni [mm]	+10	+10
Tolleranza costruttiva [mm]	+10	+10
C_{nom} [mm]	40	50

Tabella 26: Copriferro minimo

Per omogeneità si prevede un copriferro netto di 5 cm lungo tutto lo sviluppo delle gallerie.

6.6.2 Armatura minima

In caso il rivestimento necessiti di armatura il quantitativo minimo di armatura da inserire viene definito al punto 4.1.6.1.1 delle NTC 2008.

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a:

e comunque non minore di $0,0013 \times b \times d$,

Dove:

- b rappresenta la larghezza media della zona tesa;

- d die Nutz Höhe des Querschnitts ist;
- f_{ctm} der Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons ist;
- f_{yk} der charakteristische Wert der Streckengrenze des Betonstahls ist.
- d è l'altezza utile della sezione;
- f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione del calcestruzzo;
- f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

6.7 ERGEBNISSE

Die Resultate für die Innenschale der Querverbindungen sind in der folgenden Tabelle gezeigt:

6.7 RISULTATI

I risultati per il rivestimento definitivo dei cunicoli trasversali si trovano nella seguente tabella:

	Calotta				Platea				Piedritti			
	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio
CT1-a-T2-T3-T3 bis	-	-	-	-	35 cm	2 ϕ 10/150	2 ϕ 10/300	-	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
CT1-a-T4-T5	-	-	-	-	85 cm	2 ϕ 20/150	2 ϕ 14/300	-	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 10/300	-
CT2-a-T2-T3-T3 bis	-	-	-	-	35 cm	2 ϕ 10/150	2 ϕ 10/300	-	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
CT2-a-T4-T5	-	-	-	-	85 cm	2 ϕ 20/150	2 ϕ 14/300	-	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 10/300	-
CT2-b-T2-T3-T3 bis	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-	35 cm	2 ϕ 10/150	2 ϕ 10/300	-	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
CT2-b-T4-T5	35 cm	2 ϕ 16/150	2 ϕ 12/300	-	120 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/150	-	100 cm	2 ϕ 16/150	2 ϕ 12/300	-

Tabelle 27: Resultate für die Innenschale der Querschnitte CT1 und CT2

Tabella 27: Risultati del rivestimento definitivo per le sezioni CT1 e CT2

7 VERZEICHNISSE

7.2 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Liste der Querverbindungen entlang der Stecke 6	
Tabelle 2: Kilometrierung, Überdeckung und lithologische Zusammensetzungen der Homogenbereichen.....	12
Tabelle 3: Einteilung der Bemessungsschnitte.....	13
Tabelle 4: Massgebende Kilometrierung und Besonderheiten der Bemessungsschnitte.....	14
Tabelle 5: Charakterisierung der Gesteinsarten für jeden Homogenbereich und deren prozentuelle Verteilung [1] ...	15
Tabelle 6: Charakteristische Gebirgsparameter für die verschiedenen Zonen und Klassen [2].....	15
Tabelle 7: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB2	16
Tabelle 8: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB3	16
Tabelle 9: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB4	17
Tabelle 10: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB5	17
Tabelle 11: Trennflächenorientierung im Bemessungsschnitt OB6	17
Tabelle 12: Stabilitätskriterien gemäss [22] [23]	19
Tabelle 13: Resultate der Kennlinien	20
Tabelle 14: Bewertung der, wegen hohen Verformungen (<i>squeezing</i>), Ortsbrustinstabilität und sprödem Versagen (<i>Rockburst</i>), möglichen Risiken für jeden Gebirgstyp [2]...	22
Tabelle 15: Definition der Sicherheitsklassen II und III für die Profile CT1 und CT2	28
Tabelle 16: Definition der Sicherheitsklasse T3 bis für die Profile CT1 und CT2	28
Tabelle 17: Definition der Sicherheitsklassen IV und V für die Profile CT1 und CT2	28
Tabelle 18: Input für den Anker	29
Tabelle 19: Sicherheitsklassen für CT1.....	30
Tabelle 20: Sicherheitsklassen für CT2.....	30
Tabelle 21: Wahl der Ausbruchsquerschnitten	31
Tabelle 22: Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Ortsbruststabilität	31

7 ELENCHI

7.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Lista dei cunicoli trasversali lungo la tratta.....	6
Tabella 2: Chilometraggio, copertura e composizione litologica dei domini geomeccanici omogenei	12
Tabella 3: Caratterizzazione dei settori di calcolo	13
Tabella 4: Chilometraggi rappresentativi dei settori di calcolo e loro peculiarità	14
Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi [2]	15
Tabella 6: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi [2]	15
Tabella 7: Giacitura delle discontinuità nel settore OB2	16
Tabella 8: Giacitura delle discontinuità nel settore OB3	16
Tabella 9: Giacitura delle discontinuità nel settore OB4	17
Tabella 10: Giacitura delle discontinuità nel settore OB5...	17
Tabella 11: Giacitura delle discontinuità nel settore OB6...	17
Tabella 12: Criteri di stabilità proposti in [22] [23].....	19
Tabella 13: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche	20
Tabella 14: Valutazione, per ogni ammasso, dei possibili rischi legati a elevate deformazioni (<i>squeezing</i>), instabilità del fronte e fenomeni di rottura fragile (<i>rock burst</i>) [2].	22
Tabella 15: Definizione delle classi II e III per i profili CT1 e CT2	28
Tabella 16: Definizione della classe di sicurezza T3 bis per le sezioni CT1 e CT2	28
Tabella 17: Definizione delle classi IV e V per le sezioni CT1 e CT2	28
Tabella 18: Input delle chiodature	29
Tabella 19: Classi di sicurezza per la sezione CT1	30
Tabella 20: Classi di sicurezza per la sezione CT2	30
Tabella 21: Applicazione sezioni di scavo	31
Tabella 22: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo	31
Tabella 23: Variazione termica.....	36
Tabella 24: Combinazioni di carico (in rosa le combinazioni SLU e in bianco le combinazioni SLE).....	38

Tabelle 23: Thermische Schwankung.....	36
Tabelle 24: Einwirkungskombinationen (rosa GZT und weiss GZG)	38
Tabelle 25: Reduktionsbeiwerte	39
Tabelle 26: Mindestüberdeckung.....	42
Tabelle 27: Resultate für die Innenschale der Querschnitte CT1 und CT2	43

Tabella 25: Coefficienti di combinazione	39
Tabella 26: Copriferro minimo.....	42
Tabella 27: Risultati del rivestimento definitivo per le sezioni CT1 e CT2	43

7.3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Qualitative Darstellung der Einwirkung aus dem Gebirge auf die Schale bei Trennflächendominiertem Gebirgsverhalten	24
Abbildung 2: Qualitative Darstellung des grössten Blockes für CT1 (Homogenbereich GA-BST-KS-8e)	26
Abbildung 3: Qualitative Darstellung des grössten Blockes für C2 (Homogenbereich GA-BST-KS-8e)	27
Abbildung 4: Resultate der Kennlinien-Analyse.....	29
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Schnittstelle .	33

7.4 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 – TABELLEN DER GEBIRGSARTEN
- ANHANG 2 – FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE
- ANHANG 3 – BLOCKANALYSE
- ANHANG 4 – BEMESSUNG SPRITZBETON AUSSENSCHALE
- ANHANG 5 – ANALYSE DER STAHLPROFILIEN

7.5 BIBLIOGRAFIE UND QUELLEN

7.5.1 Dokumente der Ausschreibungsplanung

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Technischer Bericht – Geomechanischer Bericht, Allgemein
- [2] 02_H61_GD_025_GTB_D0700_23001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Technischer Bericht – Geomechanischer Bericht, Detail

7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Rappresentazione qualitativa degli effetti dell'ammasso sul rivestimento, in caso di ammasso altamente fratturato	24
Figura 2: Rappresentazione qualitativa del blocco di dimensioni maggiori per il CT1 (tratta omogenea GA-BST-KS-8e)	26
Figura 3: Rappresentazione qualitativa del blocco di dimensioni maggiori per il CT2 (tratta omogenea GA-BST-KS-8e)	27
Figura 4: Risultati delle Linee Caratteristiche.....	29
Figura 5: Schematizzazione dell'interfaccia	33

7.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - SCHEDE GEOMECCANICHE
- APPENDICE 2 – VERIFICHE STATICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO
- APPENDICE 3 – ANALISI DEI BLOCCHI
- APPENDICE 4 - ANALSI DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE – SPRITZBETON
- APPENDICE 5 – ANALISI DELLE CENTINE

7.4 BIBLIOGRAFIA E FONTI

7.4.1 Documenti in ingresso

- [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_025_GTB_D0700_23001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Relazione tecnica – Relazione geomeccanica di dettaglio

- [3] 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23002 bis
02_H61_GD_025_GLS_D0700_23008 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Längenschnitt –
Voraussicht Geomechanisches- und
Projektierungsprofile
- [4] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050 fino a
02_H61_EG_991_KLP_D0700_12056 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Lageplan – Lageplan
der Bauwerke
- [5] 02_H61_QS_025_KRQ_D0700_23750 bis
02_H61_QS_025_KRQ_D0700_23763 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Querschnitte – Regelquerschnitt –
Ausbruchsquerschnitte
- [6] 02_H61_QS_025_KRP_D0700_23709 bis
02_H61_QS_025_KRP_D0700_23720 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Querschnitte – Regelprofil – Regelprofile
- [7] 02_H61_GD_025_KTB_D0700_23053 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke Teil 3 – Technischer
Bericht – Leitfaden für die Wahl des
Ausbruchsquerschnitte
- [8] 02_H61_OP_025_KTB_D0700_23054 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke Teil 3 – Technischer
Bericht – Materialienbericht
- [9] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Brenner
Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Gesamtbauwerke – Sicherheit gegen
Feuereinwirkung

7.5.2 Normen und Richtlinien

- [17] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008;
- [18] Leitfaden N.617, Vorgehensweise für technische
Konstruktionsnormen, Ausgabe Januar 2008
- [19] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel
- [20] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für
Konstruktion und Dokumentation zur nationalen
Umsetzung ;
- [21] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures –
2010/2011
- [22] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Planung von für
Stahlbetonbauwerke und Dokumente zur nationalen
Umsetzung;

- [3] 02_H61_GD_025_GLS_D0700_23002 fino a
02_H61_GD_025_GLS_D0700_23008 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Profilo longitudinale
– Profili geomeccanici e progettuali di previsione
- [4] 02_H61_EG_991_KLP_D0700_12050 fino a
02_H61_EG_991_KLP_D0700_12056 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 - Opere generali – Planimetria delle
opere – Planimetrie (foglio 15/25 fino a foglio 21/25)
- [5] 02_H61_QS_025_KRQ_D0700_23750 fino a
02_H61_QS_025_KRQ_D0700_23763 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 – Cunicoli trasversali – Sezione tipo –
Sezioni di scavo
- [6] 02_H61_QS_025_KRP_D0700_23709 fino a
02_H61_QS_025_KRP_D0700_23720 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 – Cunicoli trasversali – Sezione tipo –
Sezioni tipo applicate
- [7] 02_H61_GD_025_KTB_D0700_23053 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 – Progettazione delle opere –
Relazione tecnica – Linee guida per l'applicazione
delle sezioni tipo
- [8] 02_H61_OP_025_KTB_D0700_23054 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 – Opere generali parte 3 – Relazione
tecnica – Relazione sui materiali
- [9] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700:
Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Sicurezza nei
riguardi dell'esposizione al fuoco

7.4.2 Normativa

- [10] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [11] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle
"Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM
14 gennaio 2008
- [12] DM 28/10/2005 , Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [13] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la
progettazione strutturale e documento di applicazione
nazionale3
- [14] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures –
2010/2011
- [15] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione
delle strutture in calcestruzzo e documento di

- [23] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung
- [24] UNI EN 1992-1-2:2005
- [25] UNI 11076: 2003
- [26] D.M. 16.02.2007

applicazione nazionale

- [16] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale
- [17] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [18] 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".
- [19] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"

7.5.3 Literatur

- [27] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [28] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [29] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [30] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [31] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [32] UNWEDGE-rocsience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [33] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [34] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [35] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [36] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [37] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)
- [38] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal

7.4.3 Letteratura

- [20] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [21] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [22] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [23] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [24] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [25] UNWEDGE-rocsience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [26] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [27] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [28] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [29] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [30] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)
- [31] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system.

of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007

[39] MIDAS GTS Manual

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007

[32] MIDAS GTS Manual

ANHANG 1 – TABELLEN DER GEBIRGSARTEN

APPENDICE 1 – SCHEDE GEOMECCANICHE

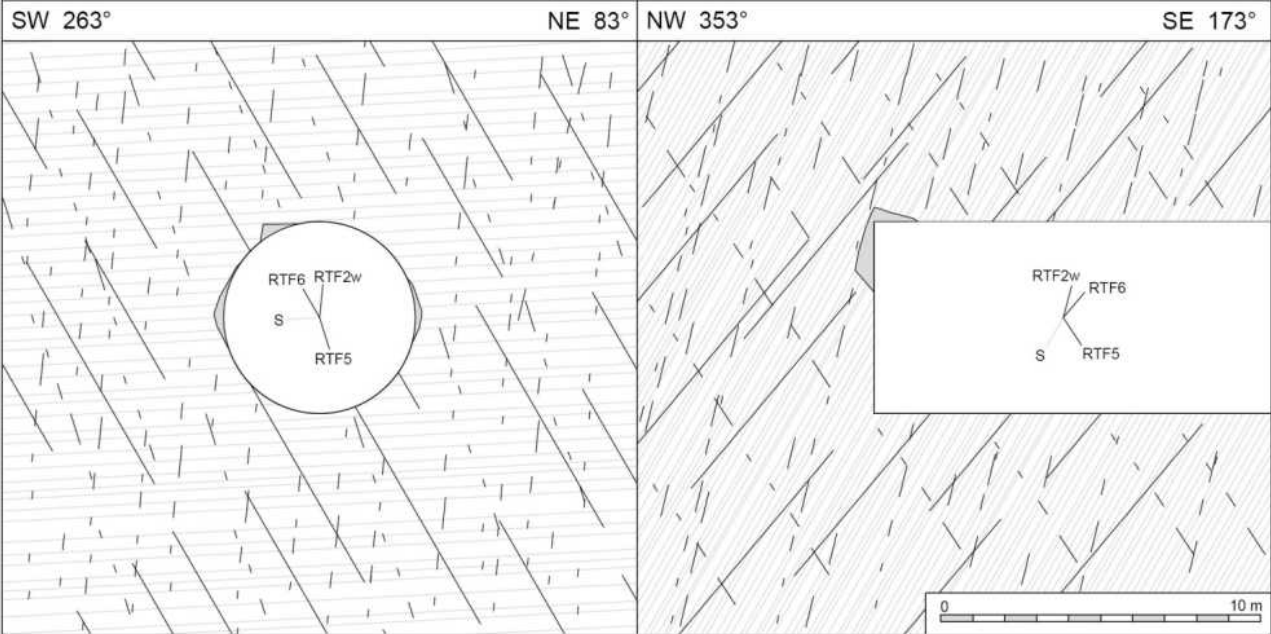
Di seguito sono riportate le schede geomeccaniche per gli ammassi rocciosi secondo la Relazione [15].

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart GA-BST-KS-8f		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso GA-BST-KS-8f		
Lithologie	Bündnerschieferkomplex: Dünnschichtige Wechselfolge von Glimmermarmor, Kalzitquarzit und Phyllit (531)		
Litologia	Complesso dei calcescisti: alternanze poco spessi di calcescisti, quarziti calcitici e filladi (531)		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,02656	$\pm 0,00036$	63
σ_c [MPa] med (F sf)	41	± 18	3
σ_c [MPa] min (F 45° sf)	24	± 9	12
m_i [-] (Hoek&Brown) aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	12	± 2	4
E [MPa] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	43000	± 11100	15
ν [-] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	0,21	$\pm 0,05$	8
CAI [-]	2,7	$\pm 0,4$	8
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	42	± 9	8
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S: 355/60		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF2w: 285/85	RTF6: 050/65	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF5: 110/75		
Trennflächenabstände [mm]	RTF2w: 200-600	RTF6: 200-600	
Spaziatura delle discontinuità	RTF5: 200-600	S: 60-200	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF2w: <1	RTF6: 3-10	
Persistenz der Discontinuität	RTF5: <1	S: 3-10	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF2w: 0	RTF6: 0	
Apertura della discontinuità	RTF5: 0	S: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC ₀ [-]	RTF2w: 4-8	RTF6: 10-12	
Rugosità delle discontinuità	RTF5: 4-8	S: 4-8	
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Alterazione delle discontinuità			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuità (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuità (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
$\Phi_{peak/res}$ [°] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	44,0-46,3 / 19,4-35,8		3 / 2
$C_{peak/res}$ [MPa] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	1,7-4,1 / 0,27-0,47		3 / 2
Gebirgskennwerte in-Situ	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in situ	Range		Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica): Last/carico 87,8-10,6 MPa	32500-63600		2
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	85	\pm	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	60	\pm	
GSI [-] (Hoek)	50	-	-
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brown)	1,5	0,9	2,0
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	4,6	2,8	6,3
c [MPa] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=910m / H_{max}=1110m$	1,8 / 2,0	1,5 / 1,7	2,0 / 2,3
ϕ [°] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=910m / H_{max}=1110m$	28 / 26	24 / 23	30 / 29
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	- / (4900) / 13200	- / (3900) / 9800	- / 5700 / 16600
Charakteristische Werte / Valori caratteristici	Inputparameter / Valori di input		
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	27,0	GSI [-] - Hoek&Brown	50
$\sigma_{ci,k}$ (Gestein / roccia) [MPa]	33*	RMR [-] - Bienawski	60
$\sigma_{cm,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	6,3	$\sigma_v (\gamma \cdot H_{min/max})$ [MPa]	24,6 / 30,0
c_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] - $H_{min/max}$	2,0 / 2,3	k_0 [-]	0,8-1,0
ϕ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°] - $H_{min/max}$	30 / 28		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	5500		
Bemerkungen	*Wert: M+s (F 45° sf)		
Note	*Valore: M+s (F 45° sf)		

GA-BST-KS-8f: Gebirgsverhaltenstyp GVT 3

GA-BST-KS-8f: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 3

Gebirgsart : GA-BST-KS-8f



Gebirgsarten	GA-BST-KS-8f: Dünnschichtige Wechselfolge von Glimmermarmor, Kalzitquarzit und Phyll
Tipo di ammasso roccioso	GA-BST-KS-8f: Alternanze poco spessi di calcescisti, quarziti calcitici e filladi (531)
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schleifend bzw. quer zur Tunnelachse verlaufende Trennflächen; Schieferung: mittelsteil einfallend, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'AT; Scistosità ad inclinazione media con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,21$: mittel druckhaft
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$	$\geq 0,21$: mediamente spingente
Einfluss des Bergwassers	gering
Influenza della falda	bassa
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfimento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 3: Spannungsbedingte Entfestigung in Hohlräumnähe durch Abscheren über Trennflächen Ortsbrust: lokale Ausbrüche
Comportamento dell'ammasso roccioso	TCR 3: Allentamenti in corrisp. della cavità attraverso rottura a taglio lungo discontinuità dovuto all'alto stato tensionale Fronte di scavo: locali distacchi di blocchi
Radialdeformation	< 15 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 15 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 910 - 1110 m
Note	Coperatura: 910 - 1110 m

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart GA-US-PH-6a		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso GA-US-PH-6a		
Lithologie	Kaserer-FM: Phyllit bis Glimmerschiefer, Quarzphyllit, untergeordnet Schwarzphyllit (611, 623)		
Litologia	FM di Kaserer: da fillade a micascisto, fillade quarzifera, subordinato fillade nera (611, 623)		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,02704	$\pm 0,00055$	23
σ_{ci} [MPa] max (F \perp sf)	71	± 15	18
σ_{ci} [MPa] min (F 45° sf) aus PLT / da prova PLT	43	± 9	10
m_i [-] (Hoek&Brown) aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	8	± 2	9
E [MPa] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	43400	± 8100	15
ν [-] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	0,22	$\pm 0,04$	9
CAI [-]	3,0	$\pm 0,3$	8
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	69	± 2	3
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S: 350/80		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF1: 180/70	RTF3: 235/70	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2e: 080/85	RTF6: 050/80	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1: 200-600	RTF3: 20-60	S: 20-60
Spaziatura delle discontinuità	RTF2e: 60-200	RTF6: 200-600	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1: 1-3	RTF3: <1	S: 3-10
Persistenz der discontinuità	RTF2e: <1	RTF6: 1-3	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1: 0	RTF3: 0	S: 0
Apertura della discontinuità	RTF2e: 0	RTF6: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC ₀ [-]	RTF1: 4-8	RTF3: 4-8	S: 4-8
Rugosità delle discontinuità	RTF2e: 4-8	RTF6: 8-10	
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Aterazione delle discontinuità			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuità (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuità (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
$\Phi_{peak/res}$ [°] (unverw.itt. TF / Disc. inalterate)			
$C_{peak/res}$ [MPa] (unverw.itt. TF / Disc. inalterate)			
Gebirgskennwerte in-Situ	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in situ	Range		Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica): Last/carico 8,7-9,5 MPa	40000-45300		2
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	70	\pm	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	45	\pm	
GSI [-] (Hoek)	35	± 5	
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brown)	1,7	1,0	3,2
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	7,9	5,5	12,0
c [MPa] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=1510m / H_{max}=1610m$	3,3 / 3,4	2,8 / 2,9	3,9 / 4,0
φ [°] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=1510m / H_{max}=1610m$	31 / 30	27 / 27	33 / 33
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	7500 / (3600) / 4900	7500 / (2400 / 2900)	7500 / 5200 / 8200
Charakteristische Werte / Valori caratteristici	Inputparameter / Valori di input		
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	27,0	GSI [-] - Hoek&Brown	40
$\sigma_{ci,k}$ / (σ_{ci} max / min) (Gestein / roccia) [MPa]	55* / (71 / 43)	RMR [-] - Bieniawski	45
$\sigma_{cm,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	7,5	σ_v ($\gamma \cdot H$ max) [MPa]	43,5
C_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	2,5	ko [-]	0,7-0,9
φ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°]	24		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	6000		
Bemerkungen	* Der Wert für die maßgebende Belastungsrichtung (F \parallel sf) wurde auch von PLT-Tests abgeleitet; Laborergebnisse der Lithologien 611 und 623		
Note	* Il valore per la direzione di carico determinante (F \parallel sf) è stato dedotto anche da prove PLT; Risultati delle prove di laboratorio delle litologie 611 e 623		

GA-US-PH-6a: Gebirgsverhaltenstyp GVT 4-1

GA-US-PH-6a: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 4-1

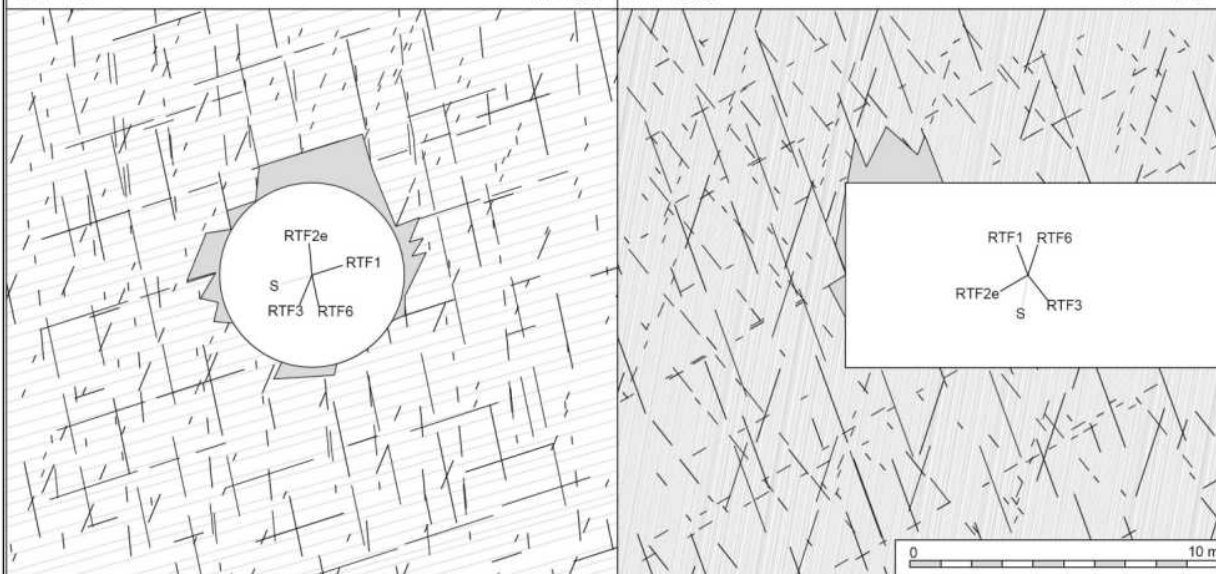
Gebirgsart : GA-US-PH-6a

SW 263°

NE 83°

NW 353°

SE 173°



Gebirgsarten	GA-US-PH-6a: Phyllit bis Glimmerschiefer, Quarzphyllit, untergeordnet Schwarzphyllit (611
Tipo di ammasso roccioso	GA-US-PH-6a: Da fillade a micascisto, fillade quarzifera, subordinato fillade nera (611, 623
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schleiend, quer bzw. senkrecht zur Tunnelachse verlaufende Trennflächen Schieferung: steil einfallend, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'AT; Scistosità ad alta inclinazione con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,17$: stark druckhaft
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$	$\geq 0,17$: fortemente spingente
Einfluss des Bergwassers	gering
Influenza della falda	bassa
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfiamento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 4-1: Tiefreichende Entfestigung oder Plastifizierung des Gebirges Ortsbrust instabil
Comportamento dell'ammasso roccioso	GVT 4-1: Allentamento o plasticizzazione profonda dell'ammasso roccioso Fronte di scavo instabile
Radialdeformation	< 30 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 30 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 1510 - 1610 m
Note	Coperatura: 1510 - 1610 m

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart GA-BS-KPH-5c		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso GA-BS-KPH-5c		
Lithologie	Bündnerschieferkomplex: Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer, Phyllit (533)		
Litologia	Complesso dei calcescisti: filladi e scisti carbonatiche, filladi (533)		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,0274	$\pm 0,00004$	15
σ_{ci} [MPa] max (F _⊥ sf)	54	± 13	5
σ_{ci} [MPa] min (F 45° sf)			
m _i [-] (Hoek&Brown) aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	8	± 1	4
E [MPa] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale (F 45° sf)	39400	± 5500	4
ν [-] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	0,25	$\pm 0,03$	4
CAI [-]	2,5	$\pm 0,3$	2
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	51	± 4	2
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S2: 350/40		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF1: 010/80	RTF2e: 090/70	RTF8: 030/00
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2w: 260/70	RTF6: 230/80	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1: 200-600	RTF2e: 200-600	RTF8: 200-600
Spaziatura delle discontinuità	RTF2w: 200-600	RTF6: 200-600	S2: 20-60
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1: 1-3	RTF2e: 1-3	RTF8: <1
Persistenz der discontinuität	RTF2w: 1-3	RTF6: 3-10	S2: 1-3
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1: 0	RTF2e: 0	RTF8: 0
Apertura della discontinuität	RTF2w: 0	RTF6: 0	S2: 0
Trennflächenrauigkeit JRC ₀ [-]	RTF1: 10-12	RTF2e: 4-8	RTF8: 8-10
Rugosità delle discontinuität	RTF2w: 4-8	RTF6: 10-12	S2: 4-8
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Alterazione delle discontinuität			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuität (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuität (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
Φ_{res} [°] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	23,2-26,6		2
c_{res} [MPa] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	0,01-0,13		2
Gebirgskennwerte in-Situ	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in situ	Range		Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica)			
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	70	\pm	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	50	\pm	
GSI [-] (Hoek)	40	± 5	
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brown)	1,8	1,0	3,0
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	6,8	4,6	9,4
c [MPa] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=870m / H_{max}=1250m$	1,8 / 2,2	1,5 / 1,8	2,2 / 2,7
ϕ [°] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=870m / H_{max}=1250m$	28 / 25	24 / 22	31 / 28
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	10000 / 4100 / 6300	10000 / (3100 / 3800)	10000 / 6100 / 10000
Charakteristische Werte / Valori caratteristici	Inputparameter / Valori di input		
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	27,0	GSI [-] - Hoek&Brown	40
$\sigma_{ci,k}$ / (σ_{ci} max) (Gestein / roccia) [MPa]	41* (54)	RMR [-] - Bienawski	50
$\sigma_{cm,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	5,5	σ_v ($\gamma \cdot H$, mittel/med) [MPa]	23,5 / 33,8
c_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] - H _{min} /max	1,7 / 2,1	ko [-]	0,8-1,3
ϕ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°] - H _{min} /max	27 / 24		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	5500		
Bemerkungen	*Mittelwert - Standardabweichung		
Note	*Valore medio - dev. Standard		

GA-BS-KPH-5c: Gebirgsverhaltenstyp GVT 4-1 / GVT 3	
GA-BS-KPH-5c: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 4-1 / TCR 3	
Gebirgsart : GA-BS-KPH-5c	
SW 263°	NE 83° NW 353° SE 173°
Gebirgsarten	GA-BS-KPH-5c: Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer, Phyllit (533)
Tipo di ammasso roccioso	GA-BS-KPH-5c: Filladi e scisti carbonatiche, filladi (533)
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schiefend, quer bzw. senkrecht zur Tunnelachse verlaufende Trennflächen 1 subhorizontale Trennfläche; Schieferung: mittelsteil einfallend, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'AT, 1 disc. suborizzontale; S ad inclinazione media con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,16$: stark druckhaft / mittel druckhaft
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$	$\geq 0,16$: fortemente spingente / mediamente spingente
Einfluss des Bergwassers	gering
Influenza della falda	bassa
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfimento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 4-1: Tiefreichende Entfestigung oder Plastifizierung des Gebirges Ortsbrust instabil GVT 3: Lokal spannungsbedingte Entfestigung in Hohlraumnähe durch Abscheren über Trennflächen
Comportamento dell'ammasso roccioso	GVT 4-1: Allentamento o plasticizzazione profonda dell'ammasso roccioso Fronte di scavo instabile TCR 3: Allentamenti locali in corrisp. della cavità attraverso rottura a taglio lungo discontinuità
Radialdeformation	< 30 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 30 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 870 - 1250 m
Note	Coperatura: 870 - 1250 m

Geotechnische Kennwerte		Gebirgsart GA-T-PH-2b	
Parametri geotecnici		Tipo di ammasso roccioso GA-T-PH-2b	
Lithologie	Agerbach-FM: Phyllit, Chloritphyllit, Kalkphyllit, Quarzphyllit (566, 569)		
Litologia	FM di Agerbach: Fillade, fillade cloritica, fillade calcarea, fillade quarzifera (566, 569)		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,02743	0,0009	14
σ_{ci} [MPa] max (F ₁ sf)	90	± 18	7
σ_{ci} [MPa] min (F 45° sf)	39	± 2	2
m _i [-] (Hoek&Brown) aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	11	± 4	4
E [MPa] aus Enax.-Druckversuch / da prova uniaxiale	39200	± 5400	7
ν [-] aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	0,23	± 0,02	4
CAI [-]	3,1	± 0,7	4
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	35	± 4	2
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S2: 175/80		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF1: 360/80	RTF3: 325/70	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2e: 090/85	RTF6: 215/85	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1: 200-600	RTF3: 600-2000	S2: 20-60
Spaziatura delle discontinuità	RTF2e: 200-600	RTF6: 600-2000	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1: 1-3	RTF3: <1	S2: 1-3
Persistenz der discontinuität	RTF2e: 3-10	RTF6: <1	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1: 0	RTF3: 0	S2: 0
Apertura della discontinuität	RTF2e: 0	RTF6: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC ₀ [-]	RTF1: 4-8	RTF3: 8-10	S2: 4-8
Rugosità delle discontinuität	RTF2e: 4-8	RTF6: 4-8	
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Alterazione delle discontinuität			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuität (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuität (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
ϕ_{res} [°] (unverw. lt. TF / Disc. inalterate)	31,7-31,8		2
c_{res} [MPa] (unverw. lt. TF / Disc. inalterate)	0,01-0,33		2
Gebirgs-kennwerte in-Situ	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in sito	Range		Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica): Last/carico 7,8-10,2 MPa	47900-59700		2
Gebirgs-kennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistiche dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	70	±	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	50	±	
GSI [-] (Hoek)	45	± 5	
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brown)	3,0	1,7	4,8
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	13,2	9,4	17,7
c [MPa] (Mohr-Coulomb): H _{min} =740m / H _{max} =1010m	2,2 / 2,6	1,8 / 2,2	2,6 / 3,1
ϕ [°] (Mohr-Coulomb): H _{min} =740m / H _{max} =1010m	36 / 33	32 / 30	39 / 36
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	10000 / 7100 / 8800	10000 / (3600 / 3800)	10000 / 7500 / 10000
Charakteristische Werte / Valori caratteristici		Inputparameter / Valori di input	
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	27,0	GSI [-] - Hoek&Brown	40
$\sigma_{ci,k}$ / (σ_{ci} max / min) (Gestein / roccia) [MPa]	60* / (90 / 39)	RMR [-] - Bieniawski	50
$\sigma_{cm,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	8,8	σ_v (H _{min} /max) [MPa]	20,0 / 27,3
c_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] - H _{min} /max	1,9 / 2,3	k_{σ} [-]	0,8-1,3
ϕ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°] - H _{min} /max	33 / 30		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	6300		
Bemerkungen	* Der Wert für die maßgebende Belastungsrichtung (F ₁ sf) wurde auch von PLT-Tests abgeleitet. Laborergebnisse der Lithologien 560 und 566.		
Note	* Il valore per la direzione di carico determinante (F ₁ sf) è stato dedotto anche da prove PLT. Risultati delle prove di laboratorio delle litologie 560 e 566		

GA-T-PH-2b: Gebirgsverhaltenstyp GVT 2 / 3	
GA-T-PH-2b: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 2 / 3	
Gebirgsart : GA-T-PH-2b	
SW 265°	NE 85°
NW 355°	SE 175°
Gebirgsarten	GA-T-PH-2b: Phyllit, Chloritphyllit, Kalkphyllit, Quarzphyllit (566, 569)
Tipo di ammasso roccioso	GA-T-PH-2b: Fillade, fillade cloritica, fillade calcarea, fillade quarzifera (566, 569)
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schleifend, quer bzw. senkrecht zur Tunnelachse verlaufende Trennflächen Schieferung: subvertikal, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'AT; scistosità subverticale con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm, \nu} / \sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,32$: leicht druckhaft
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm, \nu} / \sigma_{max}$	$\geq 0,32$: poco spingente
Einfluss des Bergwassers	gering
Influenza della falda	bassa
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfimento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 2: Gefüge- u. schwerkraftbedingte Ausbrüche an durchgehenden Trennflächen GVT 3: Lokal spannungsbedingte Entfestigung in Hohlraumnähe durch Abscheren über TF Ortsbrust stabil
Comportamento dell'ammasso roccioso	TCR 2: Distacchi di blocchi dovuti alla strutt. ed alla forza di gravità lungo disc. persistenti - TCR 3: Allentamenti locali in corrisp. della cavità attraverso rottura a taglio lungo discontinui Fronte di scavo stabile
Radialdeformation	< 15 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 15 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 740 - 1010 m
Note	Coperatura: 740 - 1010 m

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart: Zentralgneis-Schiefer-1z (GA-ZG-S-1z)		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso: Gneis centrale-scisti-1z (GA-ZG-S-1z)		
Lithologie	Biotitschiefer z.T. Bitotiphyllit		
Litologia	Scisti biotitici in parte filladi biotitici		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [kN/m ³]	27,70	1,02	4
σ_{ci} [MPa] (min) ($\alpha=20-50^\circ$)			
σ_{ci} [MPa] (max) ($\alpha=50-90^\circ$)	47	33	2
m_i [-] (Hoek&Brow n) geschätzt / stimato	10		
E [MPa] aus Enax.-Druckversuch / da prova uniassiale	42.000		1
ν [-]	0,26	0,03	3
CAI [-]			
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	41	0,7	2
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S2: 180/40-60		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [*] (Vertrauenskegel)	RTF1a: 160/80	RTF3: 325/70	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2e: 085/85	RTF6: 050/80	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1a: 200-600	RTF3: 600-2000	S2: 60-200
Spaziatura delle discontinuità	RTF2e: 200-600	RTF6: 600-2000	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1a: 1-3	RTF3: 1-3	S2: 1-3
Persistenz der discontinuità	RTF2e: 1-3	RTF6: 1-3	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1a: 0	RTF3: 0	S2: 0
Apertura della discontinuità	RTF2e: 0	RTF6: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC [-]	RTF1a: 4-8	RTF3: 4-8	S2: 4-6
Rugosità delle discontinuità	RTF2e: 4-8	RTF6: 8-10	
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Aterazione delle discontinuità			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuità (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuità (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
ϕ base / ϕ res [*] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	- / 43 / -		2
c/c res [MPa] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	1,2 / -		2
Gebirgskennwerte in-Situ	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in sito	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica):	52100	15800	2
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	90	±	
RMR [-] (Bieniaw ski, 1999)	60	±	
GSI [-] (Hoek)	45	± 5	
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brow n)	2,1	0,5	4,8
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brow n)	7,3	2,0	14,0
c [MPa] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=940m / H_{max}=1490m$	2,1 / 2,8	1,2 / 1,6	2,9 / 4,8
ϕ [*] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=940m / H_{max}=1490m$	29,2 / 25,8	19,5 / 16,8	34,7 / 31,1
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek 2006)	- / 5100 / 9400	- / 2100 / 5700	- / 8900 / 21000
Charakteristische Werte / Valori caratteristici		Inputparameter / Valori di input	
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	27,7	GSI [-] - Hoek&Brow n	45
$\sigma_{ci,k}$ (Gestein / roccia) (min,max) [MPa]	30 ¹⁾	RMR [-] - Bienaw ski	60
$\sigma_{cm,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	5	σ_v ($\gamma \cdot H$, min/max) [MPa]	26,0 / 41,3
c_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] H_{min}/H_{max}	1,8 / 2,4	k_0 [-]	0,5-0,8
ϕ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [*] H_{min}/H_{max}	26 / 23		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	30000		
Bemerkungen	1) Wert mit Anisotropieeffekt korrigiert		
Note	1) Correzione effetto dell'anisotropia		

GA-ZG-S-1z: Gebirgsverhaltenstyp GVT 3 / 4.1	
GA-ZG-S-1z: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 3 / 4.1	
Gebirgsart : GA-ZG-S-1z	
SW 265°	NE 85° NW 355° SE 175°
Gebirgsarten	GA-ZG-S-1z: Zentralgneis-Schiefer-1z
Tipo di ammasso roccioso	GA-ZG-S-1z: Gneis centrale-scisiti-1z
Orientierung der Haupttrennflächen	Mäßig steil einfallende, schleifend bzw. quer zur Tunnelachse verlaufende Schieferungsflächen;
Direzione delle discontinuità principali	Scistosità a media inclinazione con direzione subparallela e trasversale all'asse della galleria;
Druckhaftigkeit σ_{cm}/σ_{max} (Hoek 2000)	$\geq 0,12$: stark druckhaft
Rapporto di sollecitazione σ_{cm}/σ_{max}	$\geq 0,12$ fortemente spingente
Einfluss des Bergwassers	Vernachlässigbar
Influenza della falda	Trascurabile
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfiamento	assente
Gebirgsverhalten	GVT-3: Abscheren über Trennflächen hinweg; lokale Ausbrüche aus der Ortsbrust; GVT-4.1: Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung, Trennflächenbedingte Ablösungen und Scherversagen an der Ortsbrust
Comportamento dell'ammasso roccioso	GVT-3: Distacchi lungo le discontinuità; distacchi locali del fronte; GVT 4.1: Profondo detensionamento, distacchi dovuti alle superfici di discontinuità e rotture da taglio nel fronte di avanzamento
Radialdeformation	< 30 cm (gemäß Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 30 cm (metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 940 - 1490 m; mittlere Prognoseunsicherheit
Note	Coperatura: 940 - 1490 m; grado d'incertezza di previsione media

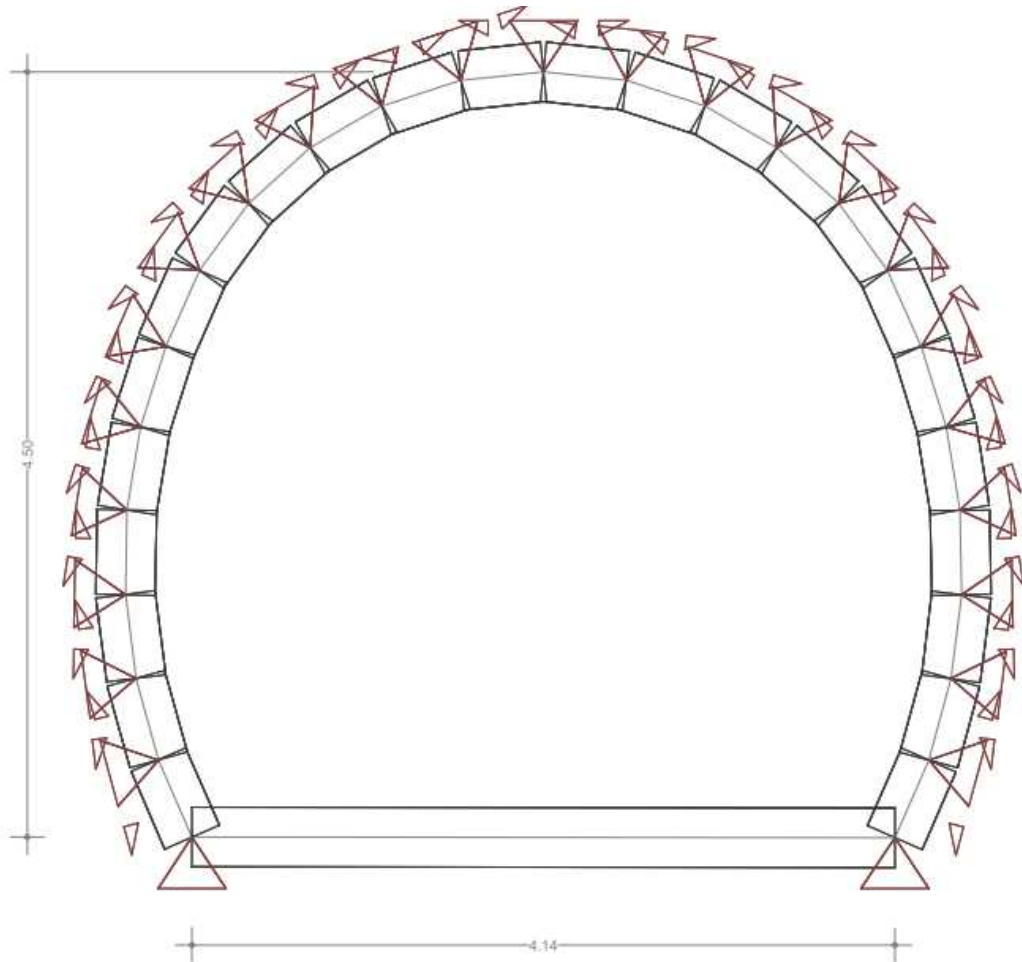
ANHANG 2 – FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

L'appendice 2 contiene le rappresentazioni grafiche dei principali input e output dell'analisi del rivestimento definitivo condotte con il programma STATIK-6, oltre alle opportune verifiche sezionali allo SLU e SLE.

PROFILO CT-A-T1-T2-T3-T3 BIS

- Struttura



- Input

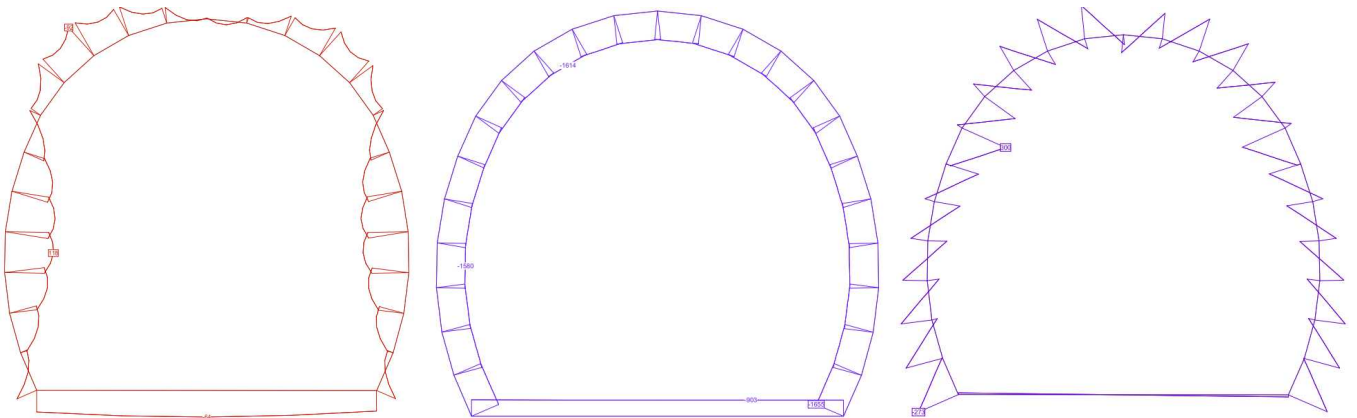
Interazione terreno-struttura

	E_k	ν	R	ℓ	f_k [MN/nc_v]	c_h
Profilo a	5500	0.3	2.6	0.5	2848	2750 1375

Lista delle azioni

	tipo	descrizione	entità [kN/m ²] , profondità 1m
6-GTG	combinazione	SLE	-
6-GTZ	combinazione	SLU	-
G1	permanente	peso proprio	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
G5	permanente	carico ammasso	$\frac{1}{2} \cdot 3\% \cdot 1000m \cdot 27 \text{ kN/m}^3 = 400 \text{ kN/m}^2$
G6-GTG	permanente	ritiro e rilasc. SLE	2.2
G6-GTZ	permanente	ritiro e rilasc. SLU	2.9
Q1	variabile	temperatura inv.	2

- Risultati



6-SLU	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	118	-1580	300
platea	-64	-903	
piedritti	-53	-903	273

6-SLE	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	87	-1169	222
platea	-48	-668	
piedritti	-39	-668	202

- Verifiche

Profil CT-a-T1-T2-T3-T3 bis

f_{ck}	f_{ctk}	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	f_{sd}	f_{yk}	γ_s
30.7	2.06	1.6	15.36	1.03	375.0	450	1.2

M-N Nachweis GZL	M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	118.0	-1580.0	1000.0	350.0	-10.3	1.3	i.O.
Sohle	-64.0	-903.0	1000.0	350.0	0.6	-5.7	i.O.	i.O.
Auflager	-53.0	-903.0	1000.0	350.0	0.0	-5.2	i.O.	i.O.

M-N Nachweis GZL	M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	87.0	-1169.0	1000.0	350.0	-7.6	0.9	i.O.
Sohle	-48.0	-668.0	1000.0	350.0	0.4	-4.3	i.O.	i.O.
Auflager	-39.0	-668.0	1000.0	350.0	0.0	-3.8	i.O.	i.O.

Sohle		n	σ	s	As	M_Rd [kNm]
mind. Bew.	375		2.0	10.0	0.300	523.6
rad. Bew.	ok		2.0	12.0	0.150	1508.0
long. Bew.	ok	603	2.0	10.0	0.300	523.6
76.0						
Gewölbe		n	σ	s	As	M_Rd [kNm]
mind. Bew.	375		2.0	10.0	0.300	523.6
rad. Bew.	ok		2.0	14.0	0.150	2052.5
long. Bew.	ok	821	2.0	12.0	0.250	904.8
101.4						

O Nachweis GZL	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	f_cvd	V_Rd [kN]
		300.0	350.1	-10.3	1.3	4.51	7.14	-2.63	2.39

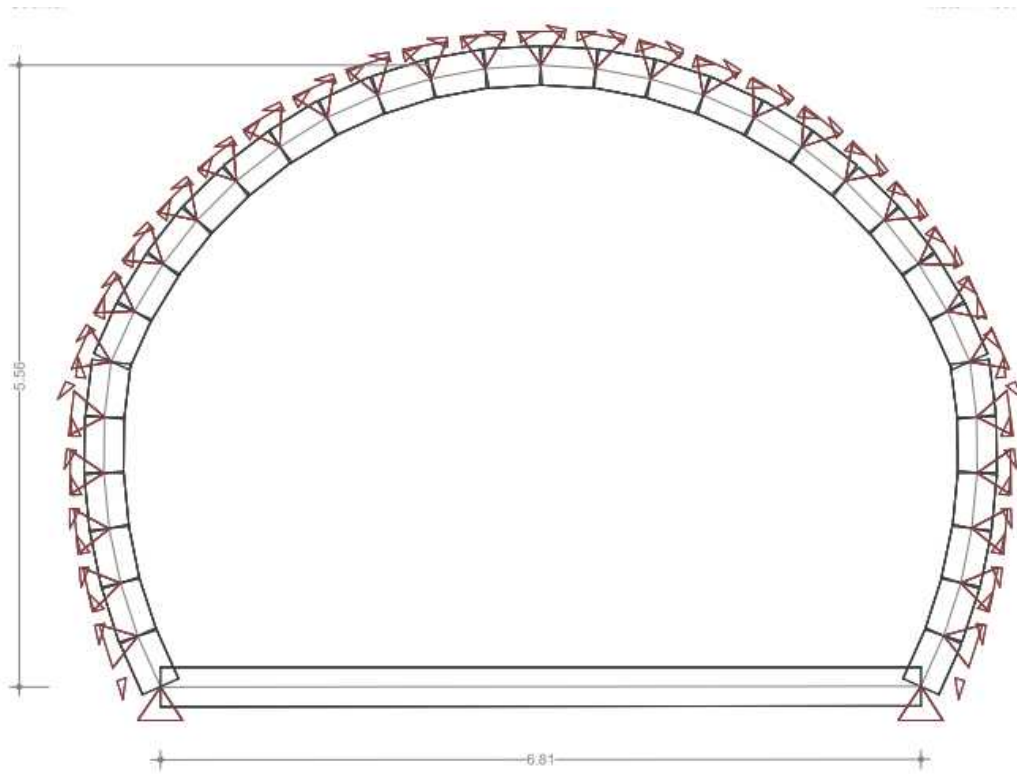
O Nachweis GZL	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	f_cvd	V_Rd [kN]
		222.0	350.1	-7.6	0.9	3.34	7.14	-3.80	2.12

- Armature

CT-a-T1-T2-T3-T3 bis				
	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio
Calotta	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Piedritti	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Platea	35 cm	2 ϕ 12/150	2 ϕ 10/300	-

PROFILO CT-B-T1-T2-T3-T3 BIS

- Struttura



- Input

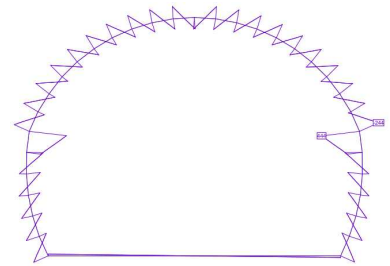
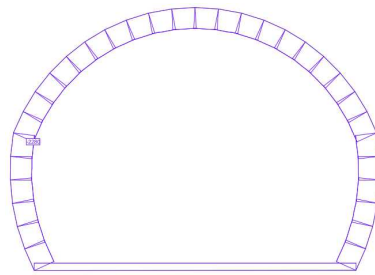
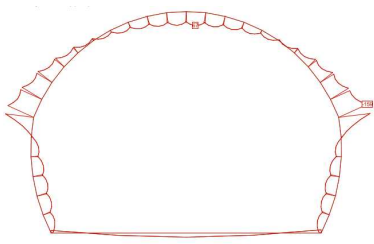
Interazione terreno-struttura

	E_k	ν	R	ℓ	f_k [MN/nc_v]	c_h
Profilo a	5500	0.3	4.5	0.5	1645	2750 1375

Lista delle azioni

	tipo	descrizione	entità [kN/m ²] , profondità 1m
6-GTG	combinazione	SLE	-
6-GTZ	combinazione	SLU	-
G1	permanente	peso proprio	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
G5	permanente	carico ammasso	$\frac{1}{2} \cdot 3\% \cdot 1000m \cdot 27kN/m^3 = 400kN/m^2$
G6-GTG	permanente	ritiro e rilasc. SLE	2.2
G6-GTZ	permanente	ritiro e rilasc. SLU	2.9
Q1	variabile	temperatura inv.	2

- Risultati (Statik-6)



6-SLU	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	-159	-228	244
platea	-20	-771	
piedritti	13	-771	444

6-SLE	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	-118	-1666	182
platea	-16	-570	
piedritti	11	-570	328

- Verifiche

Profil CT-b-T1-T2-T3-T3 bis

f_{ck}	f_{ctk}	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	f_{sd}	f_{yk}	γ_s
30.7	2.06	1.6	15.36	1.03	375.0	450	1.2

MN Nachweis GZI	M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	-159.0	-228.0	1000.0	350.0	7.1	-8.4	i.O.
Sohle	-20.0	-771.0	1000.0	350.0	-1.2	-3.2	i.O.	i.O.
Auflager	13.0	-771.0	1000.0	350.0	-2.8	-1.6	i.O.	i.O.

MN Nachweis GTC	M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	-118.0	-1666.0	1000.0	350.0	1.0	-10.5	i.O.
Sohle	-16.0	-570.0	1000.0	350.0	-0.8	-2.4	i.O.	i.O.
Auflager	11.0	-570.0	1000.0	350.0	-2.2	-1.1	i.O.	i.O.

Bewehrung	Sohle							M_{Rd} [kNm]	
	mind.Bew.	n	\emptyset	s	A_s				
rad. Bew.	375		2.0	10.0	0.300	523.6		38.7	
long. Bew.	ok	302	2.0	10.0	0.300	523.6			
mind.Bew.	375		2.0	12.0	0.150	2052.5			
Gewölbe									
Bewehrung	mind.Bew.	n	\emptyset	s	A_s			M_{Rd} [kNm]	
	rad. Bew.	375		2.0	12.0	0.250	904.8		101.4
	long. Bew.	ok	821	2.0	12.0	0.250	904.8		

O Nachweis GZI	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	f_{cvd}	V_{Rd} [kN]
		244.0	323.2	7.1	-8.4	0.65	7.14	-6.49	1.32

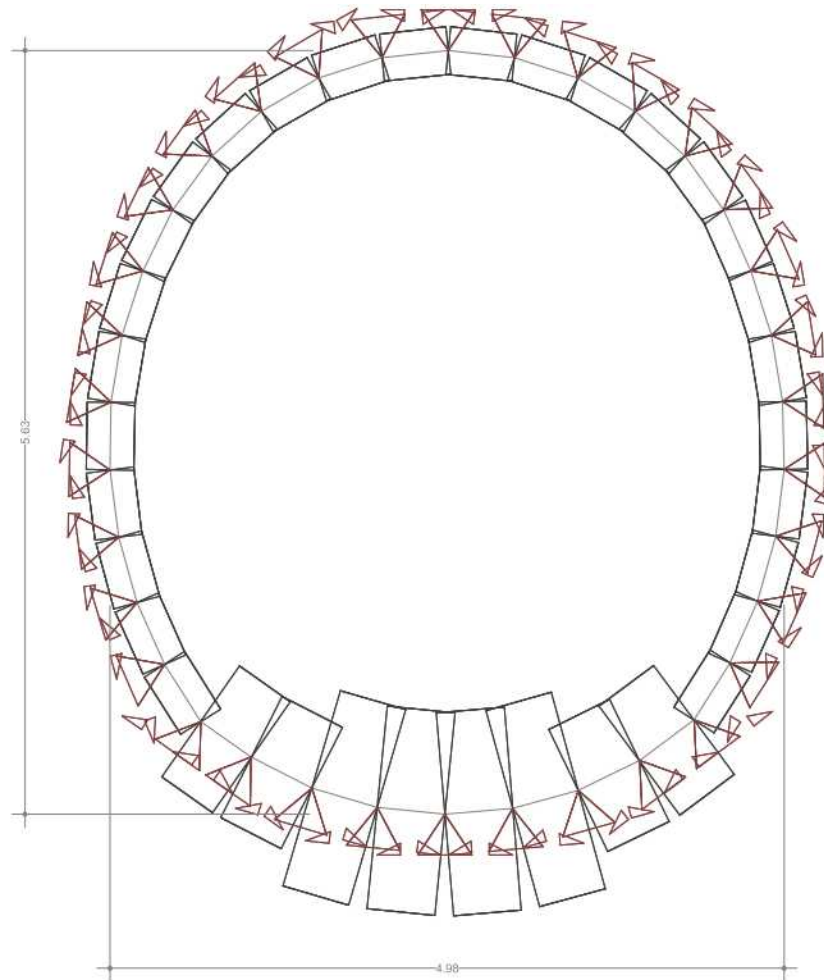
O Nachweis GTC	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	f_{cvd}	V_{Rd} [kN]
		182.0	349.9	1.0	-10.5	4.76	7.14	-2.38	2.44

- Armature

	CT-b-T1-T2-T3-T3 bis			
	Calcestruzzo	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio
Calotta	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Piedritti	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Platea	35 cm	2 ϕ 12/150	2 ϕ 10/300	-

PROFILO CT-A-T4-T5

- Struttura



- Input

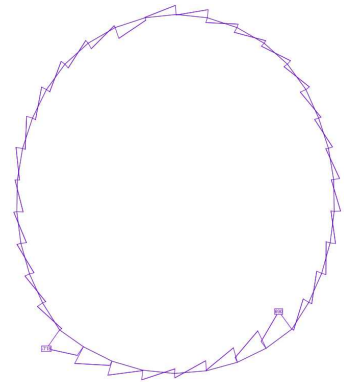
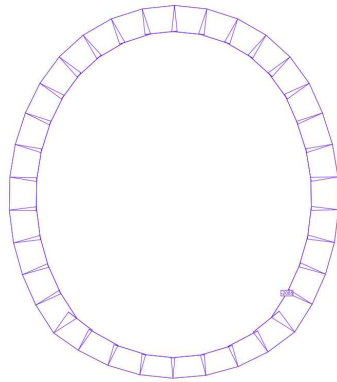
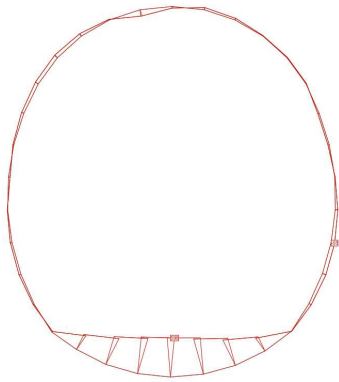
Interazione terreno-struttura

	E_k	ν	R	ℓ	f_k [MN/nc_v]	c_h
Profilo a	6000	0.3	2.6	0.5	3107	3000 1500

Lista delle azioni

	tipo	descrizione	entità [kN/m ²] , profondità 1m
8-GTG	combinazione	SLE	-
8-GTZ	combinazione	SLU	-
G1	permanente	peso proprio	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
G5	permanente	carico ammasso	$\frac{1}{2} \cdot 3\% \cdot 1000m \cdot 27kN/m^3 = 400kN/m^2$
G6-GTG	permanente	ritiro e rilasc. SLE	2.2
G6-GTZ	permanente	ritiro e rilasc. SLU	2.9
G7	permanente	rigonfiamento	300
Q1	variabile	temperatura inv.	2

• Risultati



8-SLU	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	98	-2002	356
platea	596	-1543	
piedritti	-38	-2085	718

8-SLE	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	73	-1437	264
platea	442	-1140	
piedritti	-28	-1544	532

• Verifiche

HB3 - Profil 1a							
QUELLEN 0.3 MPa							

f_{ck}	f_{ctk}	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	f_{sd}	f_{yk}	γ_s
30.7	2.06	1.6	15.36	1.03	375.0	450	1.2

M-N Nachweis GZL		M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	98.0	-2002.0	1000.0	350.0	-10.5	-0.9	i.O.	i.O.
	Sohle	596.0	-1543.0	1000.0	850.0	-6.8	3.1	i.O.	i.O.

M-N Nachweis GTC		M_d [kNm]	N_d [kN]	b	h	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	Nachweis σ_1	Nachweis σ_2
	Gewölbe	73.0	-1437.0	1000.0	350.0	-7.7	-0.5	i.O.	i.O.
	Sohle	442.0	-1140.0	1000.0	850.0	-5.0	2.3	i.O.	i.O.

Bewehrung	Sohle							
			n	σ	s	A_s		M_{Rd} [kNm]
	mind. Bew.	911		2.0	10.0	0.300	523.6	
	rad. Bew.	ok		2.0	20.0	0.150	4188.8	584.7
	long. Bew.	ok	838	2.0	14.0	0.300	1026.3	
	Gewölbe							
			n	σ	s	A_s		M_{Rd} [kNm]
	mind. Bew.	375		2.0	12.0	0.250	904.8	
	rad. Bew.	ok		2.0	14.0	0.150	2052.5	101.4
	long. Bew.	ok	411	2.0	10.0	0.300	523.6	

Q Nachweis GZL	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	$f_{c,vd}$	V_{Rd} [kN]
	356.0	350.0	-10.5	-0.9	5.72	7.14	7.14	-1.42	2.64
	0.0	850.3	-6.8	3.1	1.82	7.14	7.14	-5.33	1.71

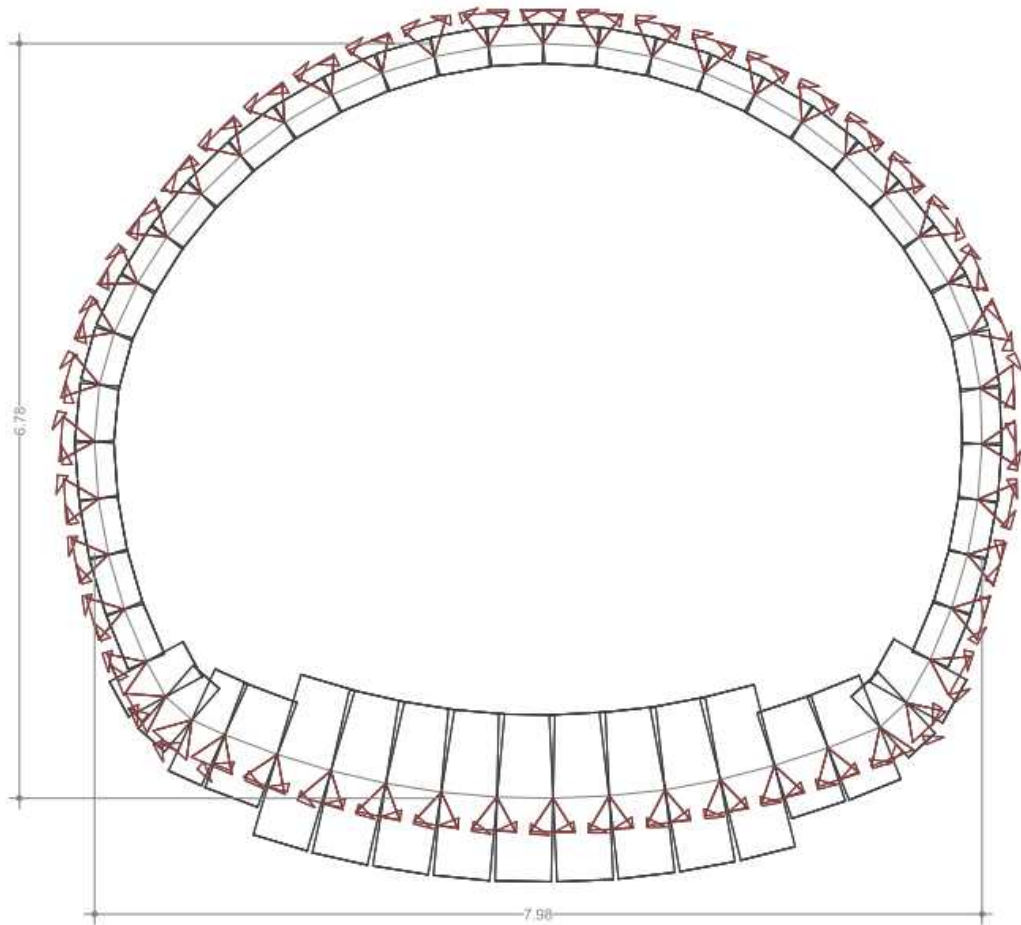
Q Nachweis GTC	V_d [kN]	x [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}$	δ	$f_{c,vd}$	V_{Rd} [kN]
	264.0	350.0	-7.7	-0.5	4.11	7.14	7.14	-3.04	2.30
	0.0	850.6	-5.0	2.3	1.34	7.14	7.14	-5.80	1.56

• Armature

	CT-a-T4-T5			
	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio
Calotta	35 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Piedritti	100 cm	2 ϕ 14/150	2 ϕ 12/250	-
Platea	120 cm	2 ϕ 18/150	2 ϕ 16/300	-

PROFILO CT-B-T4-T5

- Struktur



- Input

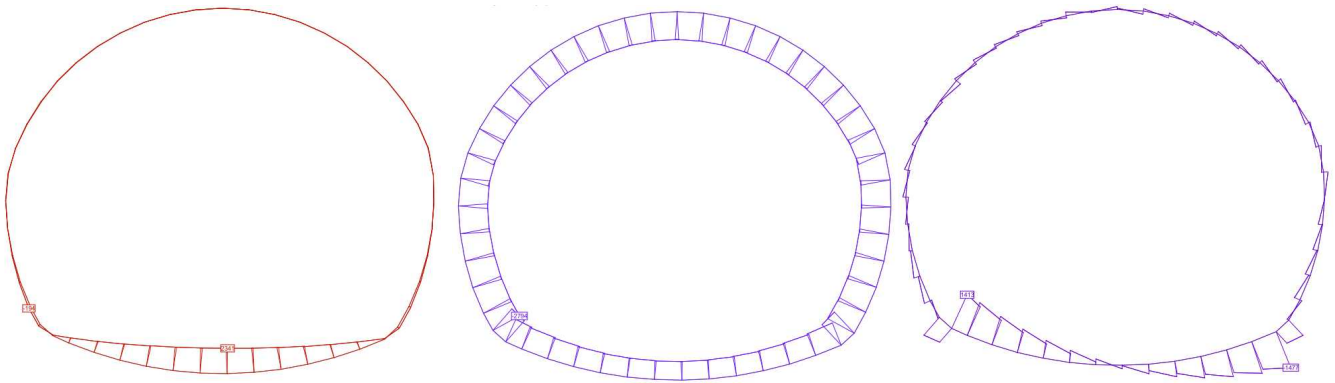
Interazione terreno-struttura

	E_k	v	R	ℓ	f_k [MN/nc_v]	c_h
Profilo a	6000	0.3	4.5	0.5	1795	3000 1500

Lista delle azioni

	tipo	descrizione	entità [kN/m ²], profondità 1m
8-GTG	combinazione	SLE	-
8-GTZ	combinazione	SLU	-
G1	permanente	peso proprio	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
G5	permanente	carico ammasso	$\frac{1}{2} \cdot 3\% \cdot 1000m \cdot 27kN/m^3 = 400kN/m^2$
G6-GTG	permanente	ritiro e rilasc. SLE	2.2
G6-GTZ	permanente	ritiro e rilasc. SLU	2.9
G7	permanente	rigonfiamento	300
Q1	variabile	temperatura inv.	2

- Risultati

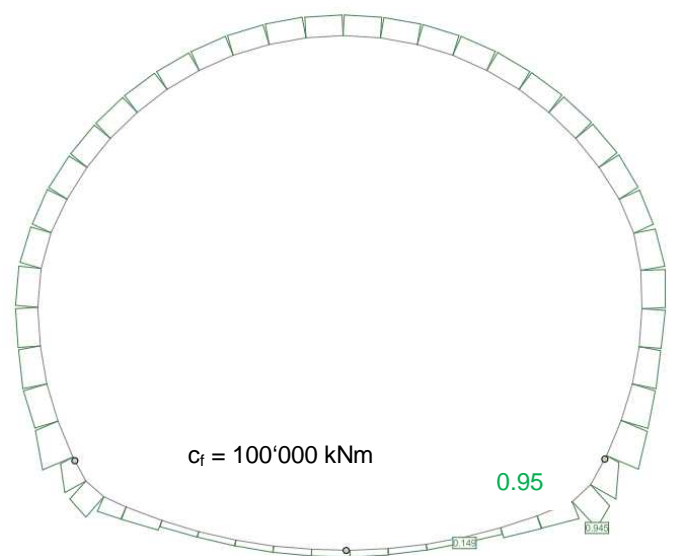
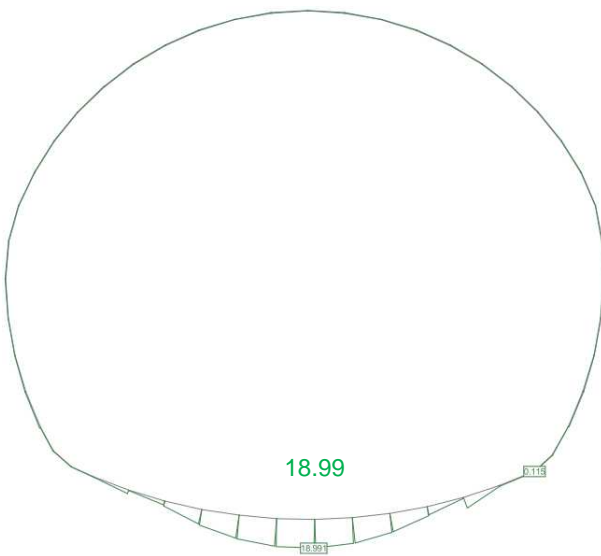


8-SLU	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	40	-2577	242
platea	2341	-1076	
piedritti	-194	-2794	1477

8-SLE	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	30	-1909	147
platea	1733	-1263	
piedritti	-144	-2069	1094

- Sfruttamento M/N della sezione

Formazione 3 cerniere plastiche



- Risultati

8-SLU	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	35	-4037	201
platea	451	-4315	
piedritti	-1201	-4914	1868

8-SLE	M [kNm]	N [kN]	V [kN]
calotta	26	-3016	149
platea	335	-3198	
piedritti	-890	-3639	1383

• Verifiche

HB3 - Profil 2a							
QUELLEN 0.3 MPa							
3 plastische Gelenke							

f _{ck}	f _{ctk}	γ _c	f _{cd}	f _{ctd}	f _{sd}	f _{yk}	γ _s
30.7	2.06	1.6	15.36	1.03	375.0	450	1.2

M/N Nachweis <u>GZI</u>	M _d [kNm]	N _d [kN]	b	h	σ ₁ [N/mm ²]	σ ₂ [N/mm ²]	Nachweis σ ₁	Nachweis σ ₂
	Gewölbe	35.0	-4037.0	1000.0	350.0	-13.2	-9.8 i.O.	i.O.
	Sohle	451.0	-4315.0	1000.0	1200.0	-5.5	-1.7 i.O.	i.O.
	Auflager	-1201.0	-4914.0	1000.0	1000.0	2.3	-12.1 i.O.	i.O.

M/N Nachweis <u>GTC</u>	M _d [kNm]	N _d [kN]	b	h	σ ₁ [N/mm ²]	σ ₂ [N/mm ²]	Nachweis σ ₁	Nachweis σ ₂
	Gewölbe	26.0	-3016.0	1000.0	350.0	-9.9	-7.3 i.O.	i.O.
	Sohle	335.0	-3198.0	1000.0	1200.0	-4.1	-1.3 i.O.	i.O.
	Auflager	-890.0	-3639.0	1000.0	1000.0	1.7	-9.0 i.O.	i.O.

Bewehrung	Sohle							
			n	ø	s	As		M _{Rd} [kNm]
	mind.Bew.	1285		2.0	16.0	0.150	1340.4	
	rad. Bew.	ok		2.0	20.0	0.150	4188.8	859.6
	long. Bew.	ok	838	2.0	16.0	0.300	1340.4	
	Gewölbe							
			n	ø	s	As		M _{Rd} [kNm]
	mind.Bew.	375		2.0	12.0	0.250	904.8	
	rad. Bew.	ok		2.0	16.0	0.150	2680.8	129.5
	long. Bew.	ok	536	2.0	12.0	0.250	904.8	

Q Nachweis <u>GZI</u>	V _d [kN]	x [mm]	σ ₁ [N/mm ²]	σ ₂ [N/mm ²]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim}	δ	f _{cvd}	V _{Rd} [kN]
	201.0	350.0	-5.5	-1.7	3.60	7.14	7.14	-3.55	2.18
	1868.0	1000.0	2.3	-12.1	4.91	7.14	7.14	-2.23	2.47

Q Nachweis <u>GTC</u>	V _d [kN]	x [mm]	σ ₁ [N/mm ²]	σ ₂ [N/mm ²]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim}	δ	f _{cvd}	V _{Rd} [kN]
	149.0	350.0	-4.1	-1.3	2.665	7.14	7.14	-4.48	1.95
	1383.0	1000.0	1.7	-9.0	3.639	7.14	7.14	-3.50	2.19

Bewehrung	Q-Bew.							
		V _d [kN/.25m]	n	ø	s	As		V _{Rd} [kN]
	Auflager	467.0		2.0	16.0	0.250	1608.5	434.3

- Armature

CT-b-T4-T5				
	Calcestruzzo C30/37	Arm.rad	Arm.long	Arm.taglio
Calotta	35 cm	2 ϕ 16/150	2 ϕ 12/250	-
Piedritti	100 cm	2 ϕ 16/150	2 ϕ 12/250	2 ϕ 16/250
Platea	120 cm	2 ϕ 20/150	2 ϕ 16/300	-

ANHANG 3 - BLOCKANALYSE

APPENDICE 3 - ANALISI DEI BLOCCHI

L'appendice 3 riporta i risultati delle analisi a blocchi condotte con il programma di calcolo UNWEDGE 3.0. Nelle tabelle è riportato il fattore di sicurezza minimo per ciascuna terna di discontinuità caratterizzanti le singole tratte omogenee mentre in forma grafica sono riportati solo i risultati della terna di discontinuità più gravosa.

Legenda:

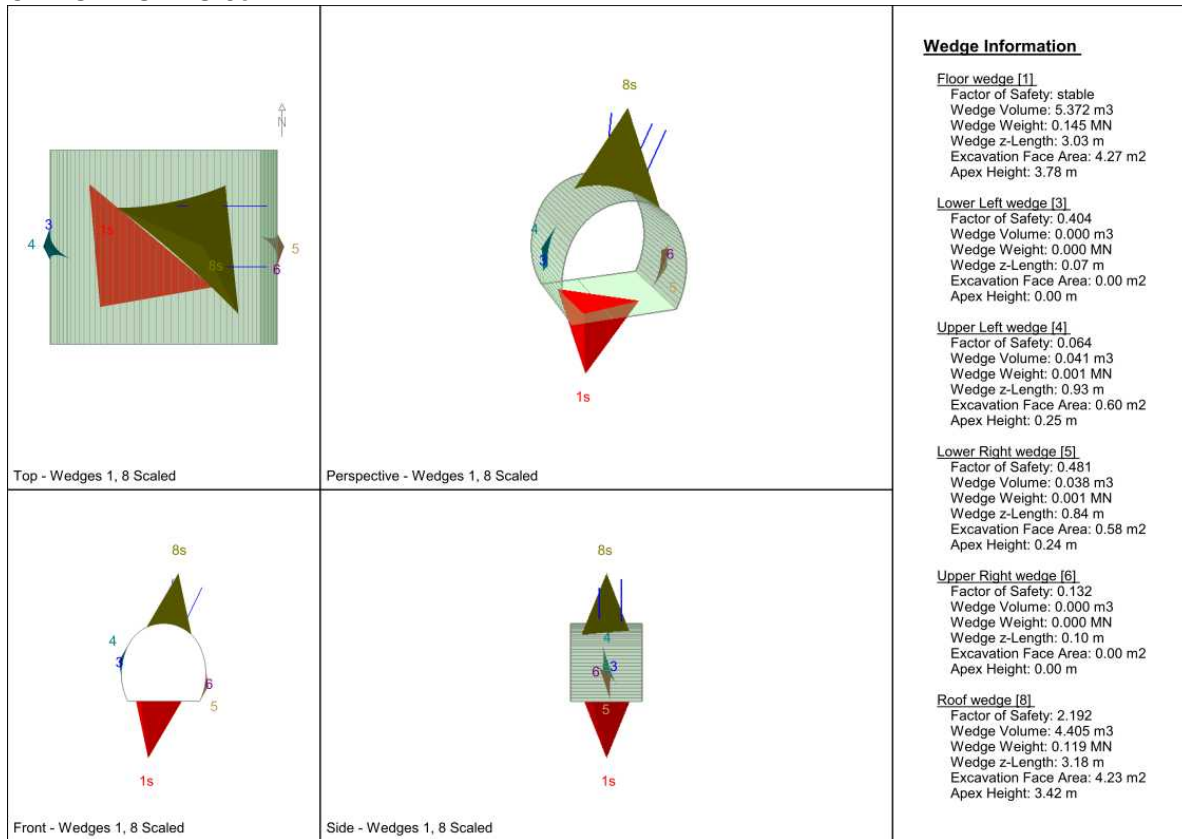
- RW = Roof Wedge
- SL = wedge Side Left
- RL wedge Side Right

Profilo CTa

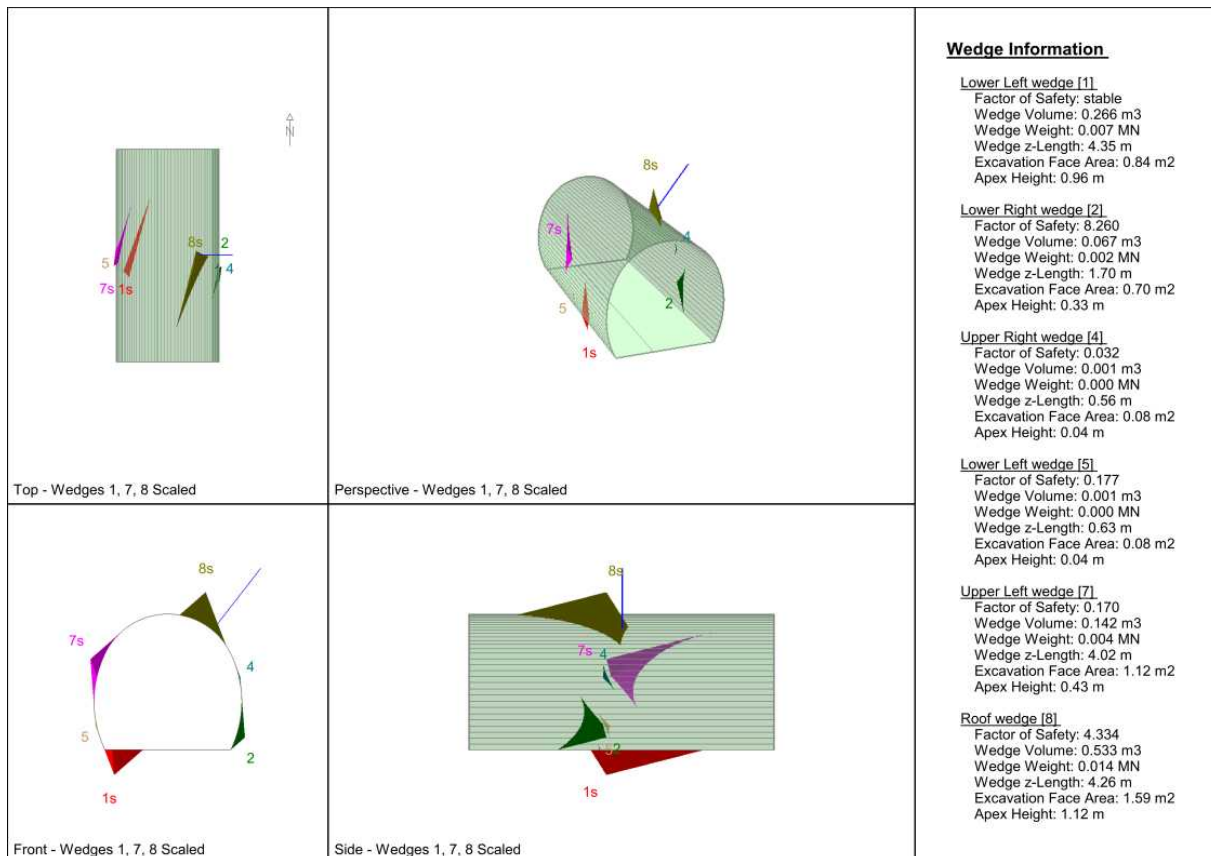
	cavo							fronte	
	Joint Comb.	Wedge	Weight	T2	T3/bis	T3	T4/T5	Weight	SF
OB2									
<u>GA-BST-KS-8e</u>	135	RW	0.119		2.19			0.021	14.05
	234	RW	0.117		1.54			0.03	16.37
	345	RW	0.097		2.04			0	0
<u>GA-BST-KS-8f</u>	234	RW	0.014	4.33				0.016	13.8
	123	RW	0.009	7				0.064	7.41
OB4									
<u>GA-BS-KS-4b</u>	156	RW	0.026			7.66		0.001	889.05
		SL	0.55			4.47			
	136	SL	0.019			15.69		0.01	1217.09
		SR	0.013			5.25			
		RW	0.006			16		0.008	240.73
<u>GA-BS-KS-4c</u>	234	RW	0.056			3.35		0.012	16.96
		RW	0.042			2.23		0.05	8.56
	345	RW	0.006			16.55		0.054	70.72
		RW	0.104			1.71		0.01	18.31
<u>GA-BS-GM-5c</u>	145	RW	0.078			1.25		0.086	9.7
	234	RW	0.019			8.66		0.013	15.3
OB6									
<u>GA-ZG-G-1z</u>	123	RW	0.058		2.22			0.013	35.58
	134	RW	0.021		4.72			0.005	50.24
<u>GA-ZG-G-1b</u>	235	RW	0.118		2.8			0.024	20.22
	123	RW	0.058		2.79			0.013	32.58
	345	RW	0.053		1.3			0.026	14.77

	cavo							fronte	
	Joint Comb.	Wedge	Weight	T2	T3/bis	T3	T4/T5	Weight	SF
OB5									
<u>GA-UST-PH-2b</u>	134	RW	0.005				32.21	0.037	15.86
		SL	0.033				111.15		
	345	RW	0.003				28.82	0.007	31.1
	235	RW	0.002				42.93	0.011	20.1
OB3									
<u>GA-T-PH-6</u>	245	RW	0.004				20.16	0.022	35.89
	125	RW	0.004				39.67	0.005	141.65
	123	RW	0.003				22.16	0.005	190.17
<u>GA-T-PH-6a</u>	134	RW	0.004				22.3	0.01	20.8
	123	RW	0.003				27.59	0.013	17.45
	125	RW	0.002				46.56	0.015	15.55

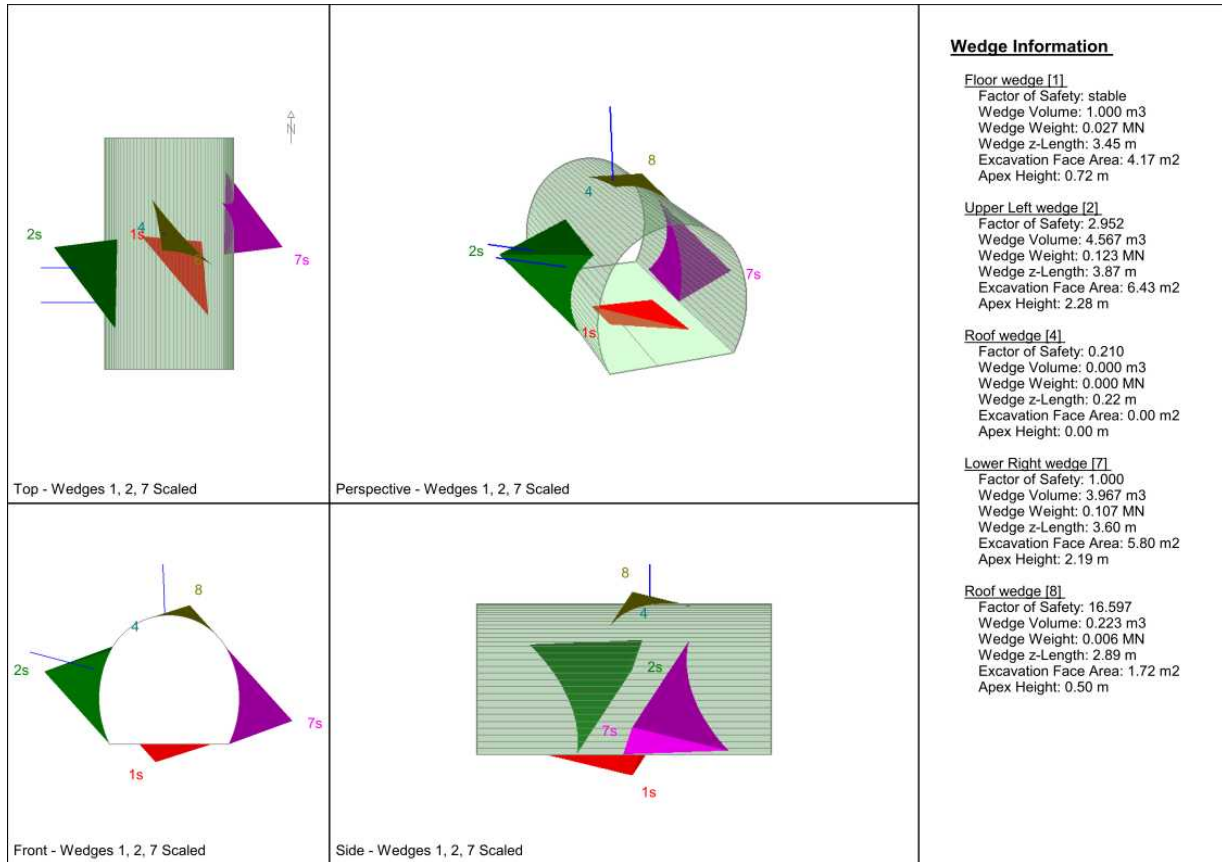
OB2-GA-BST-KS-8e



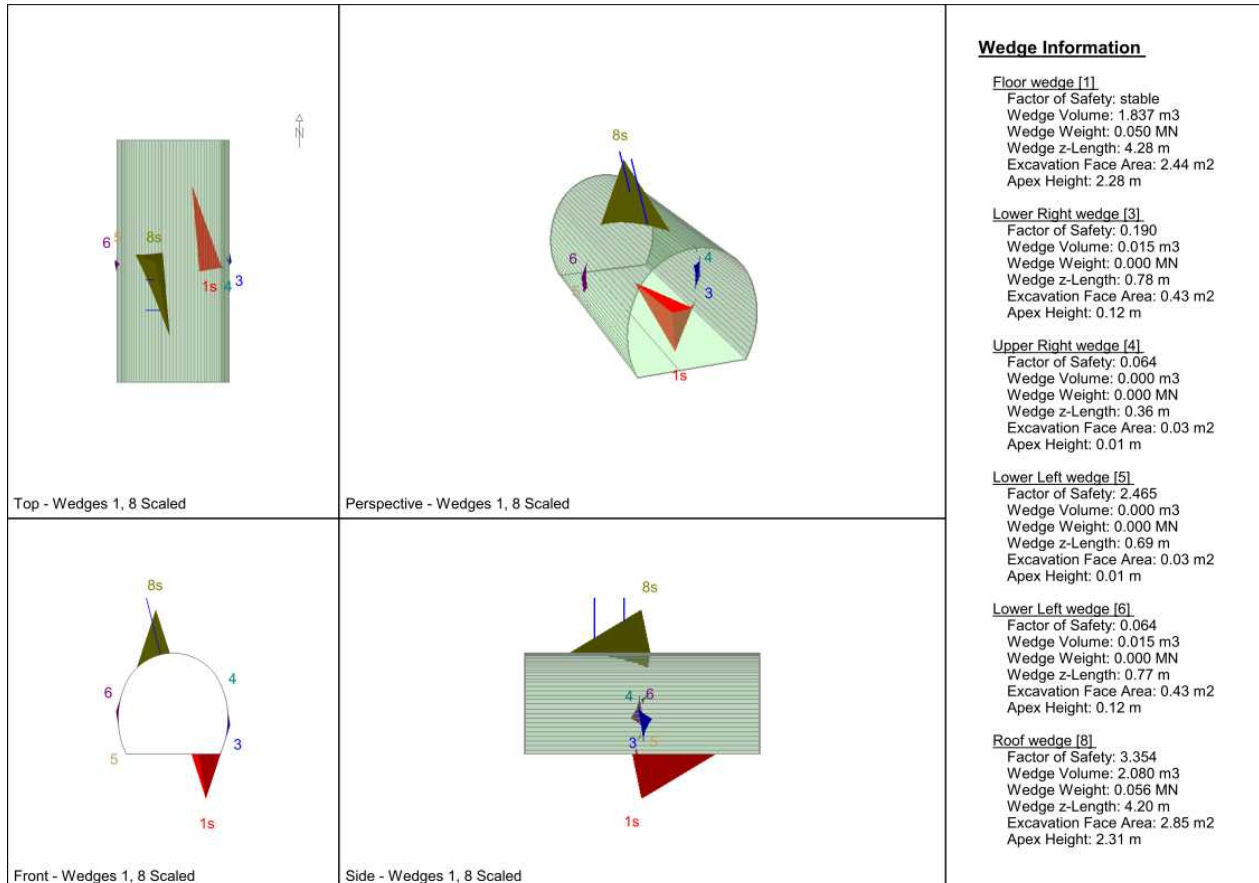
OB2-GA-BST-KS-8f



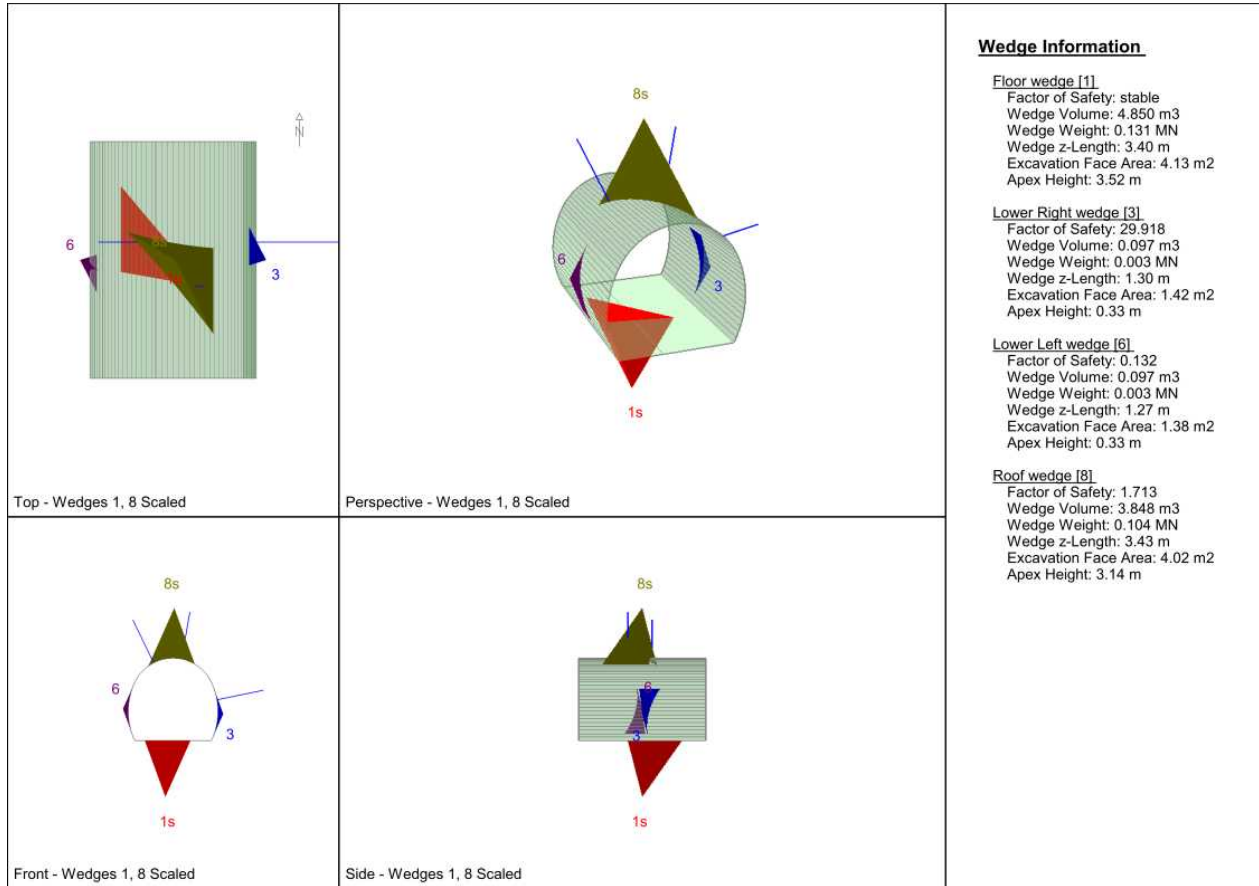
OB4-GA-BS-KS-4b



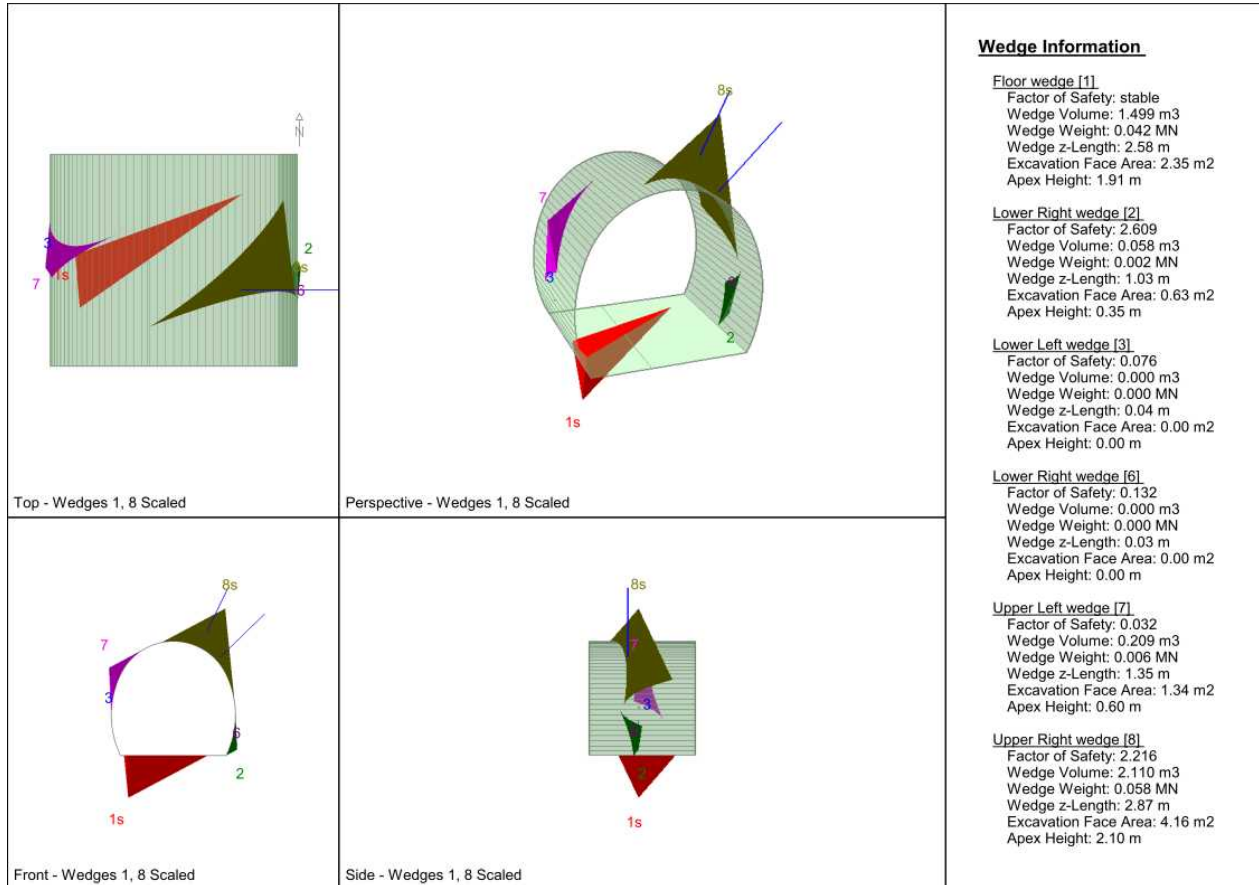
OB4-GA-BS-KS-4c



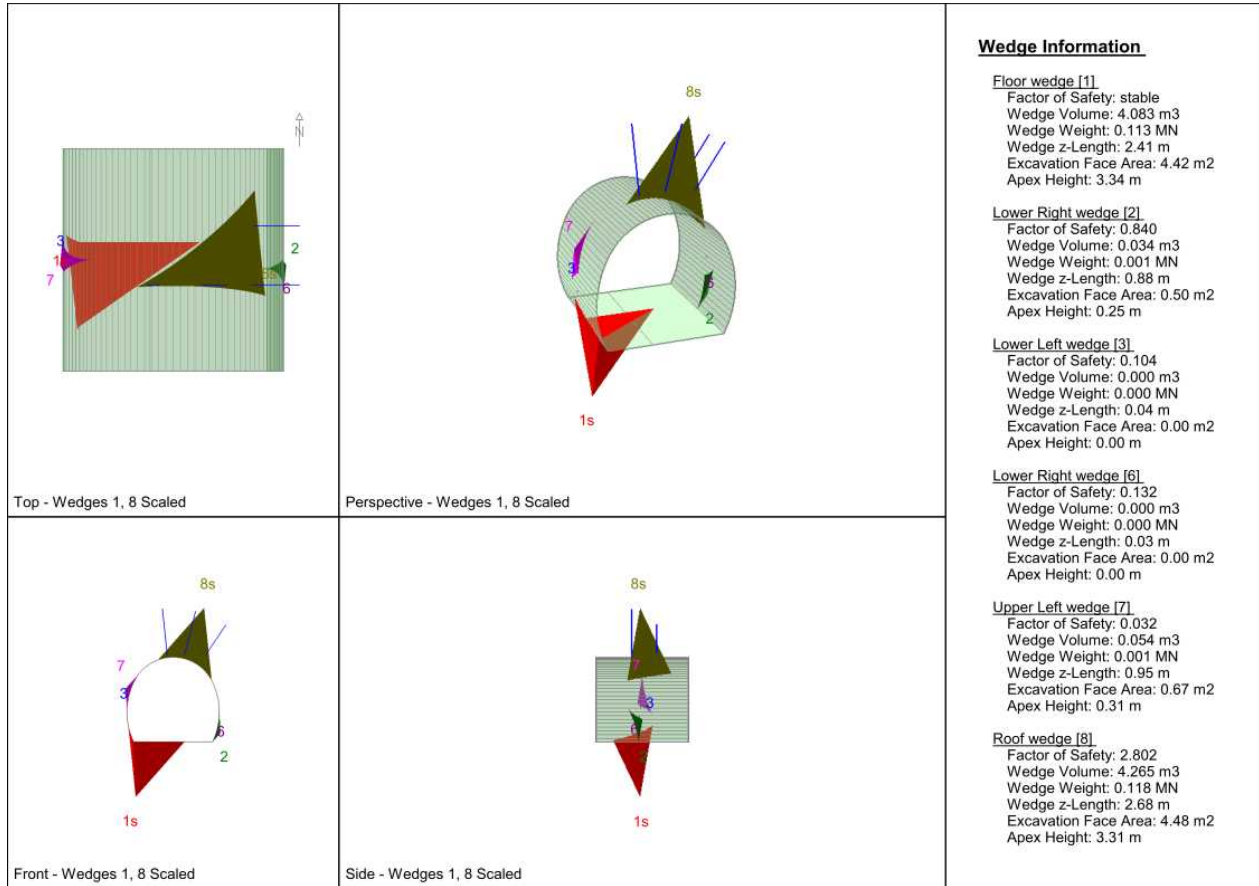
OB4-GA-BS-GM-5c



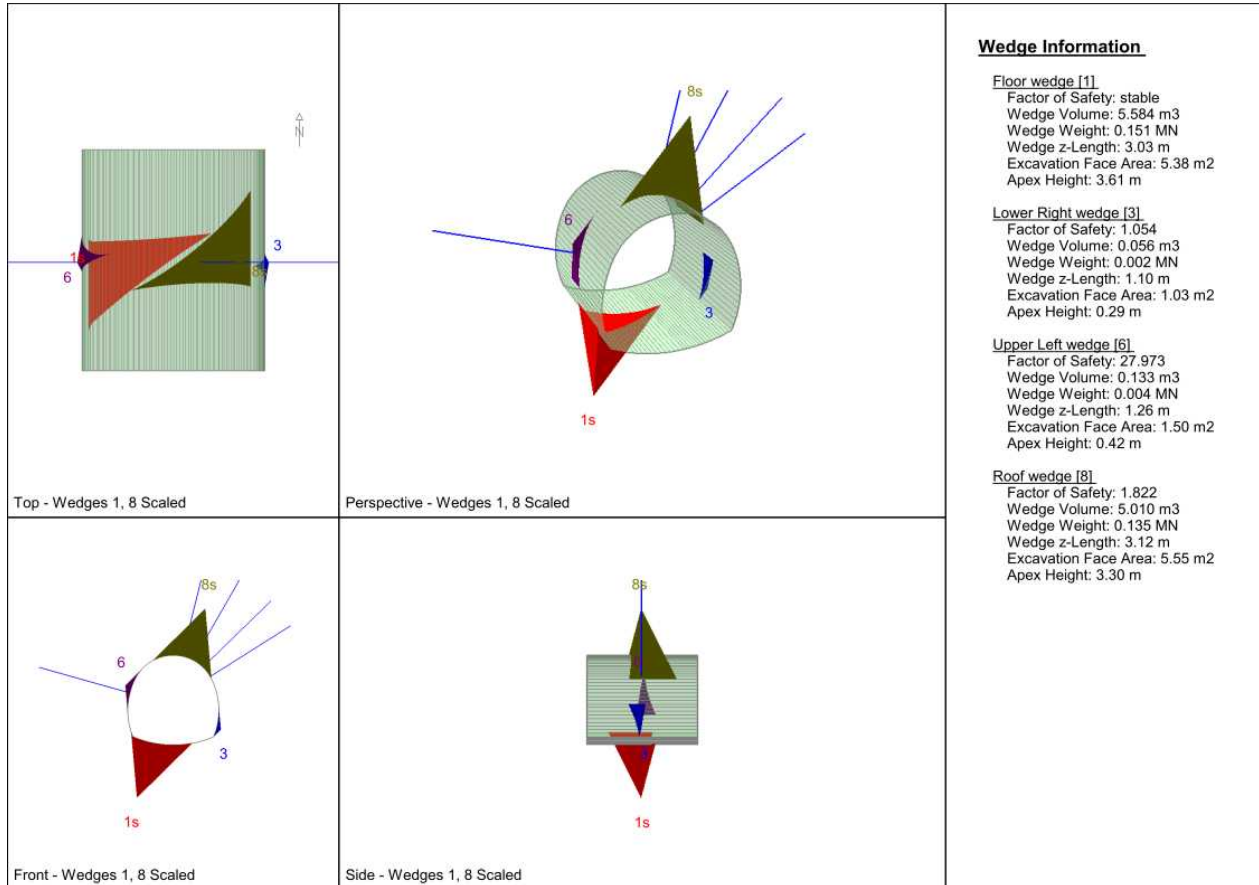
OB6-GA-ZG-G-1z



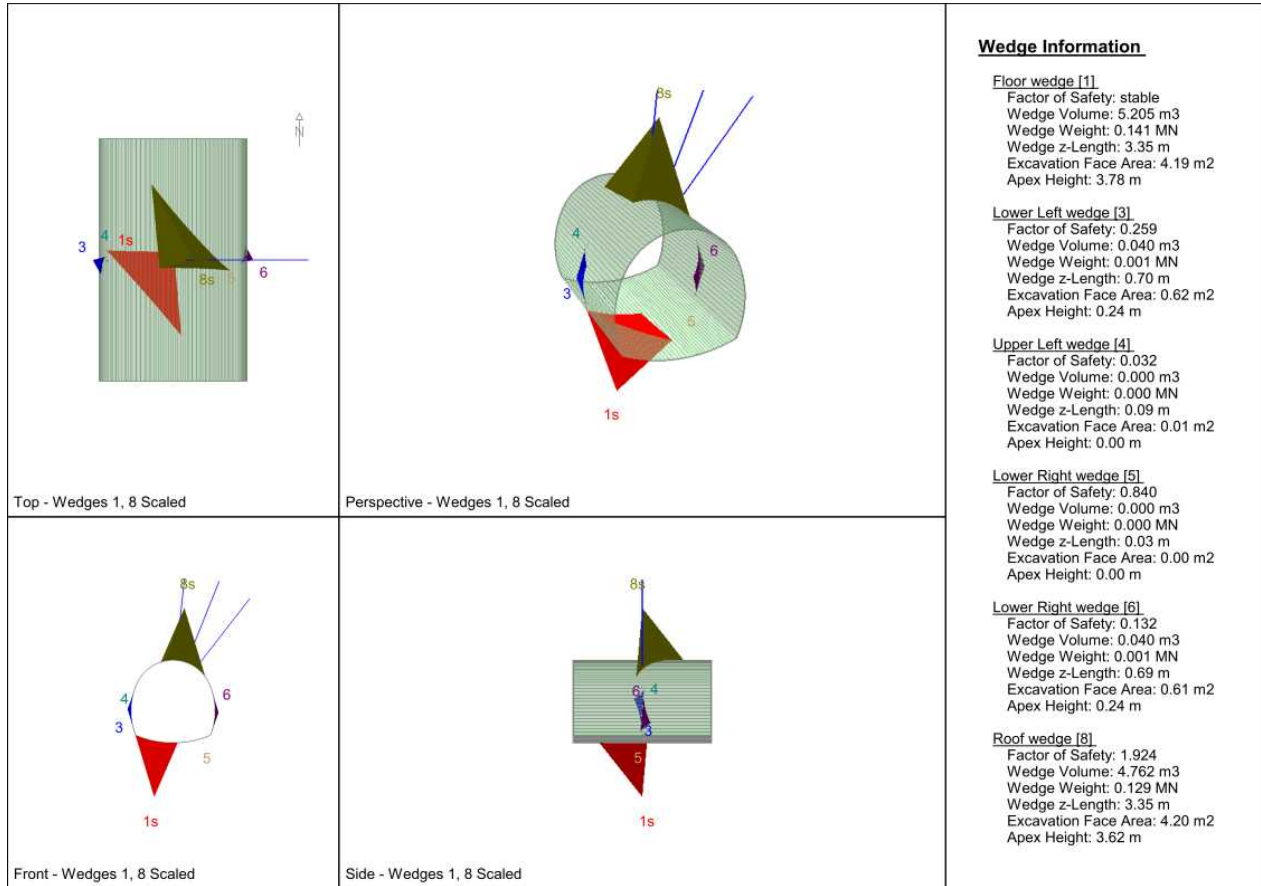
OB6-GA-ZG-G-1b



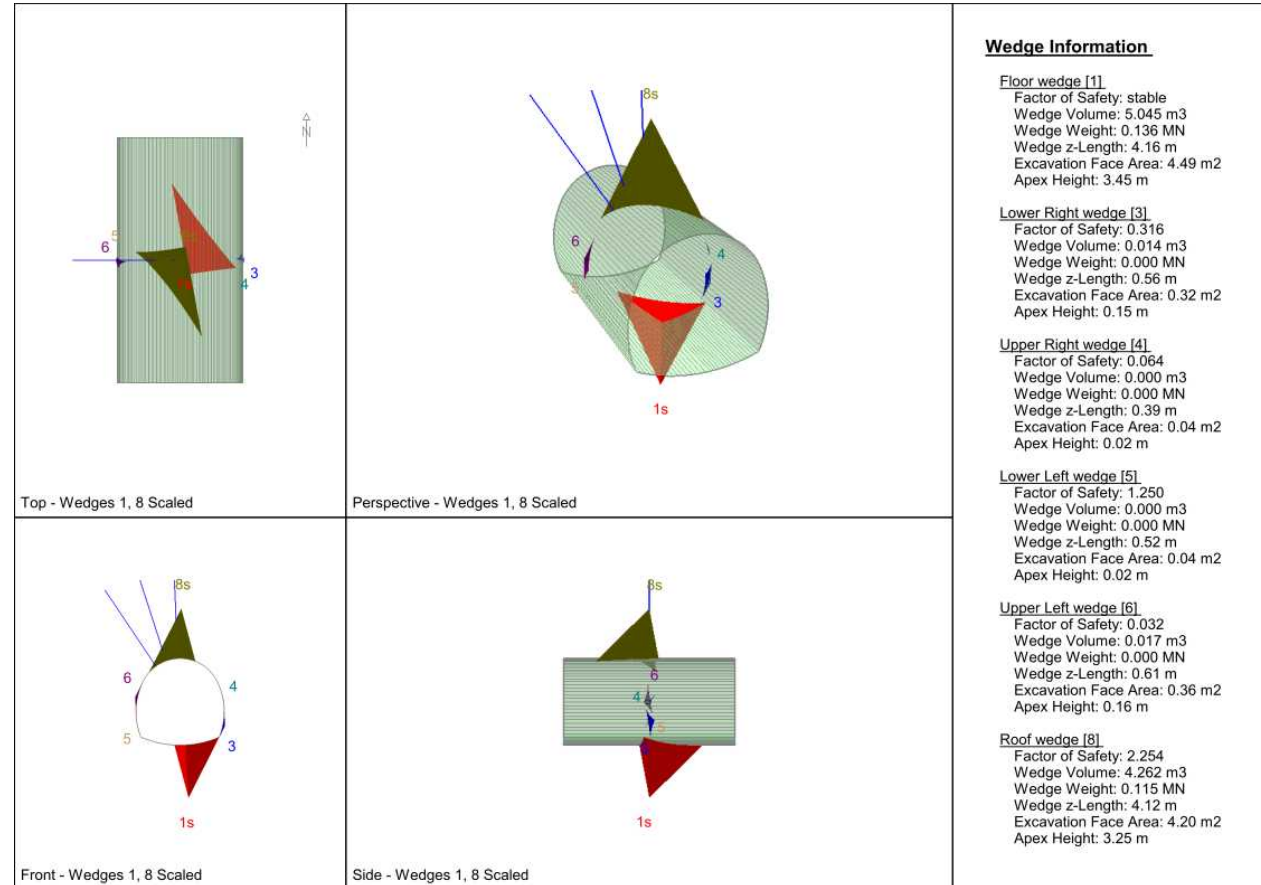
HB5-GA-UST-PH-2b



OB3-GA-T-PH-6



OB3-GA-T-PH-6a

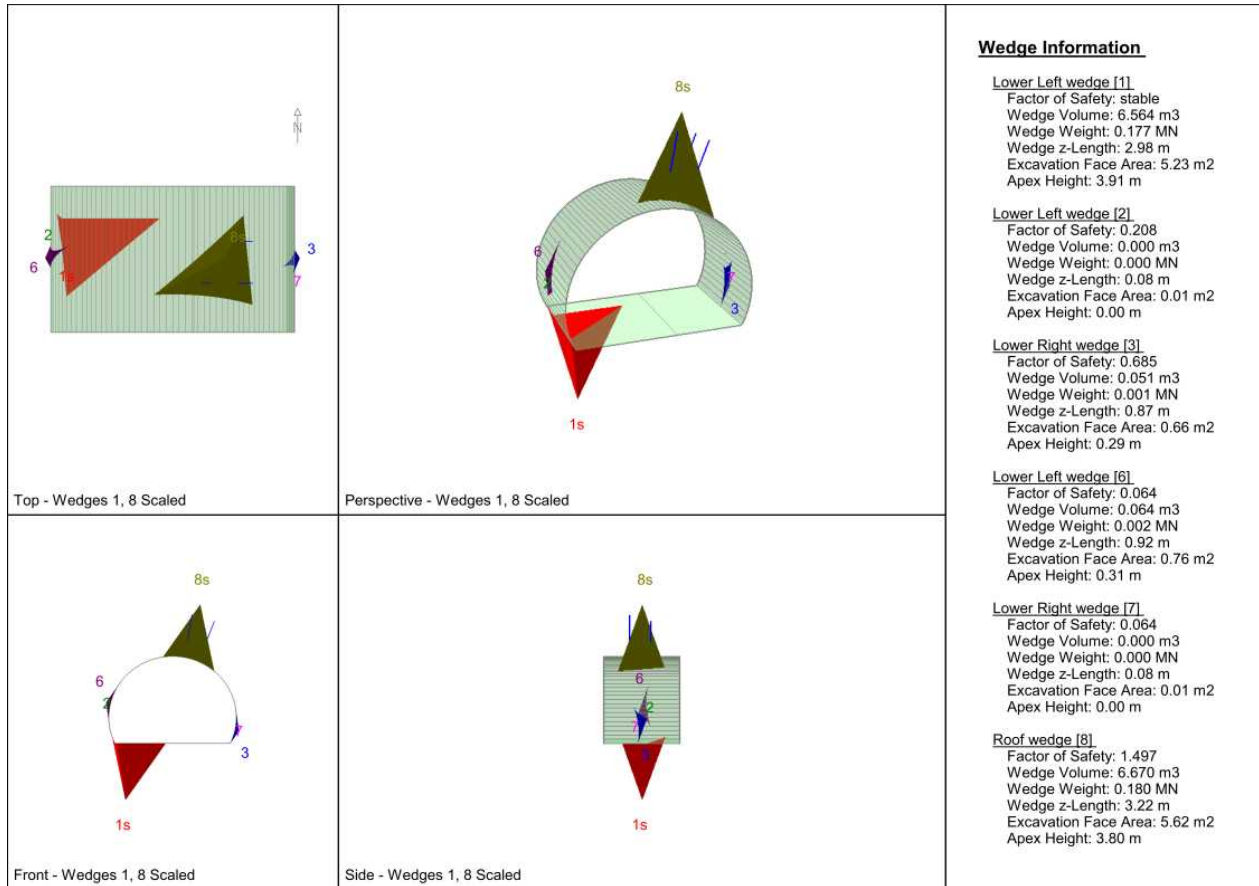


Profilo CTb

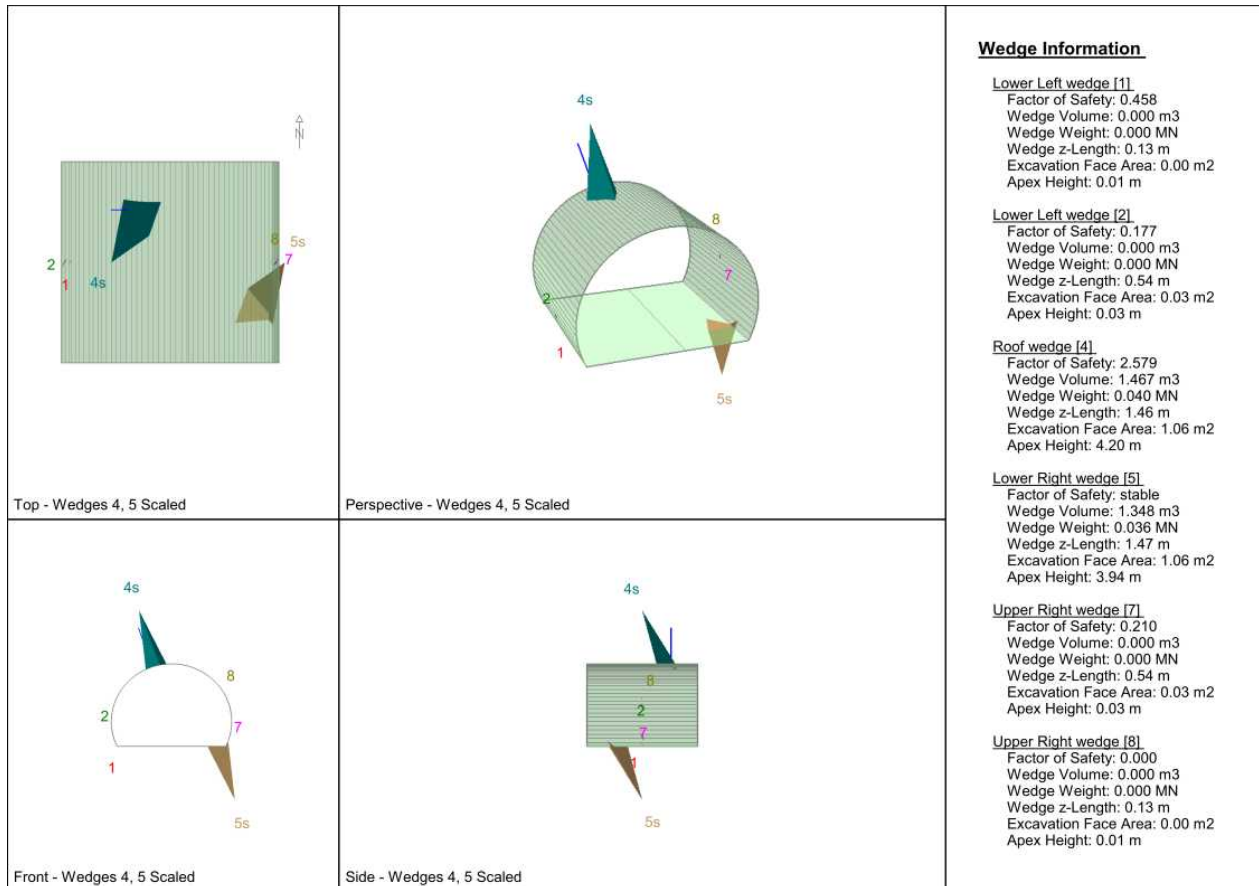
	cavo							fronte	
	Joint Comb.	Wedge	Weight	T2	T3/bis	T3	T4/T5	Weight	SF
HB2									
GA-BST-KS-8e	234	RW	0.18		1.5			0.041	13.52
	135	RW	0.173		1.56			0.029	11.6
	345	RW	0.126		1.54			0	0
GA-BST-KS-8f	134	RW	0.04	2.58				0.054	9.43
	123	SR	0.015	5.32				0.088	6.09
HB4									
GA-BS-KS-4b	156	RW	0.062			4.13		0.002	765.58
		SL	0.081			1.51			
	136	SL	0.025			4.69		0.014	1020.38
		SR	0.02			1.5			
	256	RW	0.02				4.85	0.011	200.05
		SL	0.155				2.39		
	SR	0.113				5.88			
GA-BS-KS-4c	234	RW	0.082	2.1		2.1		0.016	14.07
	134	RW	0.061	1.42		1.42		0.069	7.03
	245	SL	0.014	3.49		3.49		0.017	13.25
		SR	0.091	3.53		3.53			
GA-BS-GM-5c	245	RW	0.158	1.76		1.76		0.014	15.23
	145	RW	0.129	1.39		1.39		0.119	8
	234	SL	0.027	<1.3		<1.3		0.018	12.7
HB6									
GA-ZG-G-1z	123	SR	0.102		1.94			0.017	27.58
	134	RW	0.06		3.02			0.007	42.85
GA-ZG-G-1b	134	RW	0.176		2.24			0.031	17.14
	145	RW	0.127		3.49			0.035	12.53
	234	SR	0.102		1.94			0.017	27.58
		SL	0.01		<1.3				

	cavo							fronte	
	Joint Comb.	Wedge	Weight	T2	T3/bis	T3	T4/T5	Weight	SF
HB5									
GA-UST-PH-2b	134	RW	0.172				1.96	0.037	15.86
	345	RW	0.123				1.6	0.007	31.1
	235	RW	0.079				<1.3	0.011	20.1
HB3									
GA-T-PH-6	245	RW	0.147				1.34	0.022	35.89
	123	SR	0.104				1.52	0.005	190.17
	125	SR	0.081				2.2	0.005	141.65
		SL	0.016						
GA-T-PH-6a	134	RW	0.136				1.47	0.01	20.8
	123	RW	0.077				0	0.013	17.45
	125	RW	0.041				0	0.015	15.55

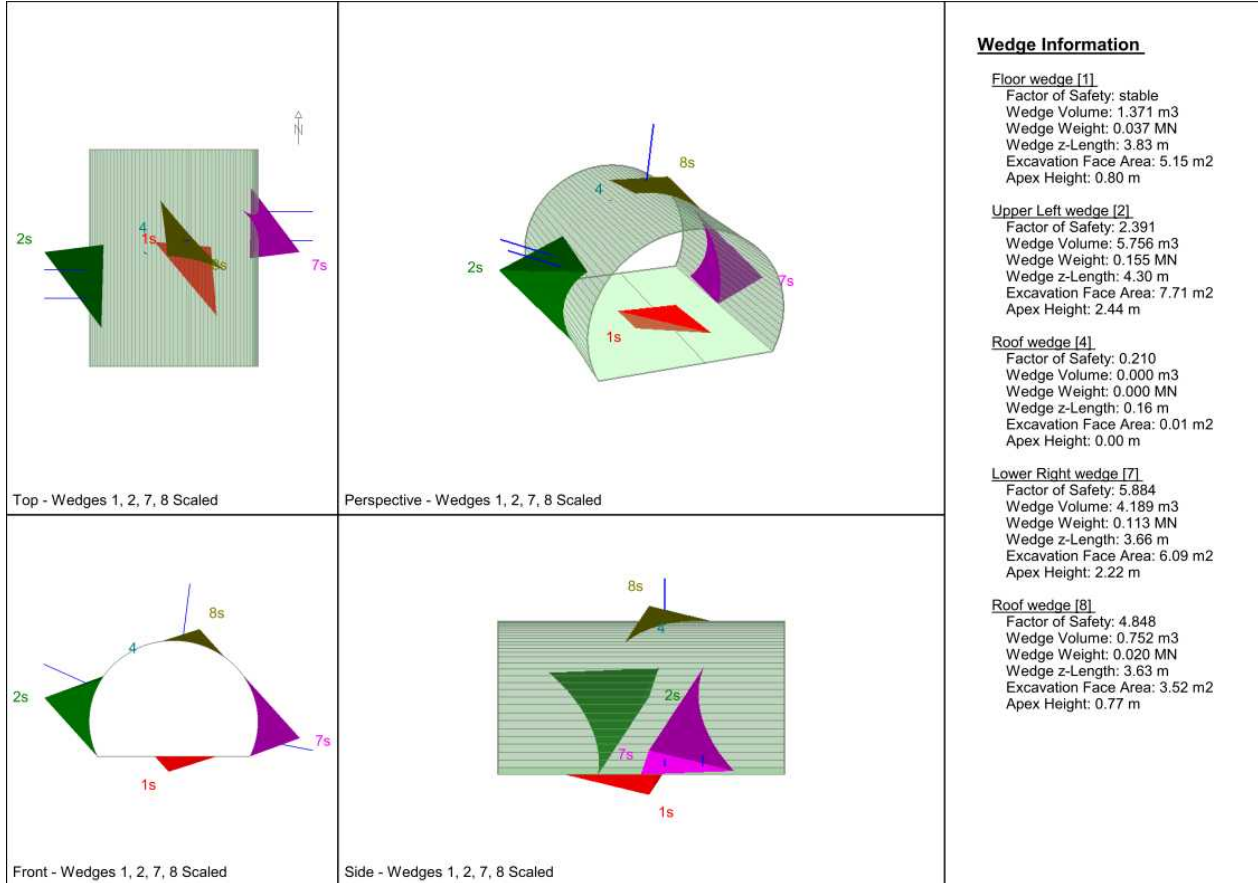
OB2-GA-BST-KS-8e



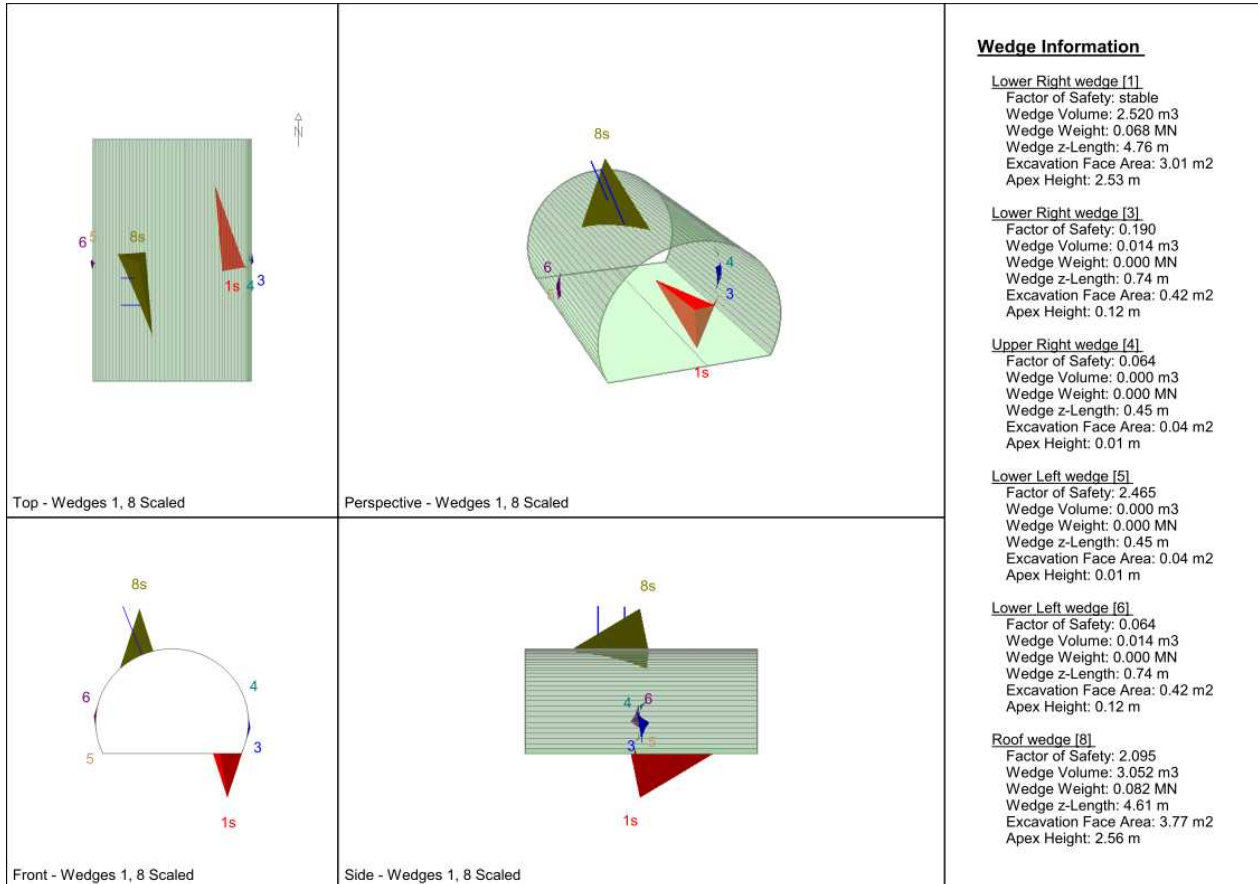
OB2-GA-BST-KS-8f



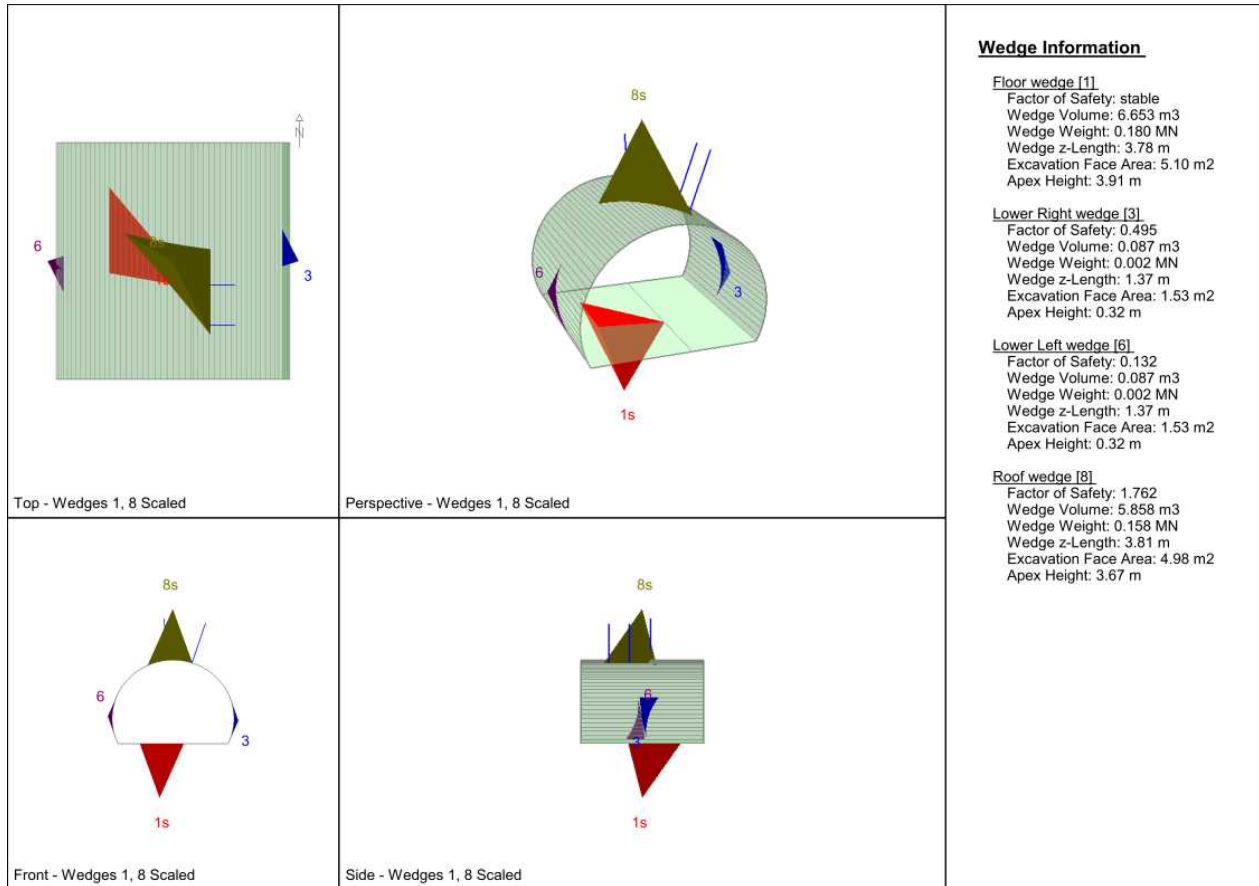
OB4-GA-BS-KS-4b



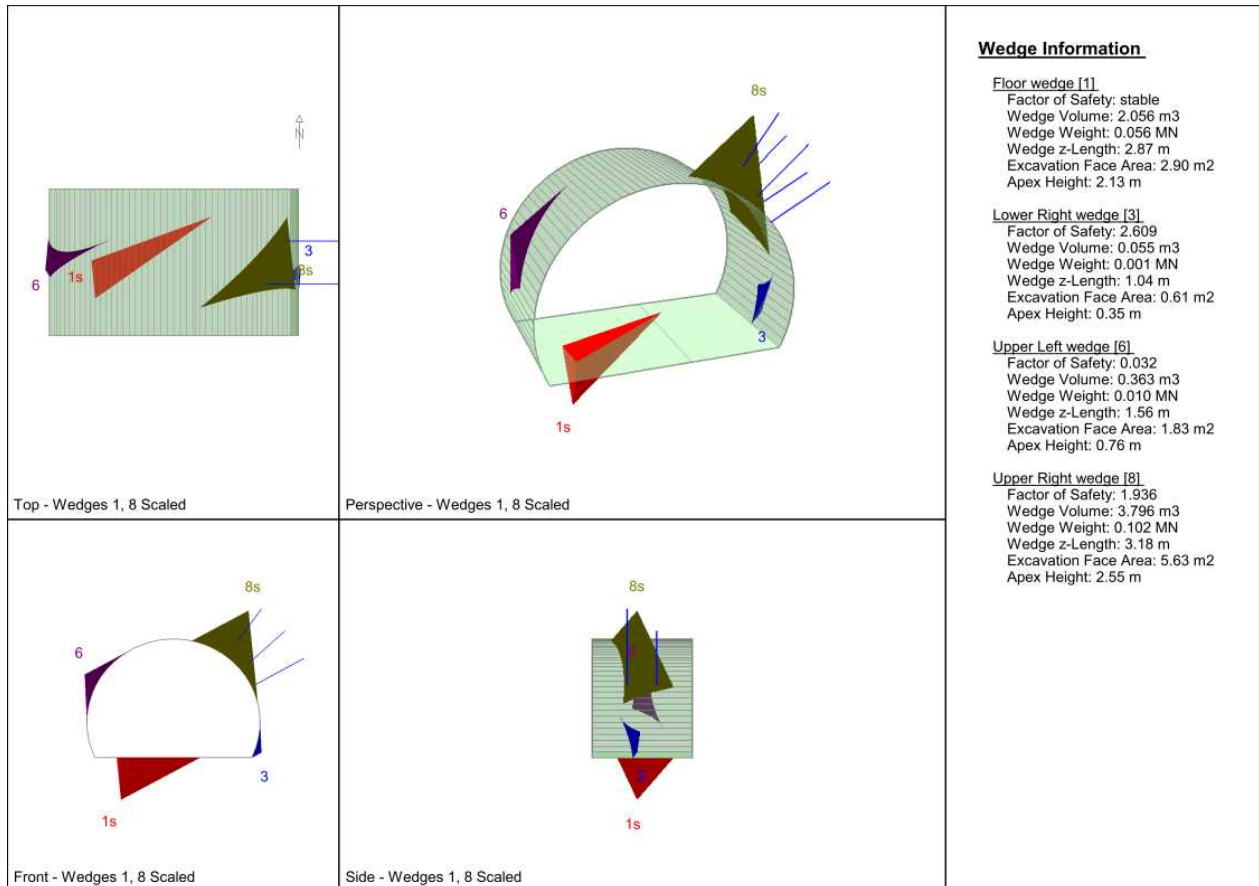
OB4-GA-BS-KS-4c



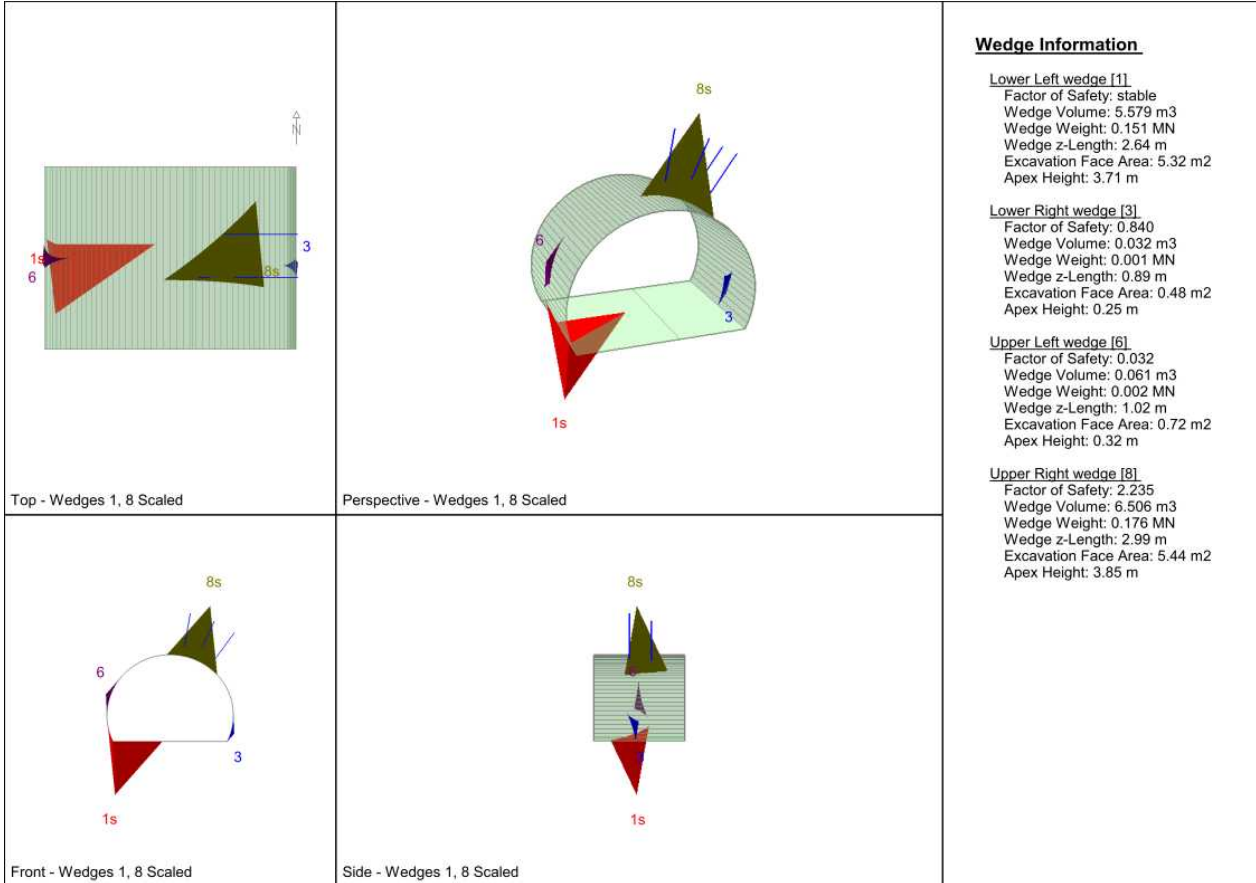
OB4-GA-BS-KS-5c



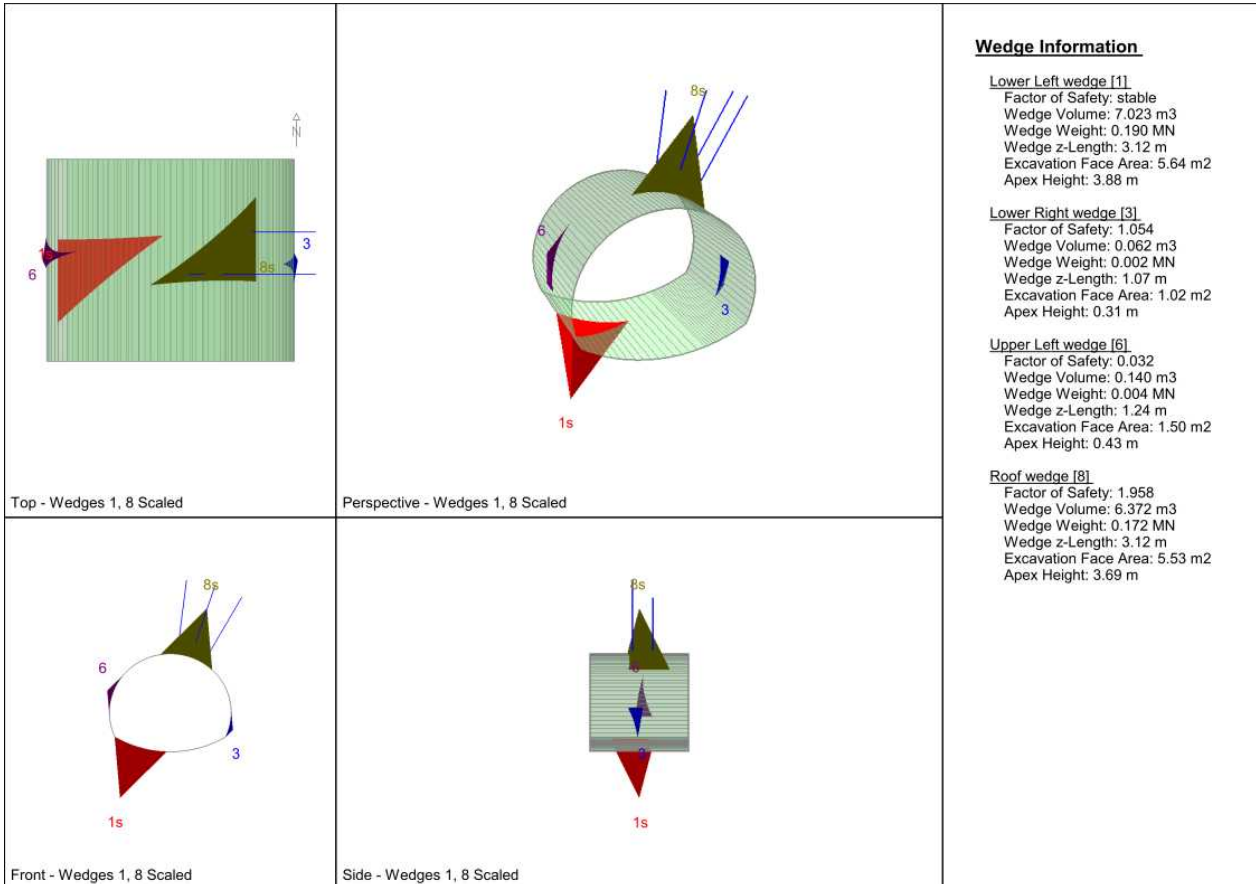
OB6-GA-ZG-G-1z



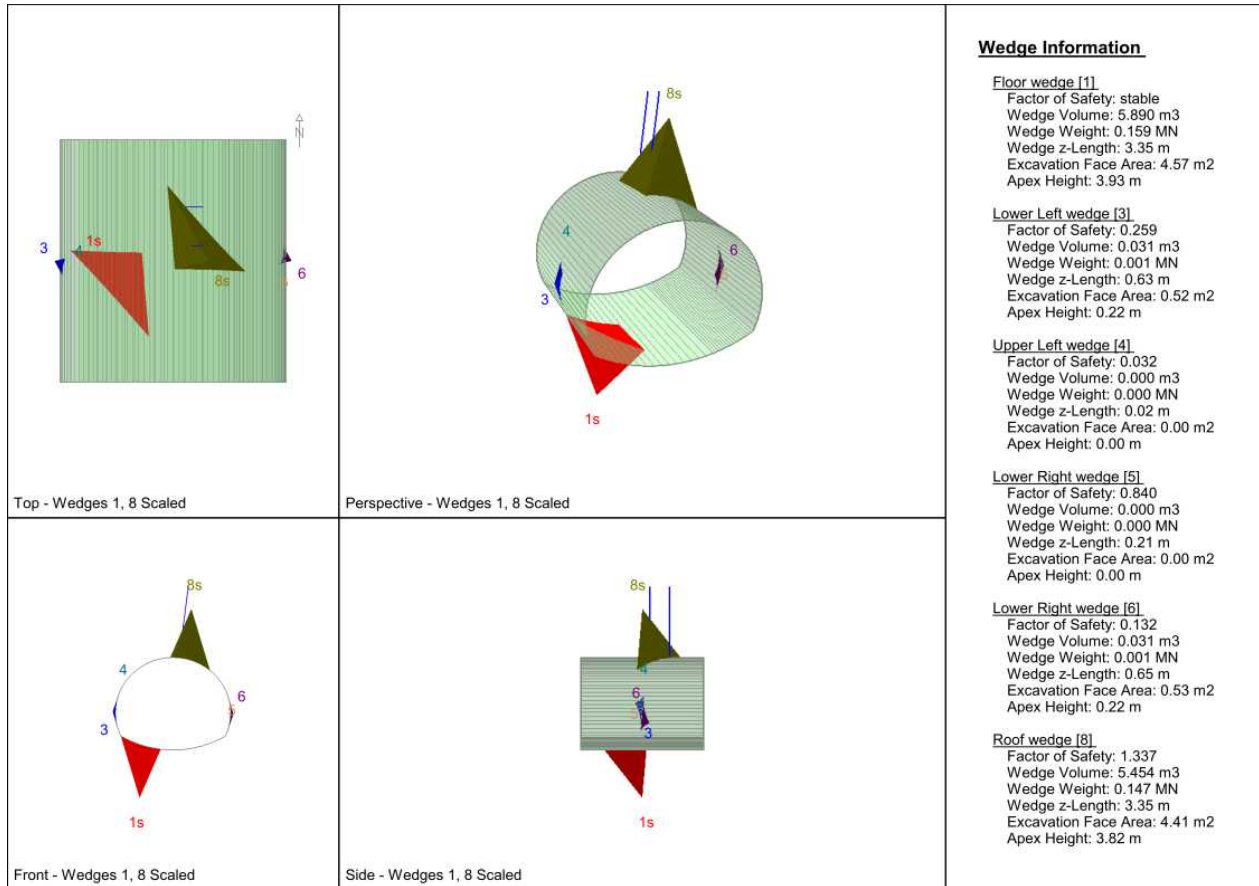
OB6-GA-ZG-G-1b



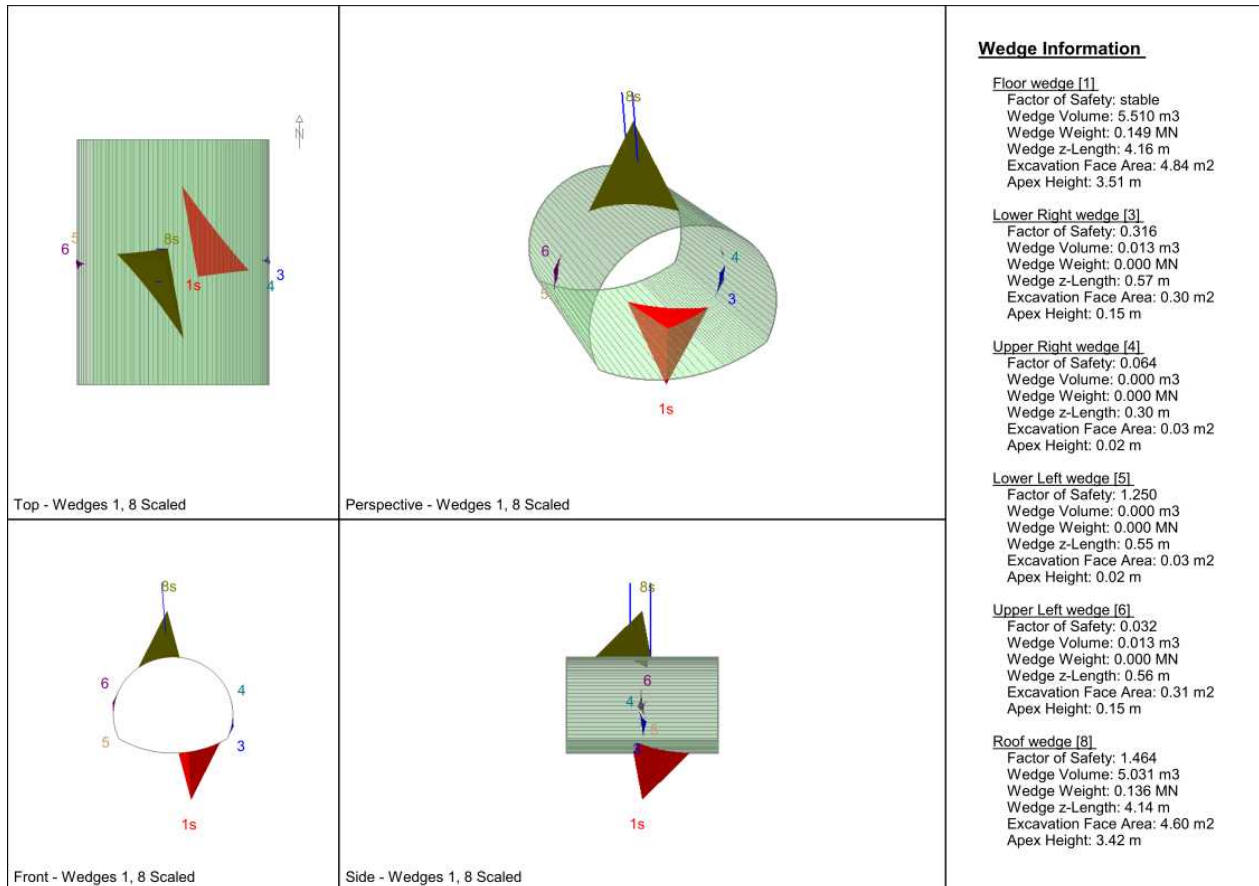
OB5-GA-UST-PH-2b



OB3-GA-T-PH-6



OB3-GA-T-PH-6a

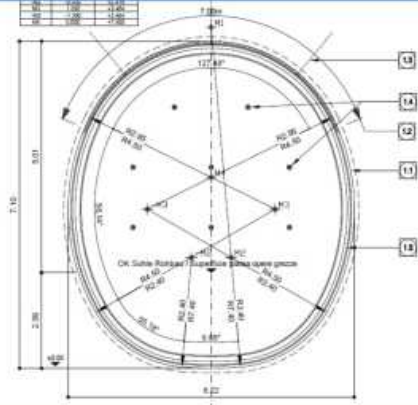


ANHANG 4 – ANALYSE STAHLPROFILEN

APPENDICE 4 - ANALISI DELLE CENTINE

Nella presente appendice sono riportate le analisi delle centine.

**Type 3 Cross Passage
(SMALL – HEB200, 25cm Shotcrete)**



14-May-14 17:49
step 4
-5.532E+00 <x< 1.158E+01
-5.808E+00 <y< 1.131E+01

User-defined Groups
User:CH39
Grid plot

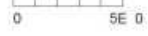


Marked Gridpoints
Fixed Gridpoints
X X-direction



14-May-14 17:50
step 4853
-9.506E+00 <x< 1.544E+01
-9.193E+00 <y< 1.575E+01

Liner Plot
Axial Force on
Structure Max. Value
1 (Liner) 2.222E+06
Boundary plot



14-May-14 17:50
step 4853
-3.075E+00 <x< 1.202E+01
-5.318E+00 <y< 1.058E+01

Liner Plot
Moment on
Structure Max. Value
1 (Liner) -2.349E+04
Boundary plot

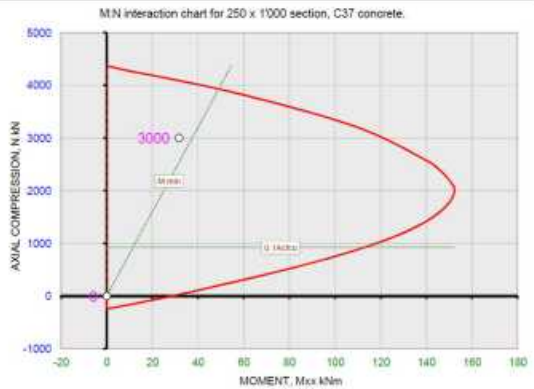
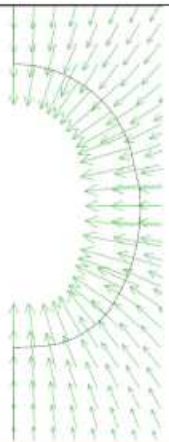


14-May-14 17:51
step 4853
-3.433E+00 <x< 1.096E+01
-3.587E+00 <y< 1.080E+01

Displacement vectors
max vector = 1.266E-01

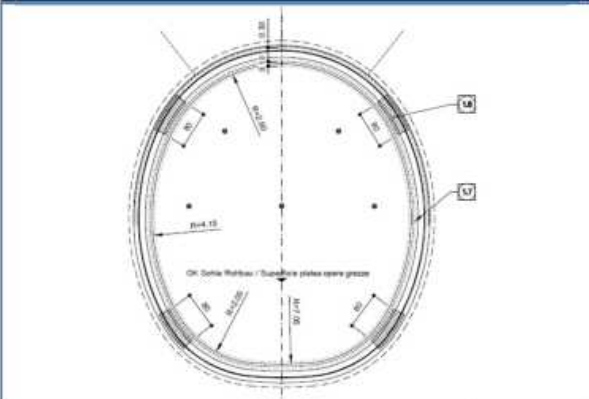


Boundary plot
0 2E 0



LOADCASES (ULS)					
CASE	N	M _{xx}	CASE	N	M _{xx}
1	2999.7	31.7	2		

Type 3 Cross Passage (SMALL – TH44 & 25cm Shotcrete)



14-May-14 17:49
step 4
-5.532E+00 <x< 1.158E+01
-5.808E+00 <y< 1.131E+01

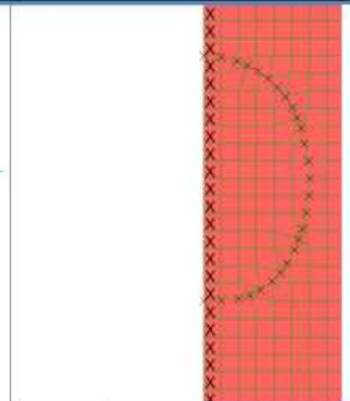
User-defined Groups

User:CH39

Grid plot



Marked Gridpoints
Fixed Gridpoints
X X-direction

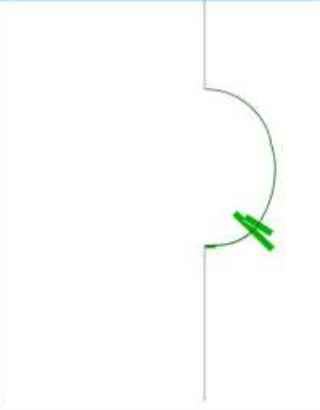


14-May-14 17:53
step 33560
-8.916E+00 <x< 1.485E+01
-8.603E+00 <y< 1.516E+01

Linear Plot
Axial Force on

Structure	Max. Value
# 1 (Liner)	1.968E+02
# 2 (Liner)	3.886E+03
# 3 (Liner)	5.583E+03
# 4 (Liner)	8.099E+03
# 5 (Liner)	-3.552E+05
# 6 (Liner)	1.475E+04
# 7 (Liner)	4.337E+03
# 8 (Liner)	6.231E+03
# 9 (Liner)	9.039E+03
#10 (Liner)	3.831E+05
#11 (Liner)	4.266E+04

Boundary plot



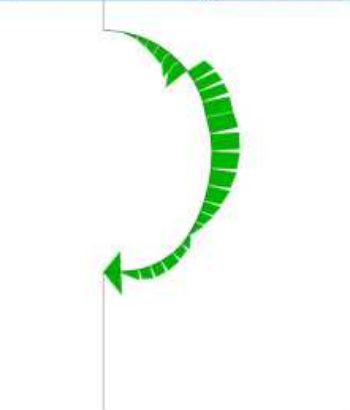
14-May-14 17:53
step 33560
-3.075E+00 <x< 1.282E+01
-5.318E+00 <y< 1.058E+01

Linear Plot

Moment on

Structure	Max. Value
# 1 (Liner)	4.037E+01
# 2 (Liner)	2.242E+03
# 3 (Liner)	1.208E+04
# 4 (Liner)	4.709E+03
# 5 (Liner)	2.308E+03
# 6 (Liner)	1.085E+04
# 7 (Liner)	6.210E+03
# 8 (Liner)	4.485E+03
# 9 (Liner)	1.218E+04
#10 (Liner)	4.110E+03
#11 (Liner)	-9.221E+03

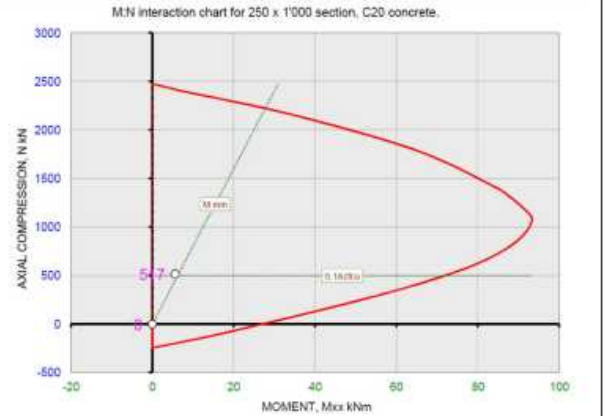
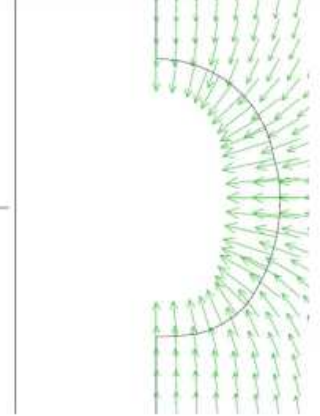
Boundary plot



14-May-14 17:54
step 33560
-3.433E+00 <x< 1.096E+01
-3.587E+00 <y< 1.080E+01

Displacement vectors
max vector = 1.309E-01

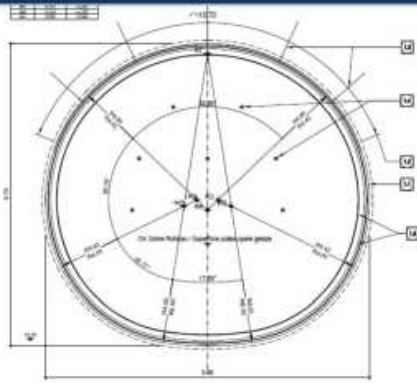
Boundary plot



LOADCASES (ULS)

CASE	N	M _{xx}	CASE	N	M _{xx}
1	517.2	5.55	2		

Type 3 Cross Passage (BIG – HEB200, 40cm Shotcrete)



14-May-14 17:55
step 2
-4.388E+00 <x< 1.691E+01
-6.807E+00 <y< 1.449E+01

User-defined Groups
User:CH39
Grid plot

0 5E 0

Marked Gridpoints
Fixed Gridpoints
X X-direction



14-May-14 17:56
step 9548
-7.878E+00 <x< 2.071E+01
-1.122E+01 <y< 1.737E+01

Liner Plot
Axial Force on
Structure Max. Value
1 (Liner) 3.340E+06
Boundary plot

0 5E 0



14-May-14 17:56
step 9548
-4.081E+00 <x< 1.441E+01
-5.808E+00 <y< 1.268E+01

Liner Plot
Moment on
Structure Max. Value
1 (Liner) 5.289E+04
Boundary plot

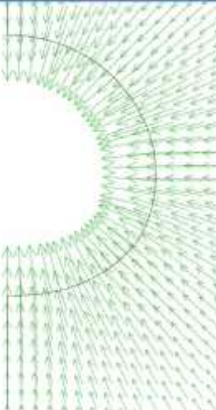
0 5E 0



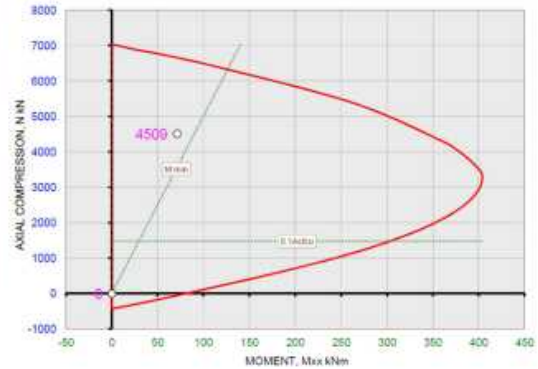
14-May-14 17:57
step 9548
-4.617E+00 <x< 1.486E+01
-6.303E+00 <y< 1.318E+01

Displacement vectors
max vector = 1.502E-01
Boundary plot

0 5E 0

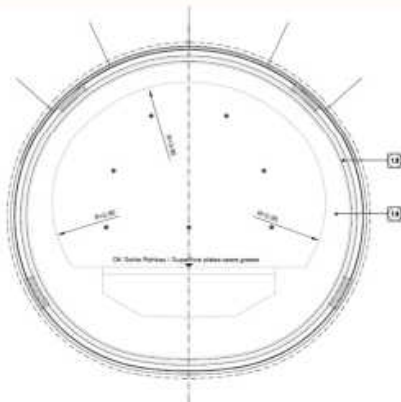


M/N interaction chart for 400 x 1000 section, C37 concrete.



LOADCASES (ULS)					
CASE	N	M _{Ed}	CASE	N	M _{Ed}
1	4509	71.4	2		

Type 3 Cross Passage (BIG – TH44 & 40cm Shotcrete)



15-May-14 10:59
step 30075
-5.911E+00 <x< 1.876E+01
-7.926E+00 <y< 1.674E+01

User-defined Groups
User:CH42
Grid plot



Marked Gridpoints
Fixed Gridpoints
X X-direction
Interface id#'s

Not Applied Forces
"vectors of axial length"
Liner plot



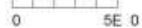
15-May-14 11:00
step 30075
-7.370E+00 <x< 2.021E+01
-1.071E+01 <y< 1.686E+01

Liner Plot

Axial Force on

Structure	Max. Value
# 1 (Liner)	2.308E+03
# 2 (Liner)	-2.940E+04
# 3 (Liner)	8.855E+03
# 4 (Liner)	9.137E+03
# 5 (Liner)	1.820E+03
# 6 (Liner)	1.656E+02
# 7 (Liner)	4.122E+03
# 8 (Liner)	3.942E+04
# 9 (Liner)	1.545E+04
# 10 (Liner)	5.099E+03
# 11 (Liner)	3.250E+03

Boundary plot



15-May-14 11:01
step 30075
-3.819E+00 <x< 1.415E+01
-5.545E+00 <y< 1.242E+01

Liner Plot

Moment on

Structure	Max. Value
# 1 (Liner)	4.995E+02
# 2 (Liner)	8.220E+03
# 3 (Liner)	3.540E+03
# 4 (Liner)	1.203E+04
# 5 (Liner)	6.913E+02
# 6 (Liner)	7.699E+00
# 7 (Liner)	5.348E+03
# 8 (Liner)	9.103E+03
# 9 (Liner)	3.730E+04
# 10 (Liner)	5.068E+03
# 11 (Liner)	7.309E+03

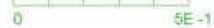
Boundary plot



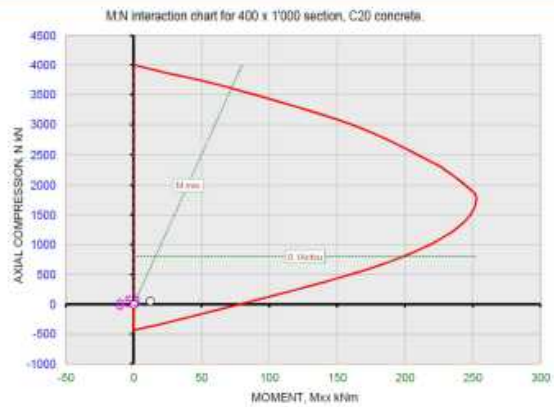
15-May-14 11:01
step 30075
-4.225E+00 <x< 1.447E+01
-5.911E+00 <y< 1.279E+01

Displacement vectors

max vector = 1.578E-01



Boundary plot



LOADCASES (ULS)

CASE	n	M _{xx}	N
1	83.2	12.2	
2			